

BİR JEOTERMAL KURUTUCU TASARIMI SAHA TESTLERİ VE KURUTMA SİSTEMİNİN ENERJİ ANALİZİ

Hüseyin Utku HELVACI
Güliden GÖKÇEN
Figen KOREL
Levent Yurdaer AYDEMİR

ÖZET

Kurutma, meyve ve sebzelerin saklanması için insanlarca kullanılan en eski yöntemlerden biridir. Kurutma işlemi gerçekleştirilen ürünün içerisindeki su miktarının düşük seviyelere getirilmesi, ürünün bozulmasını önler, kütle ve hacmindeki azalma sayesinde ürünün taşıma ve depolanma işlemlerini daha verimli hale getirir.

Zeytin yaprağı içerisinde bulundurduğu fenolik maddeler sayesinde insan metabolizmasına faydalı etkileri olan bitkisel bir ürün olarak kullanılmaktadır. Zeytin yaprağının, gıda ürünlerinde hammadde olarak kullanılabilmesi ve içeriğindeki fenolik maddelerin ekstrakte edilebilmesi için kurutma işlemi gerçekleştirilmelidir. Diğer bitkisel ürünlerde olduğu gibi zeytin yaprağının kurutulmasında da, kullanılan kurutma yöntemi, kurutulan ürünün kalite parametrelerini (fenolik madde miktarı ve antioksidan aktivite miktarı) belirleyen önemli bir faktördür. Bu sebeple kapalı ve kontrol altında gerçekleştirilen modern kurutucuların kullanıldığı kurutma yöntemleri ön plana çıkmaktadır.

Yenilenebilir enerji kaynakları özellikle güneş enerjisi ve jeotermal enerji kontrollü bir kurutma işleminde kullanılabilir alternatif enerji kaynaklarıdır.

Bu çalışmada, bir jeotermal kurutucu tasarımı ve imalatı yapılarak, zeytin yapraklarının kontrollü şartlarda kurutulmasını gerçekleştirmek ve kurutma havası sıcaklığının ve hızının kuruma ve ürünün kalite parametrelerine etkilerini incelemek amacıyla Balçova Jeotermal Sahası'nda testler yapılmıştır. Yapılan testler sonucunda, kuruma hızının, artan hava sıcaklığı ve hızı ile arttığı ve kuruma süresinin de artan hava sıcaklığı ve hızı ile azaldığı gözlemlenmiştir. Yapılan optimizasyon çalışması sonucunda hammaddeye göre toplam antioksidan ve toplam fenolik madde kaybının en az olduğu optimum kuruma şartlarının 50°C hava sıcaklığında ve 1 m/s hava hızında gerçekleştiği bulunmuştur. Ayrıca zeytin yapraklarının kuruma işleminin performansını incelemek amacıyla jeotermal kurutucunun enerji analizi farklı iki durumda: 1: Atık kurutma havasının çevreye atıldığı, 2: Atık kurutma havasının bir kısmının geri kazanımı sağlanarak fan girişinde çevre havası ile karıştırıldığı durumda incelenmiştir. Enerji analizi sonucunda zeytin yapraklarının kurutma işlemi için Enerji Kullanımı (EK) 0,3316 kW, Enerji Kullanım Oranı ise (EKO) 1. durumda 7,96%, 2. durumda ise 50,36% bulunmuştur.

Anahtar Kelimeler: Kurutma, Zeytin yaprağı, Antioksidan aktivite, Fenolik madde, Hava rekülasyonu.

ABSTRACT

Drying is one of the oldest methods used by man for preservation of fruits and vegetables. In drying process water level of product is decreased which enhances their storage life and decrease in weight and volume saves transportation and storage costs. Olive leaves which have beneficial effects on human metabolism have been used as a medicinal plant due to the high phenolic compounds

contained. Drying is the most important process for using olive leaves as a raw material in food products and for extracting the phenolic compounds. Like other medicinal plants in drying process of olive leaves, drying method is an important factor which determines the quality parameters (phenolic content and antioxidant activity) of dried product. Therefore, drying process which is undertaken in a closed and controlled environment with modern dryers is coming into prominence. Renewable energy sources such as solar and geothermal energy are the good alternatives which can be used in controlled drying process as an energy source. In this study, a cabinet type geothermal dryer was designed and constructed and in the aim of conducting controlled drying process of olive leaves and determination of drying air temperature and air velocity on drying process and quality of dried olive leaves a number of tests were conducted. It was observed that an increase in drying air temperature and velocity increased drying rate and decreased drying time. Optimization study showed that drying air temperature of 50°C and air velocity of 1 m/s was found as the optimum drying air condition for minimal total phenolic content and total antioxidant activity loss. Furthermore, to investigate the drying process of olive leaves energy analysis was conducted in two cases: 1. Exhaust air is rejected to the environment. 2. A portion of exhaust air is re-circulated. According to the energy analysis results for the drying process of olive leaves energy utilization (EU) was obtained as 0.3316 kW, energy utilization ratio (EUR) was determined as 7.96% for case 1 and 50.36% for case 2.

Key Words: Drying, Olive leaves, Antioxidant activity, Phenolic content, Air-recirculation.

1. GİRİŞ

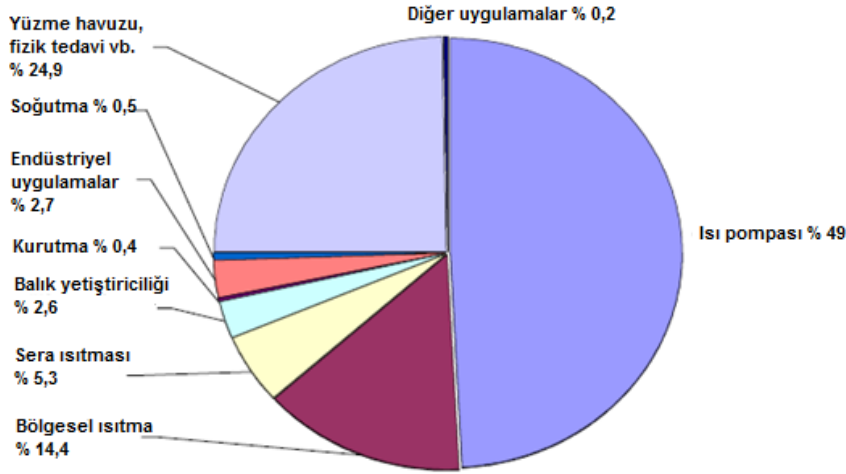
Kurutma, meyve ve sebzelerin saklanması insanlarca kullanılan en eski yöntemlerden biridir. Kurutma işlemi, kurutulan ürünün içerisindeki suyun, ürünün iç kısmından yüzeye doğru taşınması ve yüzeyden buharlaşarak atılmasını içeren ısı ve kütle transferi olayıdır. Kurutma işleminde gerçekleştirilen ürünün içerisindeki su miktarının düşük seviyelere getirilmesi, ürünün bozulmasını önler, kütle ve hacmindeki azalma sayesinde ürünün taşıma ve depolanma işlemlerini daha verimli hale getirir [1,2].

