



**ULTRASES DESTEKLİ DÜŞÜK SICAKLIKLI
KONVEKSİYONEL BİR KURUTUCUDA HAM YÜNÜN
KURUMA DAVRANIŞININ DENEYSEL OLARAK
İNCELENMESİ**

Göktuğ KAYIŞ

**Yüksek Lisans Tezi
Makina Mühendisliği Teknolojileri Programı Anabilim Dalı
Danışman: Doç. Dr. Filiz ÖZGEN**

ARALIK – 2018

T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ULTRASES DESTEKLİ DÜŞÜK SICAKLIKLİ KONVEKSİYONEL BİR
KURUTUCUDA HAM YÜNÜN KURUMA DAVRANIŞININ DENEYSEL
OLARAK İNCELENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Göktuğ KAYIŞ

(151143111)

Ana Bilim Dalı : Makina Mühendisliği Teknolojileri Programı

Programı : Termodinamik ve Isı Tekniği

Danışman : Doç. Dr. Filiz ÖZGEN

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 24 ARALIK 2018

ARALIK - 2018

T.C
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ULTRASES DESTEKLİ DÜŞÜK SICAKLIKLI KONVEKSİYONEL BİR
KURUTUCUDA HAM YÜNÜN KURUMA DAVRANIŞININ DENEYSEL
OLARAK İNCELENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Göktuğ KAYIŞ

(151143111)

Anabilim Dalı: Makina Mühendisliği Teknolojileri Programı

Programı: Termodinamik ve Isı Tekniği

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih: 24 ARALIK 2018

Tezin Savunulduğu Tarih: 18 OCAK 2019

Tez Danışmanı:

Doç. Dr. Filiz ÖZGEN (F.Ü.)

Diğer Jüri Üyeleri:

Prof. Dr. Yasin VAROL (F.Ü.)

Dr. Öğr. Üyesi. Erdem IŞIK (T.Ü.)

ARALIK – 2018

ÖNSÖZ

Çalışmalarım süresince beni yönlendiren, yardımlarını ve desteğini esirgemeyen kıymetli hocam Doç. Dr. Filiz ÖZGEN' e saygılarımı ve sonsuz teşekkürlerimi sunarım. Ultra ses destekli üreteç ile ilgili deney düzeneğinin hazırlanması ve ön araştırmaların yapılıp, sağlıklı verilerin elde edilmesinde, C+ yazılımına programın yazılması ve değerlerin net olarak çekilmesinde öz verisi için Mekatronik Mühendisi Emre ÇAĞ arkadaşımıza özel teşekkürlerimi iletiyorum.

Göktuğ KAYIŞ
ELAZIĞ - 2018

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖNSÖZ	I
İÇİNDEKİLER.....	II
ÖZET.....	IV
SUMMARY	V
ŞEKİLLER LİSTESİ	VI
TABLolar LİSTESİ	VIII
SEMBOLLER LİSTESİ	IX
KISALTMALAR LİSTESİ	X
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Literatür Taraması.....	3
1.2. Ses Dalgaları	6
1.3. Ses ve Ultra Ses Dalgalarının Özellikleri	7
1.4. Ultra Sesin Kuruma Üzerine Etkileri	9
1.5. Sıcak Hava Kurutmalarında Ultrasonik Uygulama İçin Ana Sistemler	11
1.5.1. Siren ve Düdük Sistemleri	12
1.5.2. Kademeli Plakalar	12
1.5.3. Titreşimli Silindirler.....	13
2. MATERYAL ve METOT	15
2.1. Teorik Analiz	15
2.1.1. Zamana Bağlı Ağırlık Değişimi.....	15
2.1.2. Anlık Kuruma Hızı.....	15
2.1.3. Global Kuruma Hızı.....	16
2.1.4. Boyutsuz Nem Oranı	16
2.1.5. Deney Değişkenleri ve Parametreler	17
2.2. Deney Düzenəğinin Hazırlanması	18
2.3. Deney Düzenəğinde Kullanılan Ultra Ses Üretici ve Dağıtıcı Özellikleri.....	25

2.4.	Metot.....	26
3.	BULGULAR	27
3.1.	Ultra Ses Desteğinin Kütle Kaybı Üzerine Olan Etkileri	27
3.2.	Ultra Ses Kullanılarak ve Ultra Ses Kullanılmadan Yapılan Deneylerin Boyutsuz Nem Oranı Üzerine Olan Etkilerinin 0,4 m/s Kurutma Havaşı Hızı ve Sıcaklık Değişimi	33
3.3.	Ultra Ses Kullanılarak ve Ultra Ses Kullanılmadan Yapılan Deneylerin Boyutsuz Nem Oranı Üzerine Olan Etkilerinin 0,7 m/s Kurutma Havaşı Hızı ve Sıcaklık Değişimi.....	36
3.4.	Farklı Kurutma Sıcaklıklarda ve Farklı Hava Hızlarında USZ ve USL'nin Global Kuruma Oranına Etkileri.....	39
3.5.	Global Kurutma Hızının Ultra Ses Kullanılarak ve Ultra Ses Kullanılmadan Sıcaklık ile Değişimleri	41
3.6.	Anlık Kurutma Hızının Boyutsuz Nem Oranına göre 0,4 m/s Hava Hızı için USZ ve USL Etkileri.....	43
3.7.	Anlık Kurutma Hızının Boyutsuz Nem Oranına göre 0,7 m/s Hava Hızı için USZ ve USL Etkileri.....	45
4.	SONUÇLAR ve TARTIŞMA	48
5.	ÖNERİLER.....	54
	KAYNAKLAR.....	55
	ÖZGEÇMİŞ	61

ÖZET

Kurutma, konvansiyonel olarak kurutma havasının ısıtma işlemine tabii tutulması, ardından ısıtılan havanın kurutulacak ürünün üzerinden geçirilerek nem yüklenmesi ve nem yüklü havanın dış atmosfere deşarjı veya soğutularak içindeki nemden arındırılıp tekrar çevrime dâhil edilmesi basamaklarından oluşan bir operasyon olup; farklı fiziksel etkilere yaralanarak daha verimli hale getirilebileceği tespit edilmiştir. Yapılan çalışmalar incelendiğinde ultra ses destekli dalgalarının kurutma işlemi üzerinde kurutma sürelerini kısaltıcı ve daha düşük sıcaklıklarda kurutma yapılmasına olanak tanıyan etkileri olduğu tespit edilmiştir. Hali hazırda sıvıya daldırarak yüzey temizleme işlemleri, açık yüzeyli akışkanların pulverize edilmesi gibi işlemlerde kullanılan 20.000 hertz üzerinde ki frekans seviyesine sahip ultrasonik ses dalgalarının, kurutma işlemi üzerine olan etkilerinin ham yün malzemesinin ultra ses destekli olarak kurutulması ile tespit edilmesi ve konik bir yayıcı eleman kullanılarak yapılan ultra ses destekli kurutma işleminin performans parametrelerinin incelenmesi bu tez konusunun temelini oluşturacaktır.

Anahtar Kelimeler: Ultrasonik Kurutma, Ultra Ses, Düşük Sıcaklıklı Kurutma, Hava Kaynaklı Ultra Ses

SUMMARY

EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF DRYING BEHAVIOUR OF RAW WOOL IN AN ULTRASOUND ASSISTED LOW TEMPERATURE CONVECTION DRYER

Drying is a process which conventionally consists of the steps heating drying air then loading heated air with moisture by crossing it over wet matter and finally discharging the air to atmosphere or reuse of air after condensation of water in drying air and possible to be increased its performance via some additional physical effects. When studies are examined, it was determined that the ultra sound supported waves have effects on drying process, which shorten the drying times and allow drying at lower temperatures. Currently, ultrasonic sound waves with a frequency level of over 20,000 hertz used in processes such as surface cleaning by immersion in liquid, pulverization of open-surface fluids; Detecting the effects of drying on the drying process by ultra-sound drying of the raw wool material and determining the drying efficiency increase provided by the ultrasound support will form the basis of this thesis.

