



POLİTEKNİK DERGİSİ

JOURNAL of POLYTECHNIC

ISSN: 1302-0900 (PRINT), ISSN: 2147-9429 (ONLINE)

URL: <http://dergipark.gov.tr/politeknik>

İnfrared enerjili - ısı pompalı PLC kontrollü bir kurutucuda kabak çekirdeği kurutulması

Pumpkin seed drying in a PLC controlled infrared energy - heat pump dryer

Yazar(lar) (Author(s)): Gökhan ÜNLÜ¹, Kurtuluş BORAN², Mustafa AKTAŞ³, Ataollah KHANLARI⁴

ORCID¹: 0000-0001-9008-7768

ORCID²: 0000-0003-0184-8233

ORCID³: 0000-0003-1187-5120

ORCID⁴: 0000-0001-9691-9799

Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz (To cite to this article): Ünlü G., Boran K., Aktaş M., ve Khanları A., “İnfrared enerjili - ısı pompalı plc kontrollü bir kurutucuda kabak çekirdeği kurutulması”, *Politeknik Dergisi*, 21(3): 519-525, (2018).

Erişim linki (To link to this article): <http://dergipark.gov.tr/politeknik/archive>

DOI: 10.2339/politeknik.417746

İnfrared Enerjili-Isı Pompalı PLC Kontrollü Bir Kurutucuda Kabak Çekirdeği Kurutulması

Araştırma Makalesi / Research Article

Gökhan ÜNLÜ^{1*}, Kurtuluş BORAN², Mustafa AKTAŞ², Ataollah KHANLARI¹

¹Fen Bilimleri Enstitüsü, Gazi Üniversitesi, Ankara, Türkiye

²Teknoloji Fakültesi, Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü, Gazi Üniversitesi, Ankara, Türkiye

(Geliş/Received : 03.06.2016 ; Kabul/Accepted : 26.08.2016)

ÖZ

Bu çalışmada, kapalı çevrimli infrared enerjili ısı pompalı PLC kontrollü bir kurutucuda kabak çekirdeği kurutulmuş ve ortaya çıkan veriler incelenmiştir. Kurutmayı etkileyen üç önemli unsur (hava hızı, bağıl nemi ve sıcaklık) PLC ekranından ayarlanmış ve set değerlerine göre kontrol edilmiştir. Deney düzeneğinde nem alma ünitesi kullanılarak kurutma havası bağıl nemi % 25 değerinde tutulmuştur. Deney süresince kurutma havası hızı 1 m/s ve sıcaklığı 45 °C'ye set edilmiştir. Isı pompasının performans katsayısı (COP_{hp}) 4.86 ve tüm sistem performans katsayısı (COP_{ts}) ise 1.37 olarak hesaplanmıştır. Kabak çekirdekleri 0.470 g_{su}/g_{kurru} madde başlangıç nem miktarından, 0.055 g_{su}/g_{kurru} madde son nem miktarına 1.5 saatte düşürülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Kurutma, ısı pompası, kabak çekirdeği, infrared.

Pumpkin Seed Drying in a PLC Controlled Infrared Energy-Heat Pump Dryer

ABSTRACT

In this study, pumpkin seed was dried in an infrared energy closed type heat pump dryer and the results were investigated. Three important factors (air velocity, relative humidity and temperature) affecting the drying were adjusted on PLC display screen and the set data were controlled. The relative humidity value was fixed as 25 % by using dehumidifying unit on experimental setup. Drying air velocity and temperature were set as 1 m/s and 45 °C, respectively. Coefficient of performance of the heat pump (COP_{hp}) was calculated as 4.86 and whole system coefficient of performance (COP_{ts}) was calculated as 1.37. Pumpkin seeds were dried from 0.470 g_{water}/g_{dry matter} initial moisture content to 0.055 g_{water}/g_{dry matter} final moisture content in 1.5 hour.

Keywords: Drying, heat pump, pumpkin seeds, infrared.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Kurutma bir ısı ve kütle geçişi olayıdır. Belli bir zamanda maddenin kuruma şartlarını sağlayan ve farklı birimlerden oluşan ünitelerin (yoğuşma, ısıtma, nem alma ve verme vb.) tümüne kurutma sistemi denir. Günümüzde özellikle yaygın olarak gıda ürünlerini kurutmak için kullanılan kurutma sistemleri farklı birçok sanayi kolunda da (deri, kağıt, çimento, kimya) kullanılmaktadır.

Kabak, salatalık, karpuz, acur ve kavun gibi ürünler ile beraber kabakgiller (Cucurbitaceae familyası) familyasını oluştururlar. Kabaklar kullanımına göre meyve ve sebze grubuna da girmektedir. Bal kabağı yemekte kullanıldığı zaman sebze, tatlısı yapıldığı zaman ise meyve niteliğini taşır [1].

Kabak çekirdeği içerdiği yağ, mineral ve aminoasitler bakımından oldukça zengindir. İçerisinde yüksek oranda K vitamini bulundurmaktadır.