Zeytin yaprağı içerisinde bulundurduğu fenolik maddeler sayesinde insan metabolizmasına faydalı etkileri olan bitkisel bir ürün olarak kullanılmaktadır. Oleuropein ve hydroxytyrosol, zeytin yaprağında en çok bulunan fenolik maddelerdir. Bu fenolik maddeler, sahip oldukları yüksek antioksidan aktivite sayesinde bağışıklık sistemini güçlendirerek insan vücudunu birçok hastalıktan korur. Zeytin yaprağı sağladığı doğal antioksidan özellik sayesinde gıda ürünlerinde hammadde olarak kullanılabilir. Zeytin yaprağının, gıda ürünlerinde hammadde olarak kullanılabilmesi ve içeriğindeki fenolik maddelerin ekstrakte edilebilmesi için kurutma işlemi gerçekleştirilmelidir [3-5].

Gıda ürünlerinin, güneş altında açık havada kurutulması her ne kadar kullanılan en yaygın kurutma yöntemi olsa da, ürünün toz, mikroorganizma ve her türlü iklimsel olumsuzluğa maruz kalması nedeniyle tıbbi bitkilerin kurutulması için uygun bir yöntem değildir. Diğer bitkisel ürünlerde olduğu gibi zeytin yaprağının kurutulmasında, kullanılan kurutma yöntemi, kurutulan ürünün kalite parametrelerini (toplam fenolik madde miktarı ve toplam antioksidan miktarı) belirleyen önemli bir faktördür. Güneş altında, açık havada kurutma yönteminde, sıcaklık ve hava hızı gibi kuruma parametrelerin kontrol edilememesi ürünün gereğinden fazla kurutulmasına ve kurutulan son ürünün kalitesinde bir kayba neden olabilmektedir. Bu sebeple, kapalı ve kontrol altında gerçekleştirilen modern kurutucuların kullanıldığı kurutma yöntemleri ön plana çıkmaktadır. Tünel veya kabin tipi kurutucuların kullanılarak, ürünün sıcak hava ile kurutulması gelişmiş modern kurutma yöntemlerindedir. Modern kurutma yöntemleri, gerekli olan kurutma süresini kısaltarak kurutulan son ürünün kalitesinde artış sağlar fakat kurutma işleminde kullanılan enerji ihtiyacının önemli oranda artmasına sebep olur. Bu sebeple, yenilenebilir enerji kaynaklarının kurutma işleminde enerji kaynağı olarak kullanılması önem kazanmaktadır [6,7].

Jeotermal enerji, kurutma uygulamalarında kullanılan yenilenebilir enerji kaynaklarından biridir. Güneş enerjisinin günlük ve mevsimsel olarak değişkenlik göstermesi, gün içerisinde sınırlı bir süre kullanılabilmesi ve kurutma işleminin aralıklı olarak devam etmesi güneş enerjisinin başlıca

dezavantajlarıdır. Jeotermal enerji ise mevsimsel değişimlere bağlı olmaksızın sürekli bir enerji kaynağı olarak kurutma işlemlerinde kullanılabilme imkânı sağlar. Şekil 1'de Dünya'da jeotermal enerjinin çeşitli uygulama alanları ve kullanım oranları gösterilmiştir.



Şekil 1. Toplam jeotermal enerji kullanımının oranları [8].

Jeotermal enerjinin kurutma uygulamalarında kullanımı toplam jeotermal enerji kullanımının %0,4'ünü oluşturursa da, bir çok ülkede çeşitli gıda ürünlerinin kurutulmasında kullanılmaktadır. Örneğin, denizyosunu (İzlanda), soğan (A.B.D.), buğday ve diğer tahıllar (Sırbistan), meyva (El Salvador ve Meksika), kabayonca (Yeni Zelanda), hindistan cevizi (Filipinler) ve deri (Meksika, Yeni Zelanda ve Romanya) [8].

Kurutulan ürünlere bağlı olarak, kurutma işleminde kullanılan jeotermal akışkanın sıcaklık değerleri Şekil 2'de gösterilmiştir.

160°C	Balık eti kurutması
150°C	
125°C	Çimento kurutma
100°C	
95°C	Deri kurutma Kumaş kurutma
65°C	
	Sebze ve meyva kurutma

Şekil 2. Farklı kurutma uygulamalarına bağlı olarak kullanılan jeotermal akışkan sıcaklıkları [9].

Türkiye'deki jeotermal kaynaklar kurutma işleminde kullanılmaya yetecek sıcaklıkta ise de, Ankara, Kızılcahamam'da faaliyet gösteren Taze Kuru Gıda A.Ş. ve Kırşehir'in Karakurt beldesinde bulunan jeotermal sebze ve meyve kurutma tesisi, jeotermal enerjinin kullanılarak gıda ürünlerinin kurutulduğu az sayıdaki uygulamalardır.

Bu çalışmada, bir jeotermal kurutucu tasarımı ve imalatı yapılarak, zeytin yapraklarının kontrollü şartlarda kurutulmasını gerçekleştirmek ve kurutma havası sıcaklığının ve hızının kurumaya ve ürünün kalite parametrelerine etkilerini incelemek amacıyla Balçova-Narlidere Jeotermal Sahası'nda testler yapılmıştır.