Key Words: Ultrasonic Drying, Ultrasound, Low Temperature Drying, Airborn Ultrasound

ŞEKİLLER LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 1. Ses dalgalarının frekansa göre dağılımı	9
Şekil 2. Kademeli plaka yayıcı ve dönüştürücüsünün yapısı	13
Şekil 3. Sıcak hava kurutuculu ultra ses destekli titreşim silindirli test düzeneği	14
Şekil 4. Deney düzeneğinin Catia v5 programı ile modellenmiş perspektif görselleri	19
Şekil 5. Deney düzeneğinin Catia programı ile çizilen modeli; 1.Reostal fan, 2.Hava çıkış kanalı, 3.Reostal rezistans, 4.Hava akış kanalı, 5.Kurutma kabini, 6.Hava çıkış kanalı, 7.Ultra ses üretici, 8.Tartım tepsisi, 9.Loadcell, 10.Sıcaklık sensörü	20
Şekil 6. Tasarlanan kurutucunun çalışma prensibini gösteren akış şeması	23
Şekil 7. Deney düzeneğinin üstten ve arkadan genel görünüşleri	24
Şekil 8. Deney düzeneğinde hava çıkış kanalı, tartım ve sıcaklık ölçümü yapılan bölge ...	24
Şekil 9. Arduinio Bağlantısı	25
Şekil 10. Konik yapılu ultra ses üretici.....	26
Şekil 11. 40 °C sıcaklık ve 0,4 m/s hava hızının kurutma üzerine etkilerinin ultra ses üreteçli ve ultra ses üreteçsiz olarak incelenmesi	28
Şekil 12. 60 °C sıcaklık ve 0,4 m/s hava hızının kurutma üzerine etkilerinin ultra ses üreteçli ve ultra ses üreteçsiz olarak incelenmesi	29
Şekil 13. 90 °C sıcaklık ve 0,4 m/s hava hızının kurutma üzerine etkilerinin ultra ses üreteçli ve ultra ses üreteçsiz olarak incelenmesi	30
Şekil 14. 40 °C sıcaklık ve 0,7 m/s hava hızının kurutma üzerine etkilerinin ultra ses üreteçli ve ultra ses üreteçsiz olarak incelenmesi	31
Şekil 15. 60 °C sıcaklık ve 0,7 m/s hava hızının kurutma üzerine etkilerinin ultra ses üreteçli ve ultra ses üreteçsiz olarak incelenmesi	32
Şekil 16. 90 °C sıcaklık ve 0,7 m/s hava hızının kurutma üzerine etkilerinin ultra ses üreteçli ve ultra ses üreteçsiz olarak incelenmesi	33
Şekil 17. 40 °C sıcaklık ve 0,4 m/s hava hızının boyutsuz nem için ultra ses üreteçli ve ultra ses üreteçsiz etkileri	34

Şekil 18. 60 °C sıcaklık ve 0,4 m/s hava hızının boyutsuz nem için ultra ses üreteçli ve ultra ses üreteçsiz etkileri	35
Şekil 19. 90 °C sıcaklık ve 0,4 m/s hava hızının boyutsuz nem için ultra ses üreteçli ve ultra ses üreteçsiz etkileri	36
Şekil 20. 40 °C sıcaklık ve 0,7 m/s hava hızının boyutsuz nem için ultra ses üreteçli ve ultra ses üreteçsiz etkileri	37
Şekil 21. 60 °C sıcaklık ve 0,7 m/s hava hızının boyutsuz nem için ultra ses üreteçli ve ultra ses üreteçsiz etkileri	38
Şekil 22. 90 °C sıcaklık ve 0,7 m/s hava hızının boyutsuz nem için ultra ses üreteçli ve ultra ses üreteçsiz etkileri	39
Şekil 23. 40 °C, 60 °C ve 90 °C sıcaklık ve 0,4 m/s hava hızının ultra ses üreteci kullanılarak ve ultra ses üreteci kullanılmadan global kuruma yüzdesine olan etkileri.....	40
Şekil 24. 40 °C, 60 °C ve 90 °C sıcaklık ve 0,7 m/s hava hızının ultra ses üreteci kullanılarak ve ultra ses üreteci kullanılmadan global kuruma yüzdesine olan etkileri.....	41
Şekil 25. 40 °C, 60 °C ve 90 °C sıcaklık için global kurutma hızının ultra ses üreteci kullanılarak ve ultra ses üreteci kullanılmadan meydana getirdiği değişiklikler .	42
Şekil 26. 40°C sıcaklık ve 0,4 m/s hava hızında anlık kuruma hızının boyutsuz nem oranına göre ultra ses üreteci kullanılarak ve ultra ses üreteci kullanılmadan incelemesi	43
Şekil 27. 60°C sıcaklık ve 0,4 m/s hava hızında anlık kuruma hızının boyutsuz nem oranına göre ultra ses üreteci kullanılarak ve ultra ses üreteci kullanılmadan incelemesi	44
Şekil 28. 90°C sıcaklık ve 0,4 m/s hava hızında anlık kuruma hızının boyutsuz nem oranına göre ultra ses üreteci kullanılarak ve ultra ses üreteci kullanılmadan incelemesi	44
Şekil 29. 40°C sıcaklık ve 0,7 m/s hava hızında anlık kuruma hızının boyutsuz nem oranına göre ultra ses üreteci kullanılarak ve ultra ses üreteci kullanılmadan incelemesi	45
Şekil 30. 60°C sıcaklık ve 0,7 m/s hava hızında anlık kuruma hızının boyutsuz nem oranına göre ultra ses üreteci kullanılarak ve ultra ses üreteci kullanılmadan incelemesi	46
Şekil 31. 90°C sıcaklık ve 0,7 m/s hava hızında anlık kuruma hızının boyutsuz nem oranına göre ultra ses üreteci kullanılarak ve ultra ses üreteci kullanılmadan incelemesi	46

TABLÖLAR LİSTESİ

Sayfa No

Tablo 1. Sesin çeşitli ortamlardaki hızı	7
Tablo 2. Deneyde kullanılan kısaltmalara ait test matrisi	17



SEMBOLLER LİSTESİ

∂	: Global kuruma yüzdesi
δ	: Global kuruma hızı
W_s	: Nem oranı
M_T	: Nemli malzemenin toplam ağırlığı
M_t	: Ürünün t anındaki ağırlığı
M_k	: Kuru ağırlık
M_0	: Ürünün başlangıç ağırlığı
M_S	: Malzemenin son ağırlığı
$M_{t+\Delta t}$	: Ürünün $t + \Delta t$ anındaki ağırlığı
M_{wb}	: Yaş baza göre ağırlık
ΔT	: Toplam süre
$\frac{dW}{dt}$	: Kuruma hızı
Hz	: Hertz
kHz	: Kilo Hertz
MHz	: Mega Hertz
P	: Basınç
dB	: Desibel
W	: Güç
Ω	: Rezonans Empedans
$^{\circ}\text{C}$	: Santigrat Derece
K	: Kelvin

KISALTMALAR LİSTESİ

USZ	: Ultra Ses Destekli Üreteç Kullanılmadan
USL	: Ultra Ses Destekli Üreteç Kullanılarak
T40_V04_USZ	: 40 ⁰ C Hava Sıcaklığı ve 0,4 m/s Hava Hızı için Ultra ses Üreteçsiz
T40_V04_USL	: 40 ⁰ C Hava Sıcaklığı ve 0,4 m/s Hava Hızı için Ultra ses Üreteçli
T40_V07_USZ	: 40 ⁰ C Hava Sıcaklığı ve 0,7 m/s Hava Hızı için Ultra ses Üreteçsiz
T40_V07_USL	: 40 ⁰ C Hava Sıcaklığı ve 0,7 m/s Hava Hızı için Ultra ses Üreteçli
T60_V04_USZ	: 60 ⁰ C Hava Sıcaklığı ve 0,4 m/s Hava Hızı için Ultra ses Üreteçsiz
T60_V04_USL	: 60 ⁰ C Hava Sıcaklığı ve 0,4 m/s Hava Hızı için Ultra ses Üreteçli
T60_V07_USZ	: 60 ⁰ C Hava Sıcaklığı ve 0,7 m/s Hava Hızı için Ultra ses Üreteçsiz
T60_V07_USL	: 60 ⁰ C Hava Sıcaklığı ve 0,7 m/s Hava Hızı için Ultra ses Üreteçli
T90_V04_USZ	: 90 ⁰ C Hava Sıcaklığı ve 0,4 m/s Hava Hızı için Ultra ses Üreteçsiz
T90_V04_USL	: 90 ⁰ C Hava Sıcaklığı ve 0,4 m/s Hava Hızı için Ultra ses Üreteçli
T90_V07_USZ	: 90 ⁰ C Hava Sıcaklığı ve 0,7 m/s Hava Hızı için Ultra ses Üreteçsiz
T90_V07_USL	: 90 ⁰ C Hava Sıcaklığı ve 0,7 m/s Hava Hızı için Ultra ses Üreteçli