Kemik yapısının güçlenmesinde, kansızlık, hücre yenilenmesinde ve sinir, kas sisteminin güçlenmesinde büyük

etkiye sahiptir. Kabak çekirdeği sanayide hammadde olarak da kullanılır. Yağının haricinde çekirdekleri ekmek, pasta sosu, şekerleme olarak farklı endüstri kollarında (gıda, ilaç, kozmetik), hayvan beslenmesinde kullanılabilir gibi tohumları ise süs eşyası olarak da kullanılmaktadır. Türkiye'de kabuksuz ve kabuklu kabak çekirdeklerinden yağ çıkarılmaktadır. Dünya kabak üretiminde; 7.000.000 ton ile Çin sıralamanın başında yer alırken, bunu 4.900.000 ton ile Hindistan, 1.080.845 ton ile Rusya takip etmektedir. Türkiye ise; 395.986 ton üretim miktarı ile dünya sıralamasında 11. sırada yer almaktadır [FAO, 2012]. Kabak Türkiye'de çerezlik olarak da yetiştirilmektedir. Türkiye'de yaygın olarak kabak çekirdeği yetiştiriciliğinin İç Anadolu'da yapıldığı bilinmektedir [2].

Kurutma konusunda birçok çalışma bulunmaktadır.

Hawlder ve Jahangeer (2006), yaptıkları bir çalışmada güneş enerjisi destekli ısı pompalı bir kurutucunun ve su ısıtıcının performansını incelemişlerdir. Bu sistem ile ilgili bir simülasyon programı çalışması yapmışlardır. Kurutma kabinindeki mevcut yüklerin, kompresör hızının ve güneş ışınlarındaki radyasyonun kurutma sistemi

*Sorumlu Yazar (Corresponding Author)
e-posta : unlugokhan86@gmail.com

performansını etkileyen faktörler olduğunu saptamışlardır [3].

Akpınar ve ark. (2003), yaptıkları çalışmada 60, 70 ve 80 °C olmak üzere üç farklı hava sıcaklığı değeri ve iki farklı 1 ve 1.5 m/s hava hızı değerinde, 35 mm çap ve 5 mm kalınlık boyutlarında kesilmiş kabak dilimlerini siklon tipi kurutucuda kurutmuşlardır. Deney sonuçlarına göre kuruma hız-nem içeriği değişim eğrileri regresyon analizi kullanılarak modellenmiştir. Farklı sıcaklık ve hızlarda kurutulan ürünlerde kuruma süresinde hava hızından çok, sıcaklığın etkisinin olduğu anlaşılmıştır [4].

Lahsası ve ark. (2004), yaptıkları çalışmada Frenk incirinin konvektif bir güneş enerjili kurutma sisteminde kuruma kinetiğini incelemiştir. Deneyleri 50, 55 ve 60 °C değerinde değişik hava sıcaklığında, 0.0227, 0.0556 ve 0.0833 m³/s hava debisinde ve 0.5667, 1.133 ve 1.7 m/s hava hızlarında yapılmıştır. İncirleri kurutma işleminden önce 1 g ağırlığında ve 0.5 cm çap ve 2 cm yüksekliğinde dilimlemiştir. Elde edilen eğriler sonucunda hava hızı ve sıcaklığının kurutmaya etki eden en önemli faktörler olduğunu belirtmişlerdir [5].

Le ve Kim (2009), ince olarak dilimledikleri kırmızı turpu ısı pompalı kurutucu ve sıcak havalı ısıtıcı ile ayrı ayrı kurutup karşılaştırma yapmışlardır. Isı pompasında özgül nem çekme oranı (SMER) 3.4 kg/kWh olarak hesaplamışlardır. Isı pompalı kurutucu, sıcak havalı kurutmaya göre 1-1.5 kat daha uzun sürmesine rağmen ısı pompalı sistemin enerji kazancı yaklaşık üç kat daha iyi olduğu belirlenmiştir. Bu çalışmada kurutma havası sıcaklığını arttırdıklarında bağıl nemin azaldığı ve MER ve SMER değerlerinin arttığını tespit etmişlerdir. Isı pompalı kurutma sisteminin sıcak havalı kurutmaya göre %58.9-%69.5 oranında enerji tasarrufu sağladığı görülmüştür [6].

Aktaş ve Gönen (2014), yaptıkları çalışmada kapalı devre ısı pompalı bir kurutucuda defne yaprağı kurutmuşlardır. Kurutma sisteminde kurutma havası sıcaklık değerlerini 40, 45 ve 50 °C olarak kurutma havası hız değerlerini ise 1 ve 1.5 m/s olarak belirlemişlerdir. Kurutma işlemi sonunda elde edilen deney verilerine göre tüm sistem için en yüksek COP_{ts} değeri 45 °C ve 1.5 m/s için 3.02 olarak hesaplamışlardır. Kurutulmuş defne yapraklarının su aktivitesi değerleri 0.49-0.55 aralığının da ölçülmüştür. Yaptıkları çalışmada enerji verimliliği bakımından defne yaprağı kurutulmasındaki en ideal değerin 45 °C olduğu kurutma hava hızının ise 1.5 m/s olduğu tespit etmişlerdir [7].