2. TEORİ

2.1. Başlangıç Nem Oranı

Ürünün ilk nem içeriğinin saptanması, taze zeytin yaprakların 105°C'de sabit ağırlığa gelinceye kadar kurutma fırınında kurutulması ile hesaplanmıştır. Kurutma süresince örneklerin ağırlıkları hassas terazi ile ölçülmüştür. Denklem (1) kullanılarak ürünün başlangıç nem oranı belirlenmiştir.

$$M_i = \frac{m_i - m_s}{m_i} \times 100 \quad (\%) \quad (1)$$

2.2. Başlangıç Nem Oranı

Ürünün nem içeriği, yaş baza göre (y-b) Denklem (2) kullanılarak hesaplanmıştır.

$$M_{yb} = \frac{M_s}{M_s + M_k} \times 100 \quad (\%) \quad (2)$$

Ürünün nem içeriği, Denklem (3) kullanılarak “boyutsuz nem oranı” (MR) ye çevrilmiştir.

$$MR = \frac{M_t}{M_i} \quad (-) \quad (3)$$

2.3. Kalite Ölçümleri

2.3.1. Toplam Fenolik Madde Miktarının Belirlenmesi

Kurutulmuş zeytin yaprakları örnekleri, her deney sonrasında, hava geçirmez plastik tüplerde 2-3 gün süresince muhafaza edilmiştir. Fenolik maddelerin özütlenmesinde geleneksel özütleme yöntemi kullanılmıştır. Buna göre, kurutulmuş zeytin yaprakları 4/1 hacim/hacim oranındaki etil alkol-su karışımında, 40°C sıcaklıkta, çalkalamalı su banyosunda, 24 saat boyunca karanlıkta bekletilmiştir [4]. Fenolik madde kaybı (FMK), 765 nanometre hızda, Folin - Ciocalteu metodu kullanılarak belirlenmiş ve Denklem (4) kullanılarak hesaplanmıştır.

$$FMK = \frac{TFM_{taze} - TFM_{kuru}}{TFM_{taze}} \times 100 \quad (\%) \quad (4)$$

2.3.2. Toplam Antioksidan Aktivite Miktarının Belirlenmesi

Kurutulmuş zeytin yapraklarının antioksidan kapasitesi, ABTS (decolorization) yöntemi ile belirlenmiştir [10]. Bu yöntemde, 19,2 mg ABTS, 2,45 mM potasyum persülfat içeren 5 mL'lik ABTS stok çözeltisi hazırlanmıştır. ABTS⁺ radikal çözeltisi, hazırlanan stok çözeltinin 24 saat boyunca karanlıkta bekletilmesi ile oluşturulmuştur. Bu analizde, toplam antioksidan kapasite, 734 nm dalga boyunda, ABTS radikalinin (ABTS⁺), ortamdaki antioksidan maddeler ile gerçekleşen renk değişiminin ölçülmesi ile bulunmuştur. Kurutulmuş ürünlerdeki antioksidan madde kaybı (AMK) Denklem (5) kullanılarak hesaplanmıştır.

$$AMK = \frac{TAM_{taze} - TAM_{kuru}}{TAM_{taze}} \times 100 \quad (\%) \quad (5)$$

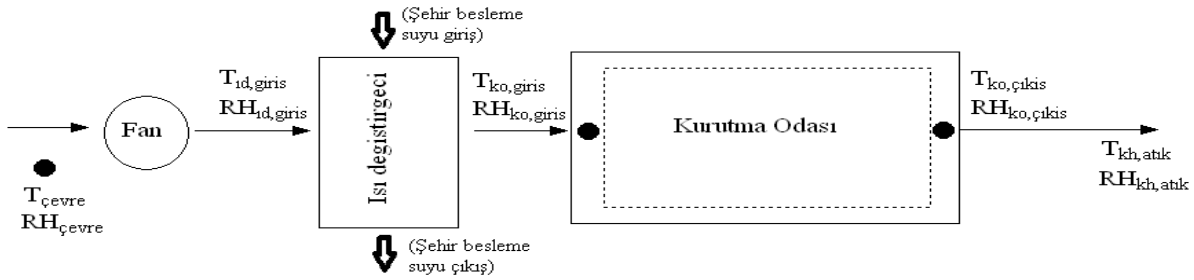
2.4. Enerji Analizi

Kurutma sisteminin performansı enerji analizi ile belirlenmiştir. Bu amaçla, tepsi giriş, çıkış ve çevre havası sıcaklık ve bağıl nem değerleri ile tepsi girişinde hız ölçümleri yapılmış ve enerji analizinde kullanılmıştır.

Enerji analizi 2 farklı durumda gerçekleştirilmiştir.

1. Durum: Atık kurutma havasının çevreye atılması.
2. Durum: Atık kurutma havasının bir kısmının geri kazanımı sağlanarak fan girişinde çevre hava ile karıştırılması.

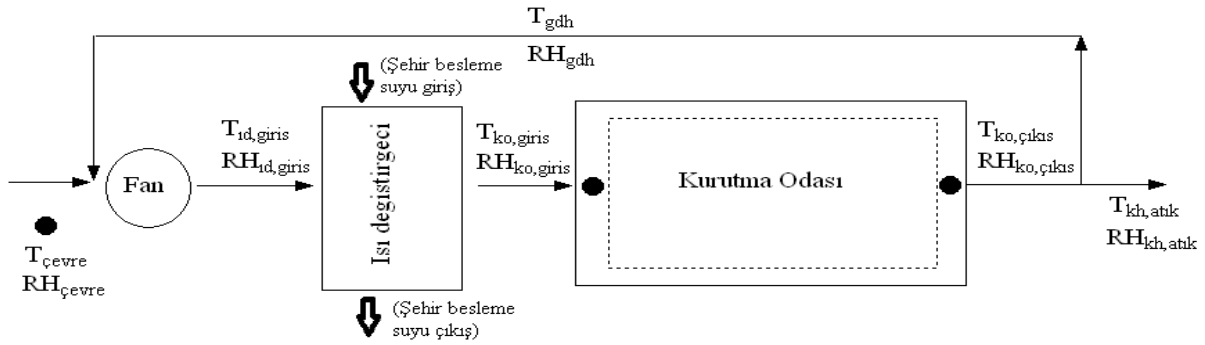
1. Durum



Şekil 3. Atık kurutma havasının atıldığı kurutma sisteminin şematik gösterimi.

$$\dot{m}_{\text{çh}} = \dot{m}_{\text{kh}} \quad (\text{kg/s}) \quad (6)$$

2. Durum



Şekil 4. Atık kurutma havasının geri kazanıldığı kurutma sisteminin şematik gösterimi.

$$\dot{m}_{\text{kh}} = \dot{m}_{\text{gdh}} + \dot{m}_{\text{çh}} \quad (\text{kg/s}) \quad (7)$$

$$\dot{m}_{\text{gdh}} \times (r) + \dot{m}_{\text{çh}} \times (1 - r) = \dot{m}_{\text{kh}} \quad (\text{kg/s}) \quad (8)$$

Kurutma Odası

Kurutma odası şematik olarak şekil 5'de gösterilmiştir.