1. GİRİŞ

Son yıllarda enerji kaynaklarının toplumsal ihtiyacı karşılamakta yetersiz kalması ve özellikle fosil yakıt kaynaklı enerji dönüşümleri sonucunda ortaya çıkan olumsuz çevresel etkiler; toplumların enerji üretimine ve enerjinin verimli kullanımına olan hassasiyetini arttırmıştır. Üzerinde yoğun olarak çalışılan enerji verimliliği ve enerjinin etkili kullanımı konuları, enerji kaynaklarının kısıtlı hale gelmesi ve enerji dönüşüm proseslerinin zararlı etkilerinin sonucu olarak ortaya çıkmıştır. Bu nedenle Avrupa ülkeleri başta olmak üzere enerji üretiminin yanı sıra enerjinin verimli kullanımı, çevresel ve beşeri etkileri dikkate alınarak çeşitli standartlara bağlanmak suretiyle daha verimli bir hale getirilmeye çalışılmaktadır. Bu bakış açısından hareketle enerji verimlilik düzeyi yüksek cihaz üretimi özellikle teşvik edilmekte ve standartlara uymayan enerji verimlilik sınıfına sahip ürünler pazardan çektilirmeye varan ağır yaptırımlarla karşı karşıya bırakılmaktadır.

Uluslararası enerji raporları incelendiğinde evsel tüketim, sanayi kuruluşlarının tüketimi ve diğer tüketim unsurları arasında en yüksek enerji tüketim seviyelerinin; ısıtma, soğutma ve kurutma gibi operasyonlar için harcanan enerji miktarının oluşturduğu görülmektedir. Fakat kurutma işlemi endüstrideki toplam enerji tüketiminin yaklaşık %15' lik oranını oluşturan oldukça maliyetli bir süreçtir. Sanayide gıdaların kurutularak raf ömürlerinin uzatılması, kimya endüstrisinde sıvılar içerisinde çözelti formunda bulunan tozların sıvıdan arındırılması, tekstil endüstrisindeki üretim prosesleri sonunda kumaşların yüklendikleri sıvıdan arındırılması gibi proseslerde kurutma işlemine ihtiyaç duyulmaktadır. Sanayi tipi ve evsel kurutma işlemlerinin büyük çoğunluğunda, uygulanabilirliğinin teknik olarak sade olması nedeniyle, havanın ısıtılıp ürün üzerine gönderilmesi şeklinde gerçekleştirilen konveksiyonel kurutma işlemi tercih edilmektedir. İşlemin, uygulamada ki teknik kolaylığına rağmen enerji verimliliği açısından ele alındığında düşük bir enerji sınıfında yer aldığı bilinmektedir [1]. Bu nedenle özellikle kurutulmuş gıda sektöründe ürün maliyetlerinin arttığı görülmektedir. Bu çalışma kapsamında hazırlanacak deney düzeneği ile konveksiyonel kurutma işlemine ultrasonik ses dalgaları da eklenerek konveksiyonel kurutma prosesinin veriminin artırılması ve böylece kurutma işleminde enerji verimlilik seviyelerinin daha iyi bir noktaya taşınması amaçlanmaktadır. Kurutma prosesi maliyetlerinin yüksek olmasındaki en büyük etkenin %25-50 arasındaki verim düzeyine sahip termal verim kayıplarından kaynaklandığı

bilinmektedir. Bu nedenle kurutucu ekipmanların verimlerinin artırılması konusu geniş çalışma alanı bulmaktadır.

Kurutma işlemi ısı ve kütle aktarımının aynı anda gözlendiği karmaşık bir olay olup, işlem sırasında kurutucu gazdan katıya doğru ısı aktarımı gerçekleşir. Ürünün kullanım kalitesi ile birlikte dayanım özelliklerinin olumsuz etkilenmesinden dolayı, bu işlemde son kurutma derecesinin çok önemli olduğu kabul edilmektedir. Bu sebeple şartların optimize edilerek kontrollü bir şekilde gerçekleştirilmesi ürün kalitesi ve enerji tüketim düzeyi için önemlidir. Kurutma prosesi sırasında havaya nem transferinin yavaş gerçekleşmesi, toplam enerji tüketim miktarı ve ürün kalitesini önemli ölçüde etkileyen bir parametre olarak ortaya çıkmaktadır. Kurutmada kullanılan hava hızının yükselmesi yüzeydeki türbülans yoğunluğunu kuvvetlendirmesi ve böylece difüzyon kalınlığını düşürmesi nedeni ile kurutma hızının artmasını sağlasa da; belli bir eşik değerden sonra hava hızı artışının kurutma hızı üzerine belirgin bir katkısı olmadığı belirlenmiştir [2-3]. Bu nedenle zaman içerisinde kurutma süresini kısaltmak ve etkinliğini artırmak için çeşitli özel yöntemler geliştirilmiştir. Bu bağlamda akışkan yataklı kurutma granül formadaki katıların kurtulmasında kütle transferi üzerindeki dış dirençlerin yenilmesine katkıda bulunmak suretiyle daha etkili bir kurutma performansı sunarken, kızılötesi ışınla kurutma teknolojisi yüzeylerde ek ısı yük oluşturarak kurutma etkinliğini artıran bir yöntem olarak geliştirilmiştir. Süreklilik arz eden bulamaç ve püre gibi maddelerin kurutulmasında dış kurutma dirençlerinin yenilmesi odaklı geliştirilen diğer bir yöntem sprey kurutma metodudur. Mikrodalga kurutma yöntemi kurutulacak malzeme içindeki su moleküllerinin titreşim düzeylerini arttırıp; malzemenin iç katmanlarına ısı yüklemesi yaparak suyun buharlaşmasına ve oluşan su buharı ile birlikte sıvı formdaki suyun yüzeye taşınmasını sağlayan çifte etkiye sahip bir yöntemdir [1,4-5]. Mevcut yöntemlerin yanında ultra ses destekli kurutma, hem katı-gaz hem de katı-sıvı karışımlarda kütle transferini hızlandıran yenilikçi bir metot olarak ortaya çıkmıştır [6-7]. Bu tez çalışmasında ultrasonik ses dalgalarının kurutma verimi üzerine olan etkileri ham yün malzemenin ultrasonik destekli ve ultra ses desteği olmadan farklı sıcaklık ve kurutma havası hızlarında yapılan kurutma deneyleri ile araştırılmıştır.

1.1. Literatür Taraması

Modern gıda endüstrisi her zaman daha yüksek kalitede ve güvenilir ürünü enerji ekonomisi sağlayarak en verimli şekilde üretmenin yollarını aramaktadır. Günümüzde bu bakış açısıyla yeni kurutma yöntemleri üzerine çalışmalar yapılmaktadır. Bu yeni tekniklerin biri de ultra ses enerjisinin kurutma öncesi ve sonrasında uygulanmasıdır. Ultra ses enerjisinin farklı kurutma teknikleriyle kombine olduğu proseslerde suyun difüzyonunun arttığı ve işlem süresinin kısaldığı, ultra ses ile işlem görmüş kurutulmuş ürünlerin yeniden tüketime hazırlanması aşamasında kolay rehidre olduğu, geleneksel kurutma yöntemlerinin neden olduğu kalite kaybı gibi bazı olumsuz sonuçların ortadan kaldırıldığı yapılan çalışmalarda bildirilmiştir [8].

Ultrasonik ses dalgalarının konveksiyonel kurutma üzerindeki etkileri ile ilgili farklı teorik ve deneysel çalışmalar literatürde mevcuttur. Sabarez ve diğerleri [9], elma parçalarının ultra ses yardımıyla kurutulması üzerine bir çalışma yapmışlardır. Düşük sıcaklık ve yüksek ultra ses destekli güç kullanarak kurutma oluşumunun etkilerini incelemişlerdir. Garcia Perez ve diğerleri [10], patlıcanın konvektif kurutulmasına yardımcı olacak ultra ses destekli bir model geliştirmişlerdir. Ultra ses destekli kurutma sisteminin kurutma kinetiğini hızlandığını görmüşlerdir. Ultra ses destekli kurutmanın ürünün nem içeriğini ve kütle transfer katsayısını önemli ölçüde etkilediğini test etmişlerdir. Kouchakzadeh ve Ghobadi [11], fıstığın ultrasonik dalga yöntemi ile kurutulması üzerine bir çalışma yapmışlardır. Kurutma işlemi için yüksek ses dalgası kullanılmış ve kurutma zamanının artmasıyla nem oranının azaldığı görülmüştür. Garcia Perez ve diğerleri [12], ultra ses kullanarak düşük sıcaklık altında kurutma işleminin etkilerini deneysel olarak incelemişlerdir. Havuç, patlıcan ve elma parçalarının kurutma kinetiğini, belirli atmosferik basınç ve nem altında kontrol etmişlerdir. Ultra ses destekli uygulamanın etkilerini tüm ürünler için test ederek kurutma zamanının % 65-70 oranında azaldığını görmüşlerdir.