Hebbar ve ark. (2004), sebzelerin kurutulması için infrared ve sıcak havalı kombine olarak çalışan kurutucu tasarlamışlardır. Bu çalışmada kombine kurutucuda kurutma havası sıcaklığının 80°C ve kurutma hava hızının 1 m/s olduğu değerinde kurutma süresinin %48 azaldığı ve aynı zamanda enerji tasarrufunun diğer koşullara göre %63 azaldığı görülmüştür [8].

Nowak ve Lewicki (2004), eşit etki değerine sahip konveksiyonel ve infrared kurutucu kullanarak elma dilimlerinin kurutma karakteristikleri incelemiştir. Bu

çalışmada kurutma kinetiğinin infrared kaynağının mesafesine ve hava hızına bağlı olduğu görülmüştür [9].

Kocacı ve Tezer (2009), havuç dilimlerini bir infrared kurutucuda 8.52 kg_{su}/kg_{kuru madde} başlangıç nem içeriğinden 0.11 kg_{su}/kg_{kuru madde} nem içeriğine kadar kurutmuşlardır. Denemeleri üç farklı infrared gücünde ve üç farklı hava hızında gerçekleştirmişlerdir. Kuruma zamanının 1.0 - 2.0 m/s hava hızlarında, 300 - 500 W infrared gücünde sırasıyla 252-277 dakika, 205-236 dakika, 145-155 dakika arasında değiştiğini bulmuşlardır. Kuruma hızının infrared gücünün artmasıyla arttığını tespit etmişlerdir. Özgül enerji tüketimi değerlerinin bütün kurutma şartları için 12.220-14.580 MJ/(kg-buharlaşan su) arasında değiştiğini bulmuşlardır. Ayrıca rehidrasyon oranı ve renk parametrelerinin kurutma şartlarından etkilendiğini belirlemişlerdir [10].

Queiroz ve ark. (2004), yaptıkları çalışmada ısı pompalı ve elektrik rezistanslı olmak üzere iki farklı kurutucu kullanılarak domatesi kurutularak kurutucuların performanslarını karşılaştırmışlardır. Bu çalışmada paralel ve karşıt akış kurutma havası kullanmışlardır. Yaptıkları çalışmada matematiksel modelleme yapmışlardır. Çalışmalar sonucunda ısı pompası COP değerini 2.56-2.68 arasında hesaplamışlardır. Isı pompalı kurutucunun elektrikli rezistansa göre enerji bakımından % 40 daha ekonomik olduğunu belirlemişlerdir [11].

Phani ve ark. (2005), yaptıkları çalışmada kapalı çevrimli sürekli akışlı ısı pompası destekli bir kurutma sistemini test etmişlerdir. Yaptıkları çalışmada 30-35 °C sıcaklık değerleri arasındaki kurutulan bitkileri kurutmuşlardır. Yaptıkları teorik analizde özgül nem çekme oranı (SMER) 0.006-0.61 kg/kWh değerleri arasında bulmuşlardır [12].

Özdemir ve Özkaya (2015), yaptıkları çalışmada bir odayı ısıtmak ve soğutmak için düşey tip toprak kaynaklı bir ısı pompası kurmuşlardır. Isıtma mevsimi için ısı pompasının performans katsayısı COP_{ip} ve sistemin performans katsayısı COP_{sis} değerleri sırasıyla 3.85 ve 3.45 olarak hesaplamışlardır. Ayrıca ısı pompası ünite bazında ekserji verimi % 77, sistem bazında % 71 olarak hesaplamışlardır. Soğutma mevsimi için ısı pompasının performans katsayısı COP_{ip} ve sistemin COP_{ts} değerleri ise sırasıyla 3.12 ve 2.81 olarak hesaplamışlardır. Ayrıca ısı pompası ünite bazında ekserji verimi % 78.6, sistem bazında % 70.8 hesaplamışlardır [13].

Şevik ve ark. (2011), yaptıkları çalışmada ısı pompası ve güneş enerjili destekli ısıtma ve kurutma prosesi modellemiştir. Sistem dizaynının enerji analizini yapmışlardır [14].

Bu çalışmada ısı pompalı nem kontrollü kapalı çevrim infrared enerjisi destekli bir kurutucunun test edilmesi amaçlanmıştır.

2. MATERYAL VE METOD (MATERIAL and METHOD)

Sistemde yaş ürün olarak, Türkiye’de üretimi ve ihracatı yapılmakta olan, farklı sanayi kollarında hammadde olarak kullanılan, zengin vitamin ve minerallerle sahip kabak çekirdeği seçilmiştir. Balkabağı türü kabaklar dilimlenerek içinden çekirdekleri çıkartılıp kurutulma süresine kadar özelliğini kaybetmeyecek şekilde muhafaza edilmiştir.