Şekil 5. Kurutma odası şematik gösterimi.

Kurutma işlemi için kurutma odasına giren toplam kurutma havası debisi Denklem (9) kullanılarak hesaplanmıştır.

$$\dot{m}_{kh} = \rho \times V_{kh} \times A \quad (\text{kg/s}) \quad (9)$$

Denklem (10) genellikle havanın bağıl nem değerini, özgül nem değerine çevirmek için kullanılır.

$$\omega = \frac{RH \times P_{sat@T}}{P - P_{sat@T}} \quad (\text{kg subuharı/kg kuruhava}) \quad (10)$$

Havanın entalpisi Denklem (11) ile hesaplanmıştır.

$$h = C_{p,kh} \times T_{kh} \times \omega \times T_{sat@T} \quad (\text{kJ/kg}) \quad (11)$$

Zeytin yapraklarının kuruma işleminin gerçekleşmesi için harcanan enerji miktarı Enerji kullanımı (EK) ile ifade edilmiş ve Denklem (12) kullanılarak hesaplanmıştır.

$$EK = \dot{m}_{kh} \times [h_{ko,giriş} - h_{ko,çıkıs}] \quad (\text{kW}) \quad (12)$$

Enerji kullanım oranı (EKO), kurutma işlemi için harcanan enerji miktarının, kurutma havasına ısı değiştirgecinde verilen enerji miktarına oranı olarak ifade edilir ve Denklem (13) kullanılarak hesaplanır.

$$EKO = \frac{\dot{m}_{kh} \times [h_{ko,giriş} - h_{ko,çıkıs}]}{\dot{m}_{kh} \times [h_{1d,çıkıs} - h_{1d,giriş}]} \quad (\%) \quad (13)$$

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Deney Sistemi

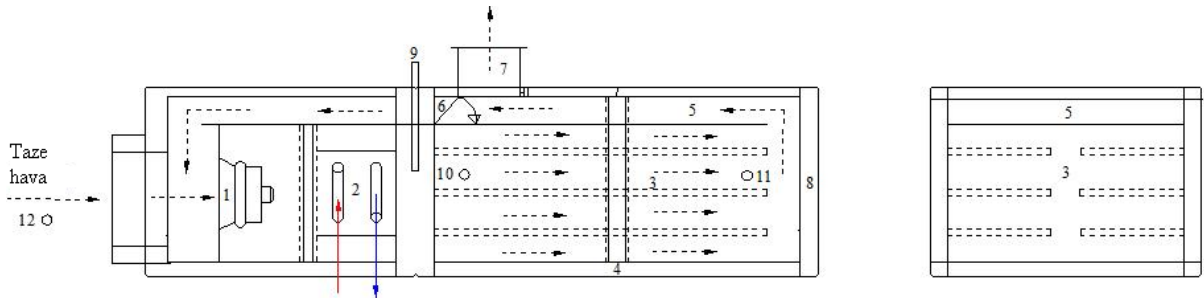
Zeytin yapraklarının kontrollü şartlarda kurutulmasını gerçekleştirmek amacı ile yüksekliği 554 mm, genişliği 1100 mm ve toplam uzunluğu 2000 mm olan kabin tipi bir jeotermal kurutucusu tasarlanmış ve imal edilmiştir. Kurutucu, fan ünitesi, ısıtma ünitesi ve kurutma odası olmak üzere 3 ana bölümden oluşmuştur. Şekil 6, 7 ve 8'de sırasıyla jeotermal kurutucu ve tepsilere ait görünüşler ve kurutucunun şematik diyagramı verilmiştir.



Şekil 6. Jeotermal kurutucusunun görünüşü.



Şekil 7. Kurutma tepsilerinin görünüşü.



(1) Fan, (2) Isı değiştirgeci, (3) Tepsiler, (4) Kurutma odası, (5) Geri dñnüşüm ünitesi, (6) Klappe
(7) Baca, (8) Kapı, (9) Hız ölçüm cihazı, (10) - (11) - (12) Sıcaklık ve Bağıl Nemi gösteren
Termometreler

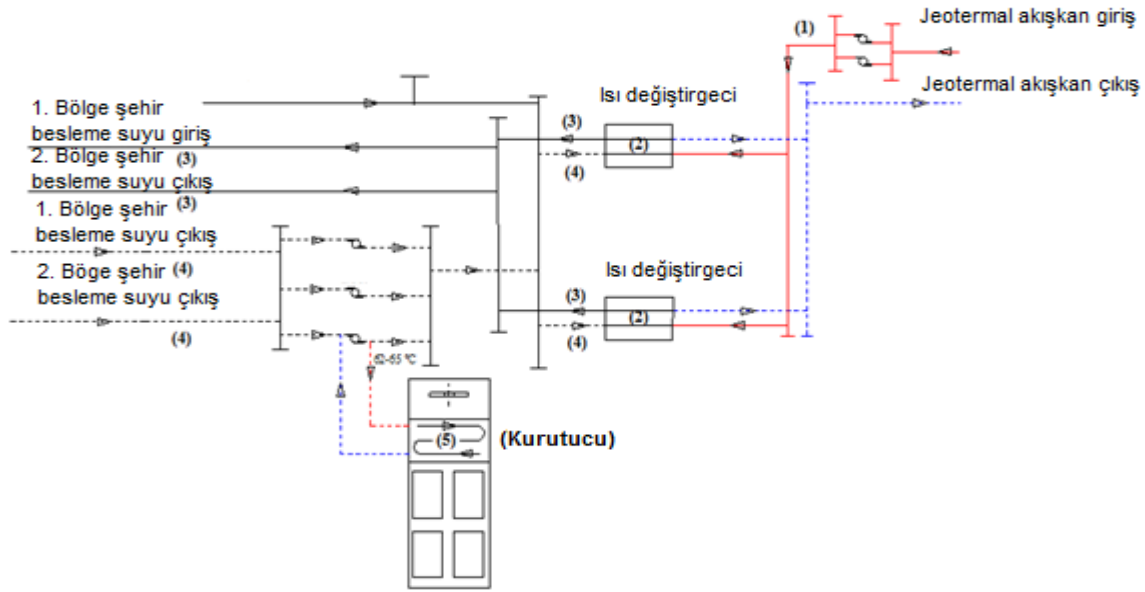
Şekil 8. Jeotermal kurutucu, şematik.