Fuente-Blanco ve diğerleri [13], ultrasonik güç yardımıyla yiyeceklerin kurutma davranışlarını deneysel olarak incelemişlerdir. Ultrasonik titreşimlerin ürün ile direk temasını sağlayarak kurutma işlemini gerçekleştirmişlerdir. Ürün olarak havuç, patates ve elma kullanmışlardır. Fernandes ve Rodrigues [14], meyvelerin kurutulmasında ultra ses desteğinin etkileri üzerine bir çalışma yapmışlardır. Toplamda 8 adet meyve üzerine

yapılan deneylerde, ultra ses etkisi ile kurutmanın kuruma zamanını azalttığını görmüşlerdir. Garcia-Noguera ve diğerleri [15], çileğin ultra ses destekli ozmotik kurutulması ile ilgili bir çalışma yapmışlardır. Farklı ultra ses frekansları belirlenmiş ve kurutma zamanı üzerine olan etkileri incelenmiştir.

Fernandes ve Rodrigues [16], muzun sıcak hava ile kurutulmasında ultra ses ön işleminin etkilerini deneysel olarak incelemişlerdir. Ultra ses ön işlemi, 25 kHz frekansa sahip ultrasonik banyo ile 10, 20, 30 dakika sürelerinde 30°C’de yapılmıştır. Muz örnekleri 60°C’lik sıcak hava ile kurutulmuştur. 20 dakikalık ultra ses uygulamasının suyun difüzyonunu arttırdığı, toplam kuruma süresini % 10,3 oranında kısalttığı belirlenmiştir.

Soria ve diğerleri [17], havuçların ultra ses destekli sıcak hava ile kurutulması (20, 40, 60°C – 75, 90, 120 dakika) sırasında kimyasal ve fizikokimyasal kalitesinin belirlendiği çalışmalarında, ultra ses ön işlemi (20 kHz - 100 W/cm²) ile meydana gelen kavitasyon ve mikroskobik kanallar sayesinde suyun uzaklaştırılmasının kolaylaştığını böylece ultra sesin havuçların 60°C ve altında kurutulmasına imkân sağladığını belirtmişlerdir.

Schössler ve diğerleri [18], elma ve kırmızı dolmalık biberin ultra ses destekli sıcak hava ile kurutulması üzerine bir çalışma yapmışlardır. Kurutma işlemi 24 kHz frekansa sahip bir ultra ses halkasının 70°C’lik sıcak hava ile kombine edildiği bir sistemde gerçekleştirilmiştir. Toplam kuruma süresi kırmızı dolmalık biber için % 23 (250 dakikadan 204 dakikaya), elma için % 27 (313 dakikadan 230 dakikaya) oranında azalmıştır.

Fernandes ve diğerleri [19], papaya meyvesinin 60°C’lik sıcak hava ile kurutulmasından önce 25 kHz frekansa ve 100 W/m³ enerjiye sahip ultrasonik banyo ile 30°C’de 10, 20, 30, 45, 90 dakika sürelerince uyguladıkları ultra ses ön işlemi ile ürünün şeker oranının 30 dakika içerisinde % 13,8, 90 dakika içerisinde % 30,6 26 oranında azaldığını, kurutma sırasında su difüzyon katsayısının 20 dakikalık ultra sese tabi tutulmuş örneklerde ön işlem sırasında meydana gelen mikro kanal oluşumuna bağlı olarak % 28,8 oranında arttığını ve kurutma süresinin % 16 oranında kısaldığını bildirmişlerdir. Fan ve diğerleri [20], sebze ve meyvelerin konvektif tip kurutucularda kurutulması sırasında ultra ses kullanımı ile uygulamaları genel olarak araştırmışlardır. Ultra ses kullanılan kurutucuların dizaynı, kurutulan ürünlerin kurutma davranışları ve genel uygulamalar

yaptıkları çalışmada tartışılmıştır ve farklı tip kurutucularla kıyaslanmıştır. Topdaş ve Ertugay [21], kayısıların ultra ses yardımlı ozmotik kurutulması üzerine bir çalışma yapmışlardır. Kayısı örnekleri farklı şartlar altında ozmotik kurutma işlemine tabi tutularak su kaybı, şeker kazanımı ve ağırlık kaybı değerleri incelenmiştir.

Fijalkowska ve diğerleri [22], kurutulmuş elmanın özelliklerini belirlemek ve kurutma kinetiğini geliştirmek amacıyla ultra ses kullanmışlardır. Elma parçacıklarının kurutma oranları ve renk kalitesi ultra ses etkileri ile belirlenmiştir. Garcia-Perez ve diğerleri [23], havucun kurutma davranışlarını 1 m/s hava hızı ve 30°C, 40°C, 50°C, 60°C ve 70 °C kurutma sıcaklığı için yüksek güce sahip bir ultra ses kullanarak deneysel olarak incelemişlerdir. 2 farklı metot geliştirerek kullanılan denklemleri sonlu farklar metodu ile çözmüşlerdir. Gallego-Juarez [24], yüksek güce sahip ultra ses destekli oluşumların son zamanlardaki gelişimleri ve uygulamaları hakkında bir araştırma yapmıştır. Yiyecek endüstrisi, kimyasal üretim, makina ve gelişmekte olan teknolojiler için ultra ses kullanımının avantajlarını belirlemiştir. İçier ve diğerleri [25], ayva dilimlerinin ozmotik kurutulmasında elektriksel ve ultra ses destekli ön işlemlerin etkilerini incelemişlerdir. Ayva dilimlerinin elektriksel (60 V/cm, 15 s) ve ultrasonik (195 W, 15 s) ön işlemler sonrası ozmotik kurutulması incelenmiş ve ön işlemlerin etkilerini karşılaştırmak amacıyla ön işlemsiz (kontrol grubu) ozmotik kurutma da yapılmıştır. Ozmotik kurutma ajanı olarak %50 (w/w) sakkaroz çözeltisi kullanılmıştır. Ozmotik kurutma süresince toplam kuru madde (TKM) içeriği, katı kazanımı, su kaybı, ağırlık değişimi, boyut değişimi, elektriksel iletkenlik ve sıcaklık değişimi incelenmiştir.

Tüfekçi ve Özkal [26], sıcak hava öncesi uygulanan ultra ses destekli ön işlemin havuç dilimlerinin kurutma karakteristikleri üzerine etkisini araştırmışlardır. Ön işlem için 20 kHz frekansa sahip ultra ses üreten bir prob kullanılmış olup ön işlem süresi 20, 40, 60 dakika ve ultra ses genliği %55 ve %100 olarak seçilmiştir. Hava hızı 0,3 m/s, kurutma sıcaklığı 50°C ve 60°C olarak seçilmiştir. Ön işlem sürelerinin ve genliğin artması havuç dilimlerinin kuruma hızlarını arttırırken, kuruma zamanını kısaltmıştır. Topdaş ve diğerleri [27], elmaların ozmotik kurutulması üzerine ultra ses işleminin etkisini incelemişlerdir.

Gıda endüstrisinde düşük frekanslı yüksek güçlü ultrasonik ses dalgaları uygulaması (<0.1 MHz, 10-1000 W/cm²) son yıllarda yaygın bir şekilde araştırılmaktadır. Ultrasonik ses dalgaları tekniği tek başına veya sıcaklık ile kombinasyonunun, akışkan ve

elma suyunda bulunan *E. coli* ve *L. Monocytogenes* üzerine etkili olabileceği bildirilmiştir [28-30].

Ultrasonik ses dalgası uygulamasının, sulu süspansiyonlarda *E. coli*, *Staph. aureus*, *B. subtilis*, *P. Aeruginosa* *Trichophyton mentagrophytes* ve *Feline herpesvirus* Tip 1'i yok ettiği rapor edilmiştir [31]. Yüksek yoğunluklu ultrasonik ses dalgası uygulaması ile *E. coli* ve *L. rhamnosus* hücrelerinde meydana gelen hücresel tahribat araştırılmış ve bu dalganın letal etkisinin Gram pozitif olan *L. rhamnosus*'un Gram negatif *E. coli*'ye göre daha dirençli olduğu gösterilmiştir [32].