Kurutma havası sıcaklığı, hızı ve bağıl nemi istenilen şartlarda tutularak infrared enerjili, ısı pompalı PLC kontrollü bir kurutma sistemi ile deney yapılması amaçlanmıştır. Sıcaklık, hız ve bağıl nemin hassas kontrol edilmesi ürün kalitesini olumlu etkileyecektir. Aynı zamanda yüksek bağıl nemde yapılan kurutma işlemi ürünün kuruma süresinin uzamasına sebebiyet vermektedir. Yine yüksek sıcaklık ya da yüksek hava hızında yapılan kurutma da ürünün aromasının bozulmasına sebebiyet vermektedir. Düşük hava hızında yapılacak kurutma işlemi ile de kurutma süresi uzamaktadır. Bu sebepler göz önüne alınarak daha önceki çalışmalar ve sonuçları analiz edilerek infrared enerjili ısı pompalı PLC kontrollü bir kurutma fırını tasarlanıp imal edilmiştir.

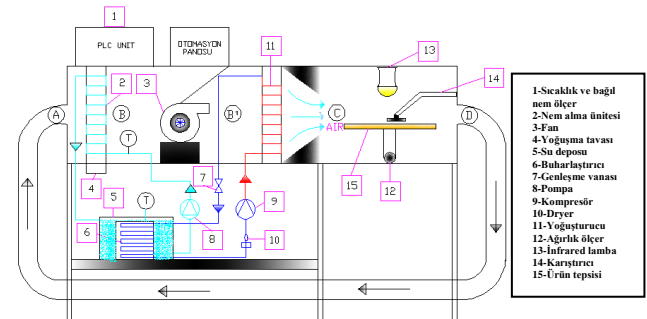
PLC kontrol sistemi, kurutma sisteminde deney esnasında elde edilen verileri PC’ye aktaran, kurutma havası bağıl nemi, kurutma havası sıcaklığı, kurutma havası debisi ve ürün ağırlığı değişimini gösteren sistemdir.

Şekil 1’de infrared enerjili ısı pompalı PLC kontrollü bir kurutma sistemi görünmektedir. Sistemde kompresör, pompa ve fan olmak üzere üç adet enerji tüketen mekanik sistem, bir adet enerji tüketen infrared lamba, iki adet ısı

değiştirici (yoğuşturucu ve buharlaştırıcı), dryer, kılcal boru, su deposu, anemometre, sıcaklık ve bağıl nem sensörleri, nem alma ünitesi, kurutma kabini, ağırlık ölçer (load-cell), ürün tepsisi ve PLC kontrol cihazı vardır.

Sistemde kapalı devre olarak dolaşan kurutma havası üründe bulunan mevcut nemi bünyesine alarak nemlenmektedir. Buharlaştırıcı tarafından sıcaklığı düşürülen su, pompa ile nem alma bataryasına iletilir. Kurutma odası çıkışında nemlenen kurutma havasının nemi nem alma ünitesinin soğuk yüzeyinden geçirilerek alınır.

Kurutma sisteminde, PLC kontrol cihazında ayarlanan sıcaklık değeri ve bağıl nem değeri sıcaklık ve bağıl nem sensörü ile hava hızı anemometre ile ölçülmektedir. Kabak çekirdeği yüzey sıcaklığı set değerine ulaştığında PLC sistemi infrared lambayı durdurmuştur. Bunun yanında istenilen kurutma havası set sıcaklığına ulaştığında kompresör durdurulmuştur.



Şekil 1. İnfrared enerjili ısı pompalı PLC kontrollü kurutma sistemi (PLC controlled infrared energy heat pump drying system)

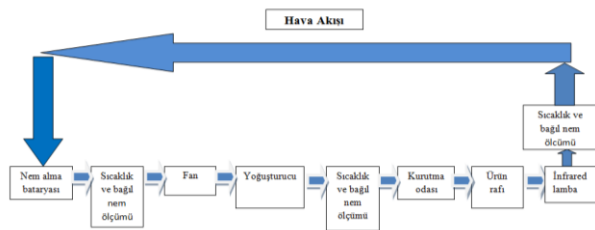
Çizelge 1. Ölçüm cihazlarının özellikleri (Properties and sensitivity of measurement devices)

Kullanılan Cihaz	Teknik Özellikleri
Ağırlık Ölçer (Load-Cell)	5 kg kapasite, 40 ~ + 80 °C, 5 ~ 12 (DC), hassasiyeti ± % 0,02
Bağıl nem ve sıcaklık transmitteri	% 0 - 100 bağıl nemde % ± 2 ölçüm hassasiyeti, - 40, + 120 °C sıcaklıkta ± 0,1 °C ölçüm hassasiyeti, çalışma sıcaklığı - 10 + 60 °C
Hava hızı ve sıcaklık ölçüm cihazı	Sıcaklık - 20, + 70 °C, hız 0 - 20 m/s ölçüm hassasiyeti ± 0,01 m/s, ± 0,1 °C, NTC sensör
Su aktivitesi ölçüm cihazı	Su aktivitesi a _w değeri 0 – 1 arasında olduğunda ölçüm hassasiyeti ± 0,001
Isıl çift	Skala 0 - 70 °C, besleme 24 V - DC, çıkış 4 - 20 mA, hassasiyeti ± 0,1 °C
Dijital tartı	En yüksek ölçülebilecek miktar 6100 g, ölçüm hassasiyeti ± 0,01 g