Taze hava bir santrifüj fan (1) ile kurutucu içersine emilerek ısı değiştirgecine gönderilir. Isı değiştirgecinde (2) dolaşan sıcak Şehir suyunun ısısını alan taze hava, istenilen sıcaklıklarda ısı değiştirgecini terk ederek kurutma odasına (4) girer. Kurutma odası, her biri 600 mm uzunluğunda ve 500 mm genişliğinde olan 6 tane tepsiden (3) oluşur. Tepsilerin üzerine serilmif olan zeytin yaprakları,

kurutma odasına giren sıcak havanın üzerinden geçmesi ile bünyesinde bulundurduğu suyu buharlaştırarak kurur. Kurutma odasının çıkışında, egzoz havasını geri kazanmak amacı ile bir geri dolaşım ünitesi (5) bulunmaktadır. Klape yardımı ile bir miktar hava fan girişine gönderilerek taze hava ile karıştırılır ve tekrar fan ile emilerek kurutucu içersine gönderilir.

3.2. Uygulama Alanı

Kabin tipi jeotermal kurutucusu Balçova-Narlidere jeotermal sahasında bulunan 11 adet ısı merkezinden Yenikale Isı Merkezi'nde test edilmiştir. (Şekil 9). Isı merkezleri, jeotermal akışkanın (1) ısıısını, ısı değiştirgeçlerinde (2) şehir besleme suyuna (3) transfer ettiği istasyonlardır. Yenikale Isı Merkezi'nde, ısı değiştirgecine 62°C'de dönen şehir besleme suyu (4), kurutucunun ısı değiştirgecinden geçerek kurutucunun ısı kaynağını oluşturmaktadır (Şekil 9).



Şekil 9. Yenikale ısı merkezi ve jeotermal kurutucu, şematik.

3.3. Kurutma Deneyleri

Zeytin yapraklarının kurutulması için farklı hava sıcaklıklarında ve hızlarında 2012 yılının Mart, Nisan ve Mayıs aylarında deneyler gerçekleştirilmiştir. Toplanan zeytin yaprakları, her bir deney öncesinde yıkanarak üzerindeki tozlar ve daha sonra filtreleme kâğıdı ile üzerinde bulunan su uzaklaştırılmıştır. Zeytin yaprakları, tepsilere ince tabaka şeklinde yerleştirilip 3 farklı sıcaklık (40 – 50 – 60°C) ve hava hızında (0,5 – 1 – 1,5 m/s) deneyler gerçekleştirilmiştir. Her bir deneyde yaklaşık olarak 150 g zeytin yaprağı kurutulmuştur. Zeytin yapraklarının başlangıç nem içeriği yaklaşık % 40±2 (y-b) olarak belirlenmiştir. Deneyler boyunca sıcaklık, bağıl nem ve hız ölçümleri yapılmıştır. Sıcaklık ve bağıl nem sensörleri fan girişine (12), tepsi öncesi (10) ve sonrasına (11) yerleştirilmiştir. Hız sensörü ise tünel girişindedir (9) (Şekil 8). Ölçümler 90 sn aralıkla alınmış ve depolanmıştır.

4. SONUÇLAR

Zeytin yapraklarının kuruma davranışlarını incelemek amacı ile 40, 50, 60°C hava sıcaklığında ve 0,5, 1 ve 1,5 m/s hava hızlarında deneyler gerçekleştirilmiştir.

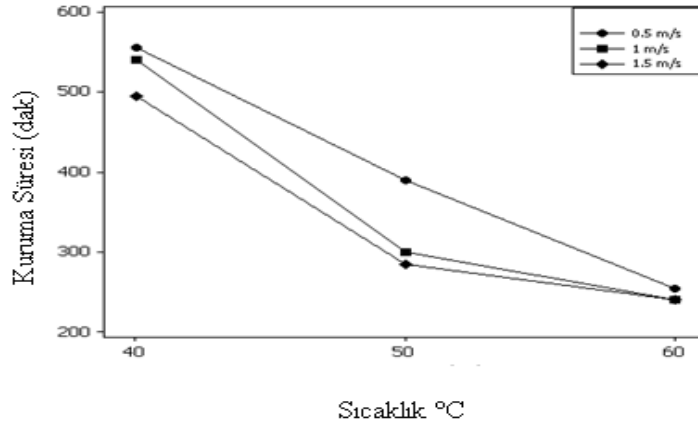
4.1. Kurutma Havası Sıcaklığının Etkisi

Kuruma havası sıcaklığının etkisini incelemek amacı ile kuruma hızı 0,5, 1 ve 1,5 m/s hava hızlarında sabit tutulup, hava sıcaklığı 40°C'den 60°C'ye 10°C aralıklar ile artırılarak deneyler gerçekleştirilmiş ve kuruma süreleri belirlenmiştir (Tablo 1 ve Şekil 10).

Tablo 1. Deney koşulları (sıcaklığın etkisi).

Hız (m/s)	Sıcaklık (°C)	Kurutma Süresi (dk)
0,5	40	555
	50	390
	60	255
1	40	540
	50	300
	60	240
1,5	40	495
	50	285
	60	240

Tablo 1, sabit hava hızlarında, hava sıcaklığındaki artışın beklendiği gibi kuruma hızını artırdığını ve kuruma süresini kısalttığını göstermektedir. 0,5 m/s hava hızında, 40°C sıcaklıktaki kuruma süresi 555 dk iken, bu süre 50°C'de 390 dakikaya ve 60°C'de 255 dakikaya düşmektedir. 1 m/s ve 1,5 m/s hava hızlarında da hava sıcaklığının benzer etkisi gözlemlenmiştir.