Katalaz, invertaz veya pepsin gibi bazı enzimler, ultrasonik ses dalgası işlemine karşı dirençlidir [33]. Alfa amilaz enziminin inaktivasyonunun termosonikasyon ile sağlandığı gösterilmiştir [34]. Düşük sıcaklık, düşük basınç ve pH gibi uygulamalar ile sonikasyon işlemi kombine edildiğinde, ultrasonik ses dalgası tekniğinin etkinliğini artırır [35]. Genel olarak gıda işlemede, ultrasonik ses dalgalarının düşük frekansları kullanılır. Bu durum 20-100 kHz ve 10-1000 W/cm² yoğunluğa sahip ses dalgalarının kavitasyon oluşturmaya neden olur. Portakal, guava gibi bazı meyve sularının kaliteleri üzerine bu dalgaların uygulanması, minimum etkiye sahiptir. Çeşitli gıda kaynaklı patojenlerin inaktivasyonu için ultrasonik ses dalgası teknolojisinin potansiyel bir güç olup olmadığı araştırılmıştır [36-39].

1.2. Ses Dalgaları

Su, katı, hava gibi ortamlarda insan kulağının algılayabileceği basınç değişimleri ses olarak tanımlanır. Bir ses çatalı (diyapozon) kollarına vurulduğunda belirli frekansta titreşir. Böylece çevresindeki hava moleküllerinin sıklaşıp seyrilmesiyle ses dalgaları oluşur. Ses dalgaları, en önemli boyuna dalga örnekleridir. Bu dalgalar, herhangi bir ortamda (yani gazlar, katılar ve sıvılar), ortamın özelliklerine bağlı olan bir hızla yayılırlar.

Ses dalgası, bir ortamda yayılırken; ortamın parçacıkları, dalganın hareket doğrultusu boyunca yoğunluk ve hacim değişiklikleri üreterek titreşir. Ses boşlukta yayılmaz. Yani, ses dalgalarının iletilebilmesi için mutlaka bir ortama gerek vardır. Ses her ortamda farklı bir hızla yayılır. Aşağıdaki çizelgede çeşitli ortamlarda sesin yayılma hızı Tablo 1' de m/s cinsinden verilmiştir.

Tablo 1. Sesin çeşitli ortamlardaki hızı

Sesin Çeşitli Ortamlardaki Hızı (m/s)	
0 ⁰ C Havada	331
20 ⁰ C Havada	343
0 ⁰ C Helyum Gazı İçinde	972
0 ⁰ C Hidrojen Gazı İçinde	1286
25 ⁰ C Suda	1493
Deniz Suyunda	153

Frekanslarına göre, ses dalgalarını üç grupta incelemek mümkündür. Bunlar, işitilebilir dalgalar, infrasonik (ses altı) dalgalar ve ultrasonik (ses üstü) dalgalar şeklindedir.

İşitilebilir dalgalar: İnsan kulağının duyarlılık sınırları içinde olan ses dalgalarıdır. Bu dalgalar 20 Hz ile 20.000 Hz frekansları arasındadır.

İnfrasonik (Ses altı) dalgalar: İşitilebilir boyutun altındaki frekansta olan boyuna dalgalarıdır. Deprem dalgaları bu dalgalara örnektir. Bu sesler 20Hz'den düşüktür.

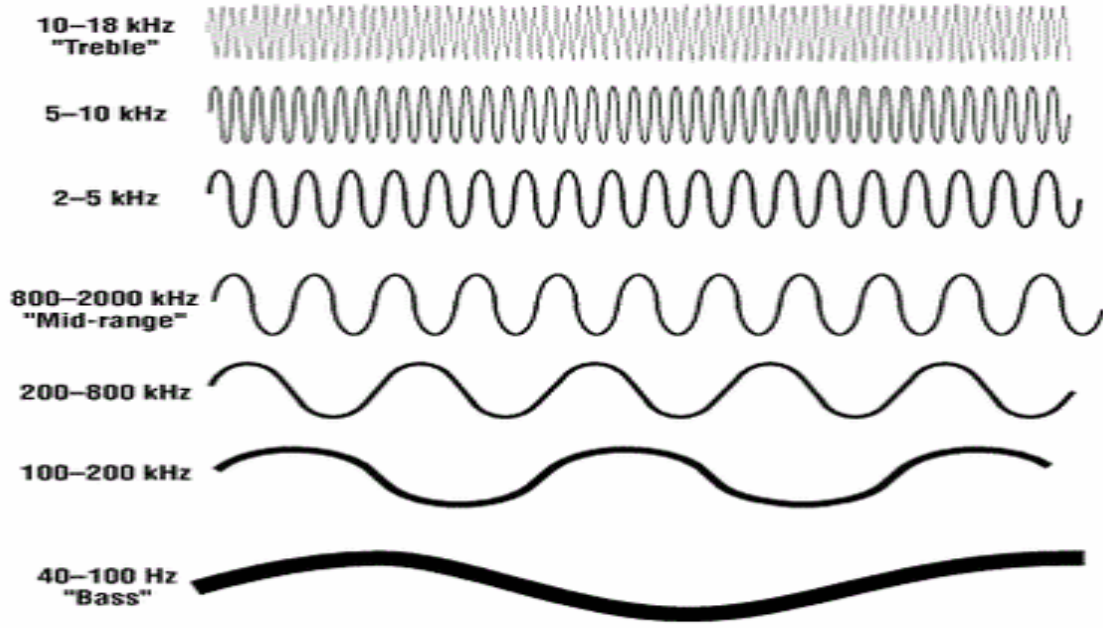
Ultrasonik (Ses üstü) dalgalar: İşitilebilir mertebenin üstünde frekansları olan boyuna dalgalarıdır. Örneğin, bu dalgalar, bir kuartz kristaline, alternatif elektrik alanının uygulanmasıyla elde edilebilir. Gücü, bir halden diğerine dönüştüren herhangi bir aygıt, transdüser (dönüştürücü) olarak adlandırılır. Mikrofon ve kuartz kristal gibi, seramik ve manyetik fonograf pikaplar da ses dönüştürücülerine ait genel örneklerdir. Bazı dönüştürücüler, ultrasonik dalgalar yaratabilirler. Böyle aygıtlar, ultrasonik temizleyicilerde ve sualtı denizciliğinde kullanılır. Bu seslerin frekansı 20.000 Hz' den yüksektir. İnce seslerin frekansları büyük, kalın seslerin ise frekansları küçük değerlerdedir.

1.3. Ses ve Ultra Ses Dalgalarının Özellikleri

Fizyolojik özellikler ölçü aletinin değil, insan kulağının yaptığı değerlendirmedir. Ses şiddeti, ses dalgasının ses yayılma doğrultusuna dik bir düzlem içindeki 1 m² yüzeye 1 saniyede verdiği ses enerjisidir. Başka bir deyişle, ses dalgasının 1 m²' lik kesitindeki ses gücüdür. Birimi watt/m²' dir. Dalganın frekansına ve dalga genliğinin karesine bağlıdır. Şiddet sebebiyle ses kuvvetli veya zayıf olarak duyulur. Ses şiddeti seviyesi, iki büyüklük arasındaki farktır. Birimi desibel' dir. Ses basıncı, her ses dalgası bir P basınç değeriyle nitelendirilmektedir. Birimi bar' dır. Bu basınç, atmosferik basınçtan farklı olarak, uzayda

ses dalgası tarafından oluşturulmaktadır. Ses basıncı ile ses şiddeti arasında ikinci mertebeden üstel bir bağıntı vardır. Ses basıncı iki, üç, dört misli arttırılırsa, ses şiddeti sırayla dört, dokuz, on altı misli artacaktır. Sesin yüksekliği, sesin frekansıdır. İnsan kulağı frekansı yaklaşık 20 ile 20.000 Hz olan sesleri işitebilir. Sesin frekansına bağlı olarak yüksekliği tarif edilir.