Kurutma havası nem alma ünitesinden geçerek 'B' şartlarında yoğuşturucu'da duyulur olarak ısıtılır ve sıcaklığı ΔT kadar yükseltilerek 'C' şartlarına getirilir. (B¹ – B fanın verdiği ısıdan dolayı, havanın sıcaklığı yükselmektedir). 'C' şartlarına gelen kurutma havası kurutma kabine girer ve nem değeri bir miktar yükselmekte ve kuru termometre sıcaklığı da bir miktar azalmaktadır. Kurutma kabinden 'D' şartlarında çıkan hava izole edilmiş silindir kanaldan geçerek nem alma ünitesine gelir. Kurutma sisteminde PLC ekranına girilen bağıl nem değeri kurutma havasındaki nem değerinden düşük ise deney düzeneğinde bulunan nem alma bataryası devreye girerek sistemde dolaşan nemli havanın nemini soğuk yüzeyde çeker. "A" şartlarında bulunan kurutma havası tekrar "B" şartlarına getirilir.

İnfrared enerjili ısı pompalı PLC kontrollü bir kurutma fırınında kullanılan cihazlar, teknik özellikleri ve ölçüm hassasiyetleri çizelge 1'de verilmiştir.

Sistemde yapılan teorik analizler sonucunda optimum şartlarda kabak çekirdeği kurutma deneyi yapılmıştır. Kapalı devre kurutucuda hava akış şeması şekil 2'de verilmiştir.



Şekil 2. Hava akışı şeması (Schema of air flow)

3. TEORİK ANALİZ (THEORETICAL ANALYSIS)

Deneye başlamadan önce kesilmiş balkabağından çıkartılan kabak çekirdeğinin kuru ağırlığı belirlenmiştir. Etüv fırınında 100 ± 2 °C'de kurutulmuştur. Bu işlem süresince kabak çekirdeği hassas dijital terazide saatte bir tartılmış ve iki ölçüm arasındaki fark %1 den az olduğunda kabak çekirdeği kuru kabul edilmiştir.

Kabak çekirdeğinin kuru esasa göre hesaplanan nem miktarı için;

$$SO_{KA} = \frac{YA - KA}{KA} \quad (1)$$

eşitliği kullanılır.

Kabak çekirdeğinin yaş esasa göre hesaplanan nem miktarı için;

$$SO_{YA} = \frac{YA - KA}{YA} \quad (2)$$

eşitliği kullanılır [15].

Sistemde yoğuşturucudan havaya atılan ısı miktarı (\dot{Q}_Y) aşağıdaki eşitlik ile hesaplanabilir [16].

$$\dot{Q}_Y = \dot{m}_{ia} \cdot C_{phava} \cdot (T_{ia} - T_{aai}) \quad (3)$$

$$\dot{m}_{ia} = \rho_{ia} \cdot \dot{V}_i \quad (4)$$

Kurutma sisteminde ısı pompası performans katsayısı aşağıdaki eşitlik yardımıyla hesaplanabilir.

$$COP_{ip} = \frac{\dot{Q}_Y}{\dot{Q}_C} \quad (5)$$

Kurutma sisteminde ısı pompası için tüm sistemin performans katsayısını (COP_{ts}) belirlemek için aşağıdaki eşitlik kullanılır [17].

$$COP_{ts} = \frac{\dot{Q}_Y}{\dot{Q}_c + \dot{Q}_f + \dot{Q}_p + \dot{Q}_i} \quad (6)$$

Tüm sistem için özgül nem çekme oranı ($SMER_{ts}$), üründen buharlaştırılan 1 kg nem için harcanan toplam enerji miktarına oranı olarak tanımlanıp eş. 7 ile verilmiştir [7].

$$SMER_{ts} = \frac{\dot{m}_{su}}{\dot{W}_c + \dot{W}_f + \dot{W}_p + \dot{W}_i} \quad (7)$$

Üründeki nem oranı aşağıdaki eşitlik kullanılarak hesaplanır.

$$MR = \frac{M_t - M_e}{M_0 - M_e} \quad (8)$$

Deney verilerine göre kurutma hızı aşağıdaki eşitlik ile hesaplanır.

$$DR = \frac{MC_{tb} - MC_{ts}}{dt} \quad (9)$$

4. DENEYLER (Experiments)

4.1. Kabak çekirdeği kuru madde miktarının tespiti (Determination of pumpkin seeds dry matter)

Kesilip kabaktan ayrılmış çekirdekler etüv fırınında (100 ± 2 °C) kurutulmaya başlanmıştır. Yapılan ölçümler ile kuru madde miktarı belirlenerek ürünün başlangıç nem miktarı tespit edilmiştir.