Şekil 10. Sabit hava hızlarında sıcaklığın kuruma süresine etkisi.

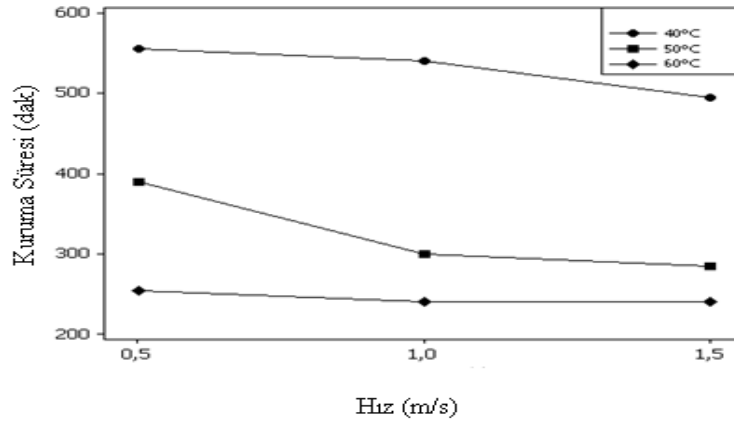
4.2. Kurutma Havası Hızının Etkisi

Hava hızının, zeytin yapraklarının kurumasına olan etkisini incelemek amacı ile kurutma havası sıcaklığının 40, 50 ve 60°C'lerde sabit tutulup hava hızının 0,5 m/s'den 1,5 m/s'ye 0,5 m/s aralıklar ile değiştiği deneyler gerçekleştirilmiştir. Tablo 2 ve Şekil 11'de hava hızındaki değişimin kuruma sürelerine olan etkileri gösterilmiştir.

Tablo 2. Deney koşulları (sıcaklığın etkisi).

Sıcaklık (°C)	Hız (m/s)	Kuruma Süresi (dk)
40	0,5	555
	1	540
	1,5	495
50	0,5	390
	1	300
	1,5	285
60	0,5	255
	1	240
	1,5	240

Tablo 2’de sabit hava sıcaklıklarında, artan hava hızının kuruma hızını arttırdığı ve yaprakların kuruması için gereken sürenin kısaldığı gözlemlenmiştir. Sadece, 60°C’de hava hızı 1 m/s’den 1,5 m/s’ye artarken kuruma süresi değişmemiştir.

**Şekil 11.** Sabit hava sıcaklığında hızın kuruma süresine etkisi.

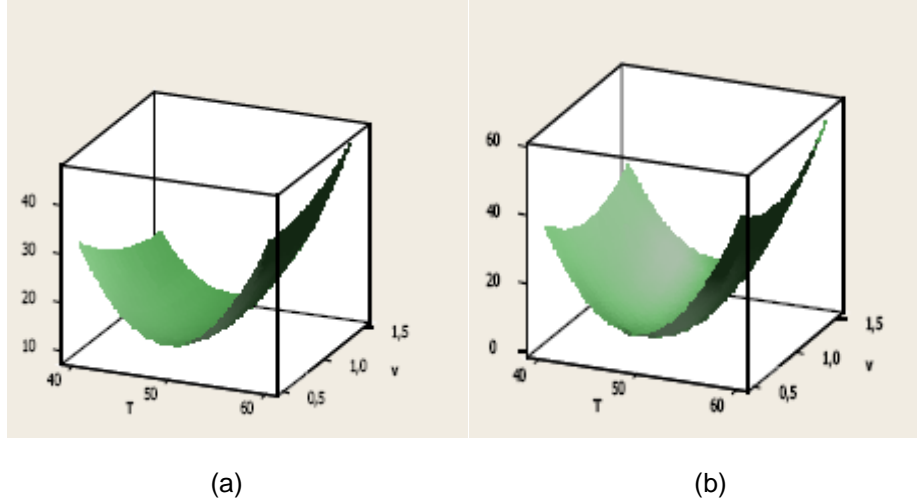
Şekil 10 ve 11 karşılaştırıldığında kurutma havası sıcaklığının zeytin yapraklarının kuruma hızında kurutma havası hızına göre daha etkin olduğu görülmektedir.

4.3. Kalite Ölçümleri

Kurutma deneylerinin sonucunda elde edilen zeytin yaprağının kalite parametrelerindeki (toplam fenolik madde ve toplam antioksidan aktivite) değişim Tablo 3 ve Şekil 12’de gösterilmiştir.

Tablo 3. Kalite parametrelerinin değişimi.

Deney No	T (°C)	V (m/s)	FMK (%)	AMK (%)
1	50	1,5	11,34	9,43
2	60	1	33,8	42,94
3	40	1,5	18,55	35,54
4	40	1	28,68	24,88
5	40	0,5	29,59	37,6
6	50	0,5	13,32	8,82
7	60	1,5	49,22	55,69
8	50	1	11,22	4,72
9	60	0,5	41,05	47,34



Şekil 12. Hava sıcaklığı ve hızının a) FMK, b) AMK'ye etkisi.

Şekil 12'de görüldüğü gibi 40°C hava sıcaklığında meydana gelen fenolik madde ve antioksidan aktivite kaybı 50°C'de gerçekleştirilenden daha fazladır. Bununla beraber, hava sıcaklığı 50°C'den 60°C'ye artırıldığında, fenolik madde ve antioksidan aktivite kaybı maksimum seviyeye ulaşmaktadır. Benzer sonuçlar, hava hızı değişimlerinde de görülmektedir. Hava hızı 0,5 m/s'den 1 m/s'ye artarken kalite parametrelerindeki kayıp düşmüştür, fakat hız 1m/s'den 1,5 m/s'ye artırıldığında fenolik madde ve antioksidan aktivite kaybı en yüksek değerine ulaşmıştır. Toplam antioksidan ve toplam fenolik madde kaybının en az olduğu optimum kuruma şartları, 50°C hava sıcaklığı ve 1 m/s hava hızı olarak belirlenmiştir.