Ultra ses dalgaları, insan kulağının işitebileceğinin üzerindeki ses dalgalarıdır. Biyolojik bir ortamda ultra ses dalgalarının hızı, o ortamın fizyolojik durumuna ve sıcaklığına bağlıdır. Bir ultra ses dalgasının, herhangi bir maddeden geçerken enerjinin ısıya dönüşümü ve yayılması sonucu dalga boyu azalır. Ultra ses dalgaları kısaca 20 kHz ve daha yüksek frekansa sahip basınç dalgaları olarak tanımlanabilir. Genel olarak ultra ses destekli dalgaların ekipmanları 20 kHz ile 10 MHz arasındaki frekansları kullanır. Yüksek güç için düşük frekanslar tercih edilmektedir ve 20 kHz ile 100 kHz arasındaki frekanslarda gıdalardaki mikroorganizmaları inaktif hale getiren kavitasyonu yaratan güçlü ultra ses destekli dalgalar oluşmaktadır [40]. Ultra ses destekli dalgalar materyalin yüzeyine çarpığında bir güç yaratmaktadır. Ultra ses destekli dalgalar çok hızlı bir şekilde basınç ve sıcaklıkta lokal bir değişim, kavitasyon (sıvı gıdalarda kabarcıklar yaratan), hücre membranında incelme, mikroorganizmalar üzerinde öldürücü etkiye neden olan lokal ısınma ve serbest radikal oluşumunu sağlamaktadır [41]. Sıvı sistemlerde ultra ses destekli dalgaların etkileri, başlıca kavitasyon olgusu ile ilişkilendirilir. Ultra ses destekli dalgalar, içerisinden geçtiği ortamdaki moleküllerin bir takım sıkıştırma ve basınç azalmaları sonucu açığa çıkan dalgalar şeklinde ortaya çıkar [42]. Ultra ses destekli dalgalar, gıdanın kalitesini geliştirmede hızlı, etkili ve güvenilir bir alternatif metot olmasının yanı sıra, eşsiz fonksiyonelliği ile yeni ürün geliştirmede potansiyel bir güç kaynağıdır [43]. Ses dalgalarının frekansa göre dağılımı Şekil 1’ de gösterilmiştir.



Şekil 1. Ses dalgalarının frekansa göre dağılımı

1.4. Ultra Sesin Kuruma Üzerine Etkileri

Ultra ses destekli dalgalar bir katı-sıvı sisteme uyguladığında iç ve dış kütle transfer dirençlerini yenen çeşitli etkiler oluşturmaktadır [44]. Sıvı sistemlerde ise ultra sesin temel mekanik etkisi kavitasyon ile kendini göstermektedir. Kavitasyon; sıvı içerisinde hava kabarcıklarının oluşumu, büyümesi ve hızlı bir şekilde yok olması şeklinde kendini gösteren ve birçok noktasal bölgede yaklaşık 40.000 K sıcaklık 1.000 Atm den daha yüksek basınç değerlerine ulaşılmasına neden olan bir mekanizmadır [45]. Kabarcıkların katı-sıvı ara yüzeyinde asimetrik olarak hızlı bir şekilde sönmeleri katı yüzeye çarpan bir mikro jet etkisi yaratmaktadır [46]. Bu durum ultra ses destekli temizleme prosesinin de temelini oluşturmaktadır. Katı gıda yüzeyine çarpan mikrojetler katı içinde bir sıvı karıştırma etkisi üretebilir ve katı ve sıvı arasındaki kütle transferini etkileyebilir [47]. Gıdaların iç sıvı fazında kavitasyon üretilirse, katı maddeden çevre ortamına nem aktarımını kolaylaştırabilir. Sistem özelliklerine bağlı olarak, kabarcıklar bazen çökmez ve uygulanan ultra ses ile aynı frekansta titreşime devam eder [48]. Bu titreşim aynı zamanda sıvının iç hücrelerinin karıştırılmasına da katkıda bulunur.

Yüksek yoğunluklu ultra ses desteği uygulanan ortamlarda, ultrasonik dalgalar tarafından sıvı içerisinde bir çalkantı düzlemi oluşturabilir. Bu tür bir çalkantı, sıvı içindeki

dökme taşınımını arttırarak kütle transferine karşı harici direnci azaltabilir. Ultra sesin katı-sıvı ara yüzleri ile etkileşimli bir mikro çalkantı bölgesi üretebilir [49]. Üretilen mikro çalkantı bölgesi katı yüzeyin hemen yakınında oluştuğu için ve difüzyon sınır tabaka kalınlığının azalmasını sağlayarak dış kuruma direncini yenmek için harcanan enerji tüketiminin azalmasına olanak tanır. Böylece kuruma sırasındaki kütle transferinde dış direncin düşürülmesi kaynaklı bir iyileşme sağlanır [50].

Ultra ses dalgaları katı madde içinde süngerdekine benzer şekilde bir dizi hızlı sıkışma ve gevşeme hareketine yol açmaktadır [51]. “Sünger etkisi” olarak bilinen bu etki, katı içerisindeki gözeneklerde hapsolmuş halde bulunan sıvının iç katmanlardan havaya kütle transferi ile geçtiği yüzey katmanlarına doğru yol almasını sağlamaktadır [52]. Öte yandan, malzemenin sıkışması ve genleşmeleri, katı madde içinde sıvının hareketi için gereken mikro kanallar oluşmasına neden olur [53]. Ultra sesin ısı ve kütle transferi üzerine iç ve dış direnci yenme yönündeki yukarıda açıklanan etkileri, yüksek yoğunluklu ultra sesin taşınım proseslerini iyileştirmek için neden kullanıldığını açıklamaktadır. Yüksek yoğunluklu ultra sesin ısı taşınımında beraber uygulanması sonucu taşınım ısı transferi katsayısını yükseltmesi, ultra sesin akışkan ve katı ara yüzeyinde yarattığı mikro çalkantılar sayesinde gerçekleştiği bilinmektedir [54-56]. Dondurma proseslerinde yüksek yoğunluklu ultra ses tarafından üretilen kavitasyon ve mikro karıştırma etkileri, ısı transferini hızlandırmanın yanında donmuş üründe buz çekirdeği oluşumu sırasında buz kristal boyutu dağılımını kontrol altına almada yardımcı olmaktadır [57-58]. Kütle transfer süreçlerinde, yüksek yoğunluklu ultra ses kullanımı düşünülmüştür. Çünkü katı-sıvı ekstraksiyon işlemlerinde kütle transferini arttırmaktadır [59-61]. Yüksek yoğunluklu ultra ses, elmanın ozmotik dehidrasyonu gibi süreçlerde kütle transferini etkilemek için katı-sıvı sistemlerde de kullanılmıştır.

Yüksek yoğunluklu ultra sesin hava kurutma işlemlerinde uygulanması, yaklaşık olarak 50 yılı aşkın bir zamandan beri bilinmektedir. Ancak hava kaynaklı kurutma ile ultra ses desteğinin birleştirilmesi tekniğinin yavaş ilerlemesinin nedeni hava kaynaklı ultra sesi güçlü bir şekilde üreterek gaz ortamda etkili bir şekilde dağıtılmasını ve hava içinde şiddetini koruyarak ilerlemesini sağlayacak uygun teknik ekipmanların geliştirilmesinin önündeki engellerden kaynaklanmaktadır [46]. Bu problemlerin birçoğu son birkaç yılda çözülmüştür ve bu, bazı gıda ürünlerinin hava ile kurutulmasında ultra ses etkisinin

araştırılmasına olanak sağlamıştır. Bu nedenle, tahılların kurutulmasında, sebzelerde, akustik kurutma uygulanmıştır [54-55, 62-63].

1.5. Sıcak Hava Kurutmalarında Ultrasonik Uygulama İçin Ana Sistemler

Ultra ses destekli dalgalar üretmek için bir sistem üç farklı ana bileşenden oluşur. Bunlar jeneratör, dönüştürücü ve uygulama sistemidir. Ultra ses destekli alanlar üretmek için kullanılan tüm yöntemler, başka bir enerji türünü akustik enerjiye dönüştürür. Jeneratör enerjiyi sisteme verir ve dönüştürücü, jeneratörün sağladığı enerjinin akustik enerjiye dönüştürülmesini sağlar. İyi bir dönüştürücü, iyi bir enerji dönüşümü oranına ulaşmalıdır. Genellikle, enerji kayıpları sistemde sıcaklık artışı üreten ısı ile olmaktadır. Son olarak, uygulama sistemi üretilen akustik sinyali ürüne iletmelidir.

Uygulama sistemi ultra ses uygulamasında ana engellerden birini temsil eder. Bir transdüserden bir gıda maddesine üretilen akustik enerjinin aktarılması, uygulama sisteminin, yayılma ortamının ve yiyeceğin akustik empedansları arasındaki uyumsuzluğa bağlı olarak nispeten verimsizdir [64].