4.2. Kabak çekirdeğinin kurutulması (Drying of the pumpkin seeds)

Başlangıç nem miktarı belirlenmiş olan kabak çekirdeği infrared enerjili ısı pompalı PLC kontrollü bir kurutma sisteminin kurutma kabinde bulunan rafa yerleştirilmiştir. 45 °C kurutma havası sıcaklığı ve 1 m/s hava hızında deney yapılmıştır. Kurutma işlemi süresince kabak çekirdeğinin ağırlıkları her 10 dakikada bir PLC ekranından kontrol edilerek kayıt altına alınmıştır. Deney öncesinde ve sonrasında kabak çekirdeği resimleri şekil 3'de verilmiştir.

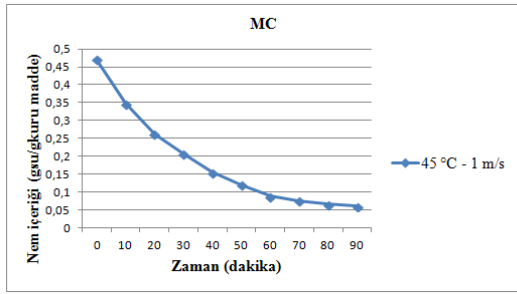


a) Kurutma öncesi (Before drying) b) Kurutma sonrası (After drying)

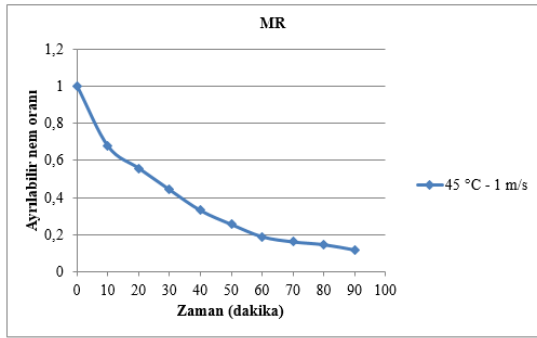
Şekil 3. Kabak çekirdeği, kurutma öncesi ve sonrası resimleri (Pictures of pumpkin seed before and after drying)

5. SONUÇLAR VE TARTIŞMA (RESULTS AND DISCUSSION)

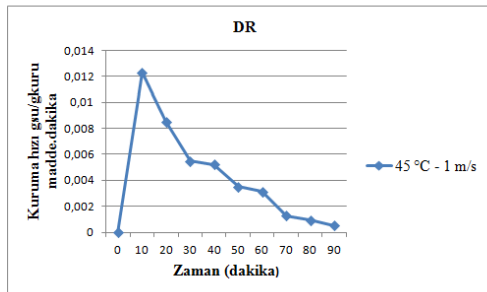
45 °C üfleme havası sıcaklığı, 45 °C ürün yüzey sıcaklık set değerlerinde 1 m/s hava hızında ve % 25 üfleme set bağıl nemde kabak çekirdeği 1.5 saatte kurutulmuştur. Şekil 4, 5 ve 6'da görüldüğü gibi yapılan deneyler sonucunda kabak çekirdeklerinin kuru esasa göre nem miktarı değişimi (MC), nem oranı (MR) ve kuruma hızlarının (DR) zamana göre değişimi görülmektedir.



Şekil 4. Kurutma esnasında kabak çekirdeğinin zamana göre nem miktarının değişimi (Moisture content changes during the drying of pumpkin seeds versus drying time)



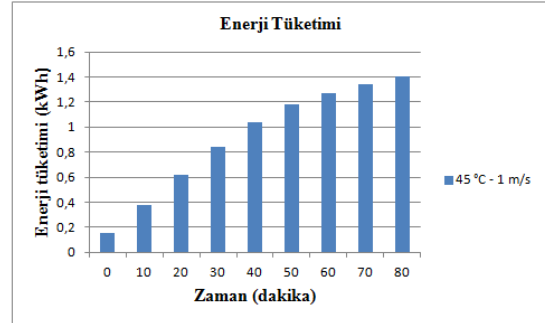
Şekil 5. Kurutma esnasında kabak çekirdeğinin zamana göre nem oranının değişimi (Moisture ratio changes during the drying of pumpkin seeds versus drying time)



Şekil 6. Kurutma esnasında kabak çekirdeğinin zamana göre kuruma hızının değişimi (Drying rate changes during the drying of Pumpkin seeds versus drying time)

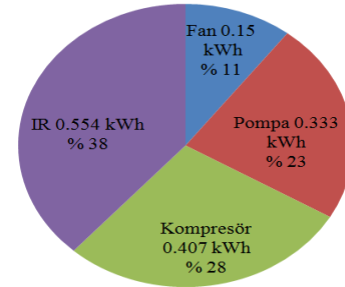
Şekil 6'da bağıl nem kontrolünden dolayı kuruma hızı bir miktar dalgalanmıştır.

Kurutma işlemi süresince harcanan enerji miktarı şekil 7'de gösterilmiştir. Kurutma esnasında enerji tüketiminin zamana bağlı olarak değişimine . PLC'de set edilen değerlere göre pompa, kompresör ve infrared lambanın aç-kapa kontrolü enerji tüketiminin dalgalanmasına yol açmıştır.