4.4. Enerji Analizi

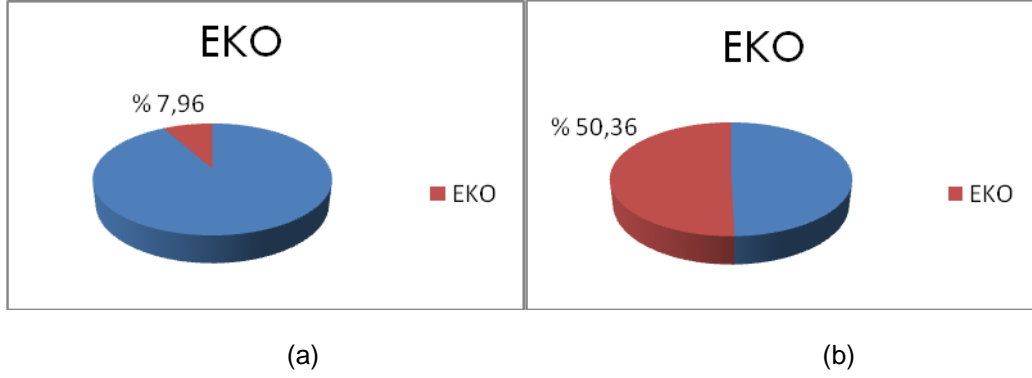
Enerji analizi için kullanılan ölçülmüş ve hesaplanmış veriler Tablo 4'de verilmiştir.

Tablo 4. Enerji analizi verileri.

Akışkan	T (°C)	RH (%)	h (kJ/kg)	\dot{m} (kg/s)	Energy (kW)
Hava/ Çevre	22	42	39,67	—	—
Hava/Fan girişi	37	19,4	56,79	0,20	0,066
Hava/Fan çıkışı-ID girişi	37,9	18,5	57,67	0,20	0,076
Hava/ID çıkışı-Kurutma odası girişi	40,9	15,7	60,81	0,21	0,1128
Hava/Kurutma odası çıkışı	39,8	16,4	59,23	0,21	0,1013
Su/ ID girişi	62	—	259,6	0,03	2,272
Su/ ID çıkışı	56,5	—	236,5	0,03	2,178

Enerji kullanımı (EK) Denklem (12) kullanılarak hesaplanmış ve 0,3316 kW bulunmuştur. Bu değer zeytin yapraklarının kuruma işlemi için harcanan enerji miktarını göstermektedir.

Enerji kullanım oranı 1. Durum için % 7,96, 2. Durum için ise %50,36 olarak hesaplanmıştır (Şekil 13).



Şekil 13. (a) 1. Durum, (b) 2. Durum.

Şekil 13 incelendiğinde, atık kurutma havasının geri kazanıldığı 2. Durum'da EKO'nun %7,96'dan %50,36'ya yükseldiği görülmektedir. Atık kurutma havasının geri kazanılması ısı değiştirgecinde havaya verilen enerji miktarını azaltmıştır. Eşitlik 13'den de görüldüğü gibi ısı değiştirgecinde havaya verilen enerji miktarının azalması, enerji kullanım oranını artırmaktadır.

TARTIŞMA

Bu çalışmada, kabin tipi bir jeotermal kurutucu tasarımı ve imalatı yapılarak ve Balçova-Narlıdere jeotermal sahasında zeytin yaprağının farklı hava sıcaklıklarında ve hızlarında kurutma deneyleri gerçekleştirilmiştir.

Deneyler sonucunda artan hava sıcaklığı ve hızının kuruma hızını artırdığı ve bunun da kuruma süresi kısalttığı gözlemlenmiştir. Optimizasyon çalışması sonuçlarına göre kuru maddeye göre zeytin yaprağının kalite parametrelerindeki düşüşün en az miktarda gerçekleştiği optimum kuruma şartlarının 60°C sıcaklık ve 1 m/s hava hızında gerçekleştiği bulunmuştur. Kurutma sistemi için gerçekleştirilen enerji analizi sonucunda kuruma işlemi için kurutucuda harcanan enerji kullanımının 0,3316 kW, enerji kullanım oranının ise atık kurutma havasının çevreye atıldığı 1. Durum'da %7,96, atık kurutma havasının bir miktarının geri kazanıldığı 2. Durumda ise %50,36 bulunmuştur. Bu durum, kurutucu çıkışındaki atık havanın bir kısmının geri döndürülerek taze hava ile karışması sonucu, karışım havasının sahip olduğu enerji miktarının artması ve ısı değiştirgecinde havaya aktarılan enerji miktarını düşürmesinin sonucudur.

SİMGELER

A	Alan, (m ²)
AMK	Antioksidan madde kaybı, (%)
C _p	Özgül ısı, (kJ/kgK)
EK	Enerji kullanımı, (kW)
EKO	Enerji kullanım oranı, (%)
FMK	Fenolik madde kaybı, (%)
h	Entalpi, (kJ/kg)
\dot{m}	Hava debisi, (kg/s)
M _i	Ürünün ilk nem içeriği, (gr _{su} / gr _{km})
m _i	Ürünün ilk ağırlığı, (gr)
M _k	Ürün içerisindeki kuru madde, (gr)
MR	Boyutsuz nem oranı,
m _s	Ürünün son ağırlığı, (gr)
M _s	Ürün içerisindeki su kütlesi, (gr)
M _t	Ürünün t anındaki nem içeriği, (gr _{su} / gr _{km})

M_{yb}	Yaş baza göre nem içeriği, (%)
r	Re-sirkülasyon oranı, (%)
RH	Bağıl Nem, (%)
T	Sıcaklık, (°C)
TAM	Toplam antioksidan madde miktarı, (mM)
TFM	Toplam fenolik madde miktarı, (mg eşdeğer gallik asit / g kuru ağırlık)
V	Hız, (m/s)
ρ	Özkütle, (kg/m ³)
ω	Özgül nem, (kgsu/kg)

Alt Simgeleler

ch	Çevre havası
gdh	Geri dönüşüm havası
id	Isı değiştirgeci
kh	Kurutma havası
km	Kuru madde
sat	Doyma noktası