Katı-sıvı uygulamalarda, akustik empedanslarında katı-gaz uygulamalarından daha düşük farklılıklar vardır. Sonuç olarak, katı-sıvı sistemlerde uygulamalar katı-gaz ortamından çok daha gelişmiştir. Katı-sıvı sistemlerde uygulamalar ve laboratuvar ortamında büyük ölçekli uygulamalar için iki ana tip ultra ses destekli ekipman kullanılır. Bunlardan biri olan banyo sistemleri, altına bağlanmış piezoelektrik transdüserleri olan metalik bir kaptan oluşur. Transdüserler titreştiğinde, titreşimlerini tüm kaba iletirler ve daha sonra tank, titreşimi depoda bulunan sıvı ortama iletir.

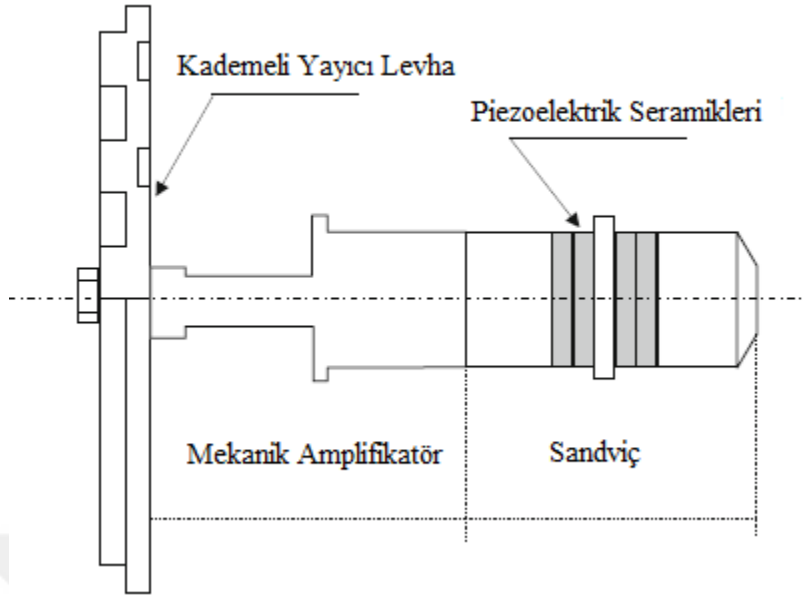
Katı-gaz sistemlerinde, ultrasonik uygulama sistemleri ve hava arasındaki zayıf eşleşmeden dolayı yüksek yoğunluklu ultra ses uygulamasının katı-sıvı sistemlere göre uygulanması daha zordur. Ara yüzde, üretilen yüksek sesli akustik sinyalin havası, dönüştürücünün ısıtılması ve yiyeceğe ulaşmaması gibi yansımalar vardır. Bununla birlikte, enerji dönüşümünün verimliliği sadece ekipmanın kendisine değil aynı zamanda ultrasonikasyon koşullarına da bağlıdır [64]. Bu anlamda hava, ses iletiminde sıvılardan daha büyük bir güç kaybı üretir [65]. Malzemeye daha verimli bir enerji iletimi sağlayabilen çok güçlü bir hava kaynaklı ultra ses kaynağı geliştirerek bu problemleri hafifletmek için önemli girişimlerde bulunulmuştur.

1.5.1. Siren ve Düdük Sistemleri

Hava kaynaklı ultra ses sistemleri, bir akışkanın kinetik enerjisini akustik bir dalga formuna dönüştürür. Bu amaçla, iki ana kurulum türü kullanılabilir olup bunlar sirenler ve düdüklü sistemlerdir. Sirenlerde akışkan bir delikten geçmeye zorlanır, bu da mekanik bir dalga oluşturan türbülans yaratır. D d kl  sistemlerde akışkan, bir bıçak boyunca titreşmesine neden olacak şekilde akmaya zorlanır. Her bir titreşim hareketi için, bıçağın akışı karşılayan ucu bir basınç dalgası üretir [47]. Sıvı uygulamalarda düdükler, karıştırma ve homojenizasyon için güçlü bir araç olarak kullanılmaktadır [48]. Hava uygulamaları genellikle insan kulağının duyacağı ses aralığında sesler de ürettiğı için; kullanımı yaygın uygulama alanı kazanacak nitelikte değıldir. Da Mota ve Palau soğanların kurutma işlemi sırasında ultra ses uygulamak için bir siren sistemi kullanmışlardır [66]. Elde edilen sonuçlar, akustik titreşim ile kurutma hızlarının arttığını ve bu artışın ses frekansına bağı olduğunu göstermiştir.

1.5.2. Kademeli Plakalar

Gaz ortamı düşük spesifik akustik empedans ve yüksek akustik yutuculuk sergiler. Bu nedenle, verimli bir akustik enerji iletimi elde etmek için, uygun yayıcı sistemlerin oluşturulması gerekmektedir. Verimli bir akustik enerji transferi için transdüser ve ortam arasında iyi bir empedans uyumu, yüksek titreşim genliğı, yüksek doğırusal veya odaklı enerji yoğunluğı gibi parametrelerin yerine getirilmesi gerekmektedir. Ek olarak, büyük ölçekli endüstriyel uygulamalar için, dönüştürücülerde yüksek bir güç kapasitesi ve geniş bir yansıtma yada yayma alanına ihtiyaç duyulabilmektedir. Gallego ve Ju rez [65], eğık titreşimli bir plaka yayıcısı ve dönüştürücüyü sürmek için bir elektronik ünite ile bir dönüştürücü geliştirmiştir. Geniş titreşimli plaka, piezoelektrikle harekete geçen bir vibratör tarafından titreştirilmekte olup; kademeli bir profile sahiptir. Plakanın geniş yüzeyi yayılım direncini arttırarak hava ile daha iyi bir empedans uyumu sağılar ve böylece sistemin güç kapasitesini arttırır. Basamaklı yüzey, düz plaka radyatörlerinde üretilen faz gecikmelerini önler ve böylece sistem yüksek elektroakustik verime (% 75–80) ulaşı ve maksimum 10-50 kHz frekans aralığında çalışan maksimum 175 dB'lik bir yoğunluk üretir. Bir kademeli plaka yayıcı ve ses dönüştürücü  izimi Şekil 2' de verilmiştir.



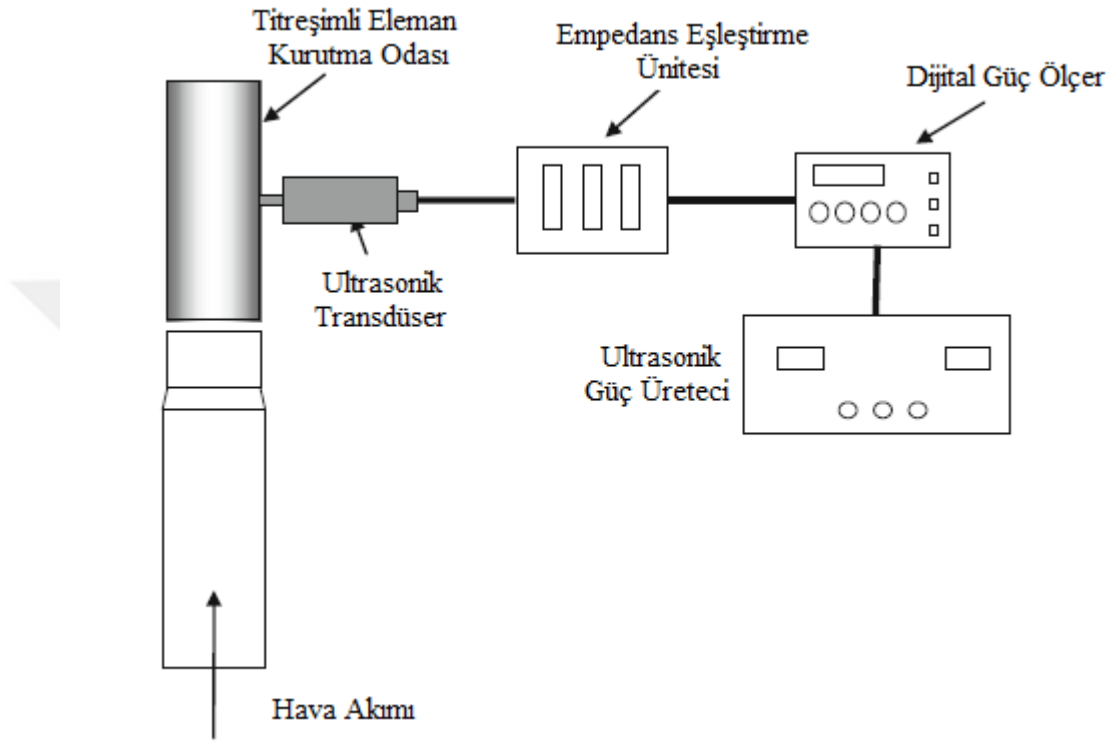
Şekil 2. Kademeli plaka yayıcı ve dönüştürücüsünün yapısı

Kademeli plaka sistemi, çeşitli sebzelerin (havuç, elma ve mantarlar) kurutulmasında hava kaynaklı bir ultra ses gücü uygulamak için kullanılmış ve daha sonra kurutma kinetiğinde bir artış gözlemlenmiştir [43]. Eğer kademeli yayıcı levha örneklerle doğrudan temas halinde ise, dehidrasyon oranı hava kaynaklı ultrason kurutma işleminden daha büyüktür. Riera bu olguyu, ortam, hava ve sebzelerin malzemelerinin akustik empedansları arasındaki yüksek uyumsuzluğundan kaynaklı olarak akustik dalganın sebze malzemesi içinde yavaş ilerlemesine bağlamıştır.

1.5.3. Titreşimli Silindirler

Kademeli yayıcı levhalı dönüştürücünün ana dezavantajı, alışılmış sıcak hava kurutmanın, endüstriyel ölçekte esas olarak temas tekniğinin uygulanmasıdır. Geleneksel sıcak hava kurutucularına daha rahat adapte edilebilen gelecek vaat eden bir alternatif teknik geliştirilmiştir. Bu teknik kurutma sırasında yüksek yoğunluklu ultra sesin etkili bir şekilde uygulanmasına izin vermektedir. Bu yeni ultra ses destekli uygulama sistemi, pilot ölçekli bir geleneksel sıcak hava kurutucusu ile birlikte kurulmuştur. Titreşim dönüştürücü, silindirik haznenin orta kısmına vidalanmıştır. Güç çeviricisine uygulanan belli ölçekteki bir elektrik enerjisi için tüpte ölçüm yapılmıştır. Tüpün içindeki yüksek yoğunluklu bir akustik alan, diğer uygulamalara göre nispeten daha düşük seviyelerde uygulanan bir

elektriksel güçle elde edilmiştir. Böyle bir sonuç, akustik alan için bu tür bir sistemin sıcak hava kurutucusuna ultrasonik olarak yardımcı olma fizibilitesini doğrulamaktadır. Bu ölçümler hava akışı olmadan gerçekleştirilmiştir. Ultra ses destekli titreşim silindirli bir sıcak hava kurutucuya ait test düzeneği Şekil 3 te verilmiştir.



Şekil 3. Sıcak hava kurutuculu ultra ses destekli titreşim silindirli test düzeneği

Tarif edilen titreşim silindiri düzeni, ultra sesin gıdaların sıcak hava ile kurutulması işlemi üzerindeki etkisini incelemek için kullanılmıştır. Bu düzenek, yüksek yoğunluklu ultra sesin, ele alınacak sıcak hava kurutması sırasında ana işlem değişkenleri üzerine etkilerini incelemek için kullanılmıştır.

Ultra ses etkisinin konveksiyonel kurutma işlemine uygulanabilmesi için geliştirilen metotlardan en yaygın kullanılan ikisi kademeli yayıcı plaka ve titreşim silindirleri olmasına rağmen her iki yöntemin de endüstriyel ölçekte uygulanabilecek yüksek üretim maliyetlerine sahip olması, ultra ses desteğinin kurutma işlemine daha yeni ve pazarda düşük maliyetlerle üretilen ekipmanlar kullanarak yapılması yönündeki bu tez çalışmasını gerekli kılmıştır. Bu tez çalışmasında genellikle denizcilik sistemlerinde su altı radar tespiti yapılmasında kullanılan konik başlı ses yayıcı ile ultra sesin kurutma performansı üzerine olan etkileri araştırılmıştır.

2. MATERYAL ve METOT

2.1. Teorik Analiz

Ultra ses dalgalarının konveksiyonel kurutma işlemi üzerine etkilerinin anlaşılması için bazı performans ölçütleri dikkate alınmıştır. Deney sisteminden elde edilen sıcaklık, zaman, kurutma havası hızı ve ağırlık gibi ölçüm değerleri performans ölçütlerini hesaplamada kullanılmıştır. Bu tez çalışması kapsamında referans alınan performans ölçütleri zamana bağlı kütle değişimi, global kuruma hızı, ve boyutsuz nem oranıdır.

2.1.1. Zamana Bağlı Ağırlık Değişimi

Katı malzeme içindeki suyun kurutma süresince kurutma havasına transfer edilmesi sırasında toplam ölçülen kütlede zamana bağlı olarak değişimler gerçekleşecektir. Kurutma işleminde ölçüt olarak kurutulan malzemedeki su eksilme miktarını doğrudan gözlemek için kullanılan en temel ve pratik yöntem nemli malzemenin kütledeki değişimin incelenmesidir. Bu çalışmada dakika başına alınan toplam ağırlık miktarı ölçümleri zamana bağlı ağırlık değişimi grafiklerinin oluşturularak grafik üzerinde daha anlaşılır yorumlar yapmak için kullanılacaktır. Zamana bağlı ağırlık değişimi ölçümleri; farklı kurutma hızları, ultra ses desteği uygulanıp uygulanmaması ve üç farklı kurutma havası sıcaklığı olmak üzere farklı kontrol parametreleri için gerçekleştirilecektir.

2.1.2. Anlık Kuruma Hızı

Kurutma işlemi uygulanan nemli malzemenin kütlede herhangi bir zaman aralığında meydana gelen değişim anlık kurutma hızı olarak tanımlanmaktadır. Anlık kuruma hızı Denklem 1' deki gibi hesaplanmaktadır.

$$\frac{dW}{dt} = \frac{M_t - M_{t+\Delta t}}{\Delta t} \quad (1)$$

Burada M_t nemli malzemenin t anındaki ağırlığını ifade ederken; $M_{t+\Delta t}$ nemli malzemenin $t+\Delta t$ anındaki ağırlığını ifade etmektedir. Burada ΔT zaman basamakları arasındaki toplam süre olup M_0 ise nemli malzemenin başlangıç ağırlığıdır. Anlık kuruma hızı ölçütü,

malzeme içindeki toplam nem miktarının kuruma hızı ile ilişkili olup olmadığı konusunda yapılacak incelemelerde bir araç olarak kullanılacaktır.

2.1.3. Global Kuruma Hızı

İlk ağırlığımız ile deney sonunda elde edilen ağırlık arasındaki farkın toplam deney süresine bölünmesi ile global kuruma hızımız Denklem 2' deki gibi hesaplanmaktadır.

$$\delta = \frac{M_0 - M_s}{\Delta T} \quad (2)$$

Aynı şekilde global kuruma hızına bağlı olarak global kurumanın yüzdesel olarak hesabı Denklem 3' deki gibi hesaplanabilmektedir.

$$\partial = 100 \times \frac{\delta \times \Delta T}{M_0} \quad (3)$$

Burada ΔT zaman basamakları arasındaki toplam süre olup M_0 ise nemli malzemenin başlangıç ağırlığıdır. M_s malzemenin son ağırlığıdır. Anlık kuruma hızı ölçütü, malzeme içindeki toplam nem miktarının kuruma hızı ile ilişkili olup olmadığı konusunda yapılacak incelemelerde bir araç olarak kullanılacaktır.

2.1.4. Boyutsuz Nem Oranı

Boyutsuz nem oranı, kurutulan nemli malzemenin herhangi bir t anında ihtiva ettiği nem miktarının, başlangıç anındaki nem miktarına oranı şeklinde ifade edilmektedir. Boyutsuz nem oranı Denklem 4'teki gibi ifade edilmiştir.

$$W_s = \frac{M_t - M_k}{M_0 - M_k} \quad (4)$$

Burada M_t nemli malzemenin t anındaki ağırlığı iken M_k kurutulan malzemenin tam kuru ağırlığıdır. M_k ile ifade edilen kuru ağırlık terimi, gıdaların kurutulması işleminde denge ağırlığı şeklinde kullanılmaktadır. Bu durum, gıdaların tüketilebilir