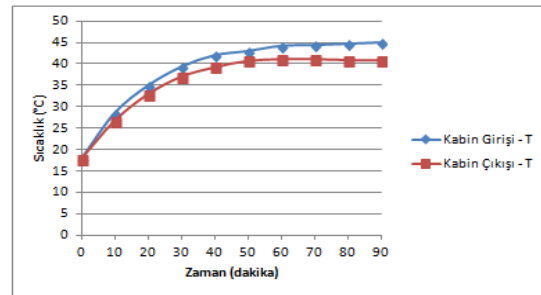
Şekil 7. Kurutma sürecinde tüketilen enerjinin zamana göre değişimi (Energy consumption during the drying process versus time)

Şekil 8'de infrared enerjili ısı pompalı PLC kontrollü bir kurutma sisteminde kullanılan ve enerji tüketen ekipmanların sistemde tükettiği enerji oranları verilmiştir. Yapılan deneyde kurutma sisteminde en çok enerji tüketen ekipman infrared lamba, en az enerji tüketen ekipman ise fan'dır.



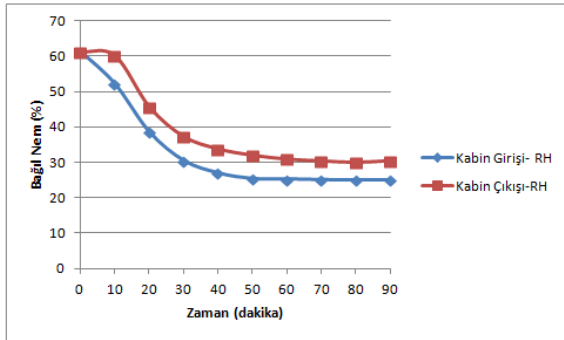
Şekil 8. Ekipmanların enerji tüketim değerleri ve yüzdeleri (Energy consumption values of equipment and percentage)

Şekil 9'da yapılan deneyde kurutma kabınınin giriş ve çıkışındaki sıcaklık değişiminin zamana göre değişim grafiği verilmiştir. Kurutma işlemi süresince gerçekleşen ısı ve kütle transferinden dolayı kabin çıkış sıcaklığı giriş sıcaklığından düşük değerlerde kalmıştır.



Şekil 9. Kabak çekirdeği kurutma deneyinde kabin giriş ve çıkış havası sıcaklık değişim grafiği (Changing of drying cabinet inlet and outlet air temperature)

Şekil 10'da kurutma işlemi süresince üründen nem alındığından dolayı kabin çıkış bağıl nemi giriş değerinden yüksektir.



Şekil 10. Zamana göre kurutma havası giriş ve çıkış bağıl nem değişimleri (Relative humidity changes of inlet and outlet air versus drying time)

Eş. 6 kullanılarak tüm sistemin performans katsayısı (COP_{ts}) ve eş. 5 kullanılarak ısı pompası performans katsayısı (COP_p) hesaplanmıştır. Yapılan deneylerden elde edilen sonuçlar çizelge 2'de görülmektedir.

Çizelge 2. Deney verileri sonucu (experimental data results)

Deney hız ve sıcaklık değeri	COP_{ts}	COP_p	Kurutma süresi (dk)	Harcanan toplam enerji (kWh)
45 °C	1.37	4.86	90 dk	1.444
1 m/s				(kWh)

6. SONUÇ (CONCLUSION)

Kabak çekirdeği doğal yollar ile kurutulduğunda uzun bir kurutma süresine tabi kalmaktadır. Ayrıca doğal yolla kurutma sonucunda ürünün kalitesinde bozulmalar meydana gelmektedir. Ayrıca geceleri ve her mevsim kurutma imkânı sağlanamamaktadır. Bu kurutma sistemi ile kabak çekirdeği 1.5 saat süren kısa bir kurutma süresi ile istenilen ürün nem değerine getirilerek bahsedilen olumsuzluklar ve zaman kaybı ortadan kalkmaktadır.

Deney verileri irdelenmiş ve kurutma sisteminde ısı pompasının performans kat sayısı hesaplanarak (COP_p) 4.86 değerinde bulunmuştur. Dolayısıyla enerji performansı yüksek bir kurutucu bu çalışma ile ortaya konulmuştur.

Deney sonucunda kabak çekirdeğine duyulur analiz yapılarak ürünün renk, tat ve kokusunda herhangi bir değişiklik gözlenmemiştir.