KAYNAKLAR

- [1] El-Ghetany, H.H., "Experimental Investigation and Empirical Correlations of Thin Layer Drying Characteristics of Seedless Grapes", Energy Conversion and Management, Vol. 47, pp. 1610-1620. 2006.
- [2] Doymaz I., "Drying Kinetics of Black Grapes Treated with Different Solutions", Journal of Food Engineering, Vol. 76, Issue 2, pp. 212-217. 2006.
- [3] Farag, R S, G S El-baroty, and Amany M Basuny., "Safety Evaluation of Olive Phenolic Compounds as Natural Antioxidants." International Journal of Food Sciences and Nutrition 54 (3): 159–174. 2003.
- [4] Bouaziz, Mohamed, and Sami Sayadi., "Isolation and Evaluation of Antioxidants from Leaves of a Tunisian Cultivar Olive Tree." European Journal of Lipid Science and Technology 107 (7-8): 497–504. 2005.
- [5] Singh, Indu, Michelle Mok, Anne-Marie Christensen, Alan H Turner, and John A Hawley., "The Effects of Polyphenols in Olive Leaves on Platelet Function." Nutrition, Metabolism and Cardiovascular Diseases 18 (2): 127–132. 2008.
- [6] Garg, H.P., Kumar, R., "Developments in solar drying", In: Proceedings of the Second Asian-Oceania Drying Conference (ADC 2001), Batu Feringhi, Pulau Pinang, Malaysia, pp. 297–319. 2001.
- [7] Fargali, Hanaa M, Abd El-Shafy A Nafeh, Faten H Fahmy, and Mohamed A Hassan., "Medicinal Herb Drying Using a Photovoltaic Array and a Solar Thermal System." Solar Energy 82 (12): 1154–1160. 2008.
- [8] Lund, W., Klamath Falls Development of Direct use projects: Geoheat Center Quarterly Bulletin, v. 29, no.2, p. 1-7. 2010.
- [9] Lund, JW, DH Freeston, and TL Boyd., "Direct Utilization of Geothermal Energy 2010 Worldwide Review." Geothermics (April): 25–29. 2010.
- [10] Re, R., N. Pellegrini, A. Proteggente, A. Pannala, M. Yang and C. Rice-Evans., "Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorizing assay". Free Radical Biol. Med., 26: 1231-1237. 1999.

ÖZGEÇMİŞ

Hüseyin Utku HELVACI

1986 Aydın/Söke doğumludur. 2008 yılında Süleyman Demirel Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü'nü bitirmiştir. İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü Enerji Mühendisliği bölümünde 2013 yılında yüksek lisansını tamamlamış ve Şubat 2013'den itibaren İYTE'de doktora programına devam etmektedir. Kurutma, jeotermal enerji kullanım yöntemleri ve enerji ekserji analizi konularında çalışmaktadır.

Güliden GÖKÇEN

1968 yılı İzmir doğumludur. 1990 yılında Dokuz Eylül Üniversitesi Makina Mühendisliği Bölümü'nü bitirmiştir. Ege Üniversitesi Güneş Enerjisi Enstitüsü'nden 1992 yılında Yüksek Mühendis, 2000 yılında Doktor unvanı almıştır. 1996 yılında Auckland Üniversitesi Jeotermal Enstitüsü'nde "Jeotermal Enerji Teknolojisi Diploma Kursu"na katılmıştır. 1997 yılında NATO A2 bursu ile ABD'de "Jeotermal Elektrik Santralleri'nde Reboiler Teknolojisi" üzerine çalışmalar yapmıştır. 1991-2000 yılları arasında Güneş Enerjisi Enstitüsü'nde Araştırma Görevlisi olarak görev yapmıştır. 2000 yılında Yrd. Doç. unvanı ile İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü Makina Mühendisliği Bölümü'nde göreve başlamış, 2005 yılında Doçent unvanı almıştır. 2004-2007 yıllarında İYTE Enerji Mühendisliği Anabilim Dalı Başkanlığı, 2007-2010 yıllarında İYTE Jeotermal Enerji Araştırma ve Uygulama Merkezi Müdürlüğü görevini yürütmüştür. Ocak 2011'den bu yana İYTE Enerji Mühendisliği Anabilim Dalı Başkanlığı'nı sürdürmektedir. Jeotermal elektrik santrallerinde verim artırma yöntemleri, ısı değiştirgeçleri, jeotermal enerji kullanım yöntemleri ve jeotermal enerjinin çevresel etkileri ile enerji verimliliği, binalarda enerji performansı konularında çalışmaktadır.

Figen KOREL

1992 yılında Ege Üniversitesi Gıda Mühendisliği Bölümü'nü bitirmiştir. 1996 yılında Clemson Üniversitesi'nde yüksek lisansını ve 2000 yılında Florida Üniversitesi'nde doktorasını tamamlamıştır. 2004 yılında İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü Gıda Mühendisliği'nde Yrd. Doç. unvanı ile göreve başlamıştır. 2003 ve 2006 yıllarında Florida Üniversitesi Gıda Bilimleri ve Beslenme Bölümü'nde ve 2011 yılında Valencia Politeknik Üniversitesi Gıda Teknolojisi Bölümü'nde misafir öğretim üyesi olarak bulunmuştur. 2005-2006 yıllarında İYTE Sürekli Eğitim Merkezi'nde müdür olarak görev yapmıştır. 2009 yılında Doçent unvanı almıştır. 2011 yılından bu yana İYTE Gıda Mühendisliği Bölümünde bölüm başkan yardımcılığı görevini sürdürmektedir. Gıda kalitesi ve güvenliği, gıda mikrobiyolojisi, gıdaların duyu analizi ve HACCP konularında çalışmaktadır.

Levent Yurdaer AYDEMİR

1983 yılı Aydın/Söke doğumludur. 2005 yılında Ege Üniversitesi Biyokimya Bölümü'nü bitirmiştir. İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü(İYTE) Biyoteknoloji ve Biyomühendislik bölümünde 2008 yılında yüksek lisansını tamamlamış ve o yıldan itibaren İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü Gıda Mühendisliği Bölümü'nde doktorasını yapmaktadır. Doktora programında yeterliliğini vermiş ve tez aşamasında bulunmaktadır. Aralık 2008'den bu yana İYTE Gıda Mühendisliği Bölümü'nde Araştırma Görevlisi olarak çalışmaktadır. Çalışma konusu tarımsal atıklar ve yan ürünlerinden katma değeri yüksek yeni ürünler elde edilmesidir. Proteinlerin fonksiyonel, biyoaktif ve film oluşturma özellikleri ile antioksidant kapasiteleri konularında çalışmaktadır.