SEMBOLLER (SYMBOLS)

c	Havanın özgül ısısı [kJ/kg°C]
h	Entalpi [kJ/kg]
KA	Kurutma sonrası numune kütlesi [g]

\dot{m}_{ia}	Havanın kütleli debisi [kg/s]
\dot{V}_i	Kurutma havasının hacimsel debisi [m ³ /s]
ρ_{ia}	Kurutma havası yoğunluğu [kg/m ³]
T_{ia}	Yoğuşturucudan çıkan havanın sıcaklığı [°C]
T_{aai}	Yoğuşturucuya giren havanın sıcaklığı [°C]
\dot{Q}	Birim zamanda harcanan enerji [kW]
\dot{Q}_c	Kompresör gücü [kJ/s]
\dot{Q}_f	Fan gücü [kJ/s]
\dot{Q}_p	Pompa gücü [kJ/s]
\dot{Q}_i	İnfrared gücü [Kj/s]
SO_{KA}	Kuru maddeye göre ürün içerisindeki su miktarı [g su/g kuru madde]
SO_{YA}	Yaş maddeye göre ürün içerisindeki su miktarı [g su/g yaş madde]
\dot{W}	Birim zamanda yapılan iş [kJ/s]
YA	Kurutma öncesi numune kütlesi, [g]
DR	Kurutma hızı
MC_{ts}	"t" anındaki nem miktarı
MC_{tb}	"t" anındaki başlangıç nem miktarı
M_e	Denge nemi
M_o	Başlangıçtaki ürün kütlesi [g]

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] Kara, D., "Sakarya'da Yetişen İki Farklı Kabak Çekirdeğinden (Cucurbita Maxima ve Moschata) Katalaz Enziminin Karakterizasyonu", Yüksek Lisans Tezi, **SAKARYA Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Sakarya, (2008).
- [2] Yanmaz, R., ve Gülşen, O., "Çerezlik Kabak Çalışmayı", **Kayseri Valiliği İl Gıda Tarım ve Hayvancılık Müdürlüğü**, KAYSERİ, (2014).
- [3] Hawlader, M.N.A., Jahangeer, K.A., "Solar Heat Pump Drying and Water Heating in the Tropics", **Solar Energy**, 80 (5): 492-499, (2006).
- [4] Akpınar E.K., Biçer Y., "Siklon Tipi Bir Kurutucuda Kabağın Kuruma Davranışının İncelenmesi", **Gazi Üniversitesi Fen bilimleri dergisi**, 16(1): 159-169, (2003).
- [5] Lahsani S., Kouhila M., Mahrouz M., Jaouhari J.T., "Drying Kinetics of Prickly pear Fruit (Opuntia Ficus Indica)", **Journal of Food Engineering**, 61: 173-179, (2004).
- [6] Lee, K.H., Kim, O.J., "Investigation on Drying Performance and Energy Savings of the Batch-Type Heat Pump Dryer", **Drying Technology**, 27: 565-573, (2009).
- [7] Aktaş M., Gönen E., "Isı Pompalı Nem Kontrollü Bir Kurutucuda Defne Yaprağı Kurutulması", **Gazi Üniversitesi Müh. Mim. Fak. Der.**, 29(2): 433-441, (2014)..
- [8] Hebbar, H., Vishwanathan, K.H., Ramesh, M.N., "Development of Combined Infrared and Hot Air Dryer for Vegetables", **J. of Food Eng.** 65: 557-563, (2004).
- [9] Nowak, D., Lewicki P. P., "Infrared Drying of Apple Slices", **Innovative Food Science and Emerging Technologies**, 5: 353-360, (2004).

- [10] Kocabiyik H. and Tezer D., “Dryain of CarrotSlices Using İnfraredRadiation”, *International Journal of food science and tecnology*, 44: 953-959, (2009).
- [11] Queiroz, R., Gabas, A. L., Telis, V. R. N., “Drying Kinetics of Tomatoby Using Electric Resistance and Heat Pump Dryers”, *Drying Technology*, 22: 1603-1620, (2004).
- [12] Phani, K., A., Greg, J., S., “Re-circulating Heat Pump Assisted Continuous Bed Drying and Energy Analysis”, *International Journal of Energy Research*, 29: 961-972, (2005).
- [13] Özdemir, B., M., Özkaya, G., M., “Ankara İli Şartlarında Düşey Tip Toprak Kaynaklı Isı Pompası Sisteminin Enerji ve Ekserji Analizi”, *Politeknik Dergisi*, 18 (4) : 269-280, (2015).
- [14] Şevik, S., Doğan H., Aktaş M., “Güneş Enerjisi ve Isı Pompası Destekli Isıtma Kurutma Sisteminin Modellenmesi”, *Politeknik Dergisi*, 14: 85-91, (2011).
- [15] Aktaş, M., Kara M., Ç., “Güneş Enerjisi ve Isı Pompalı Kurutucuda Dilimlenmiş Kivi Kurutulması”, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 28(4): 733-741, (2013).
- [16] Aktaş M., Aktekeli Z., Doğan H. ve Ceylan D., “Güneş Enerjisi Destekli, Isı Pompalı Kırmızı Biber Kurutucusunun Tasarımı, İmalatı ve Performans Deneçleri”, *Isı Bilimi ve Teknięi Dergisi*, 30(1): 111-120 (2010).
- [17] 17. Kavak Akpınar E., “Drying of Mint Leaves in a Solar Dryer and Under Open Sun: Modelling, Performance Analyses”, *Energy Con. And Man.*, 51: 2407-2418, (2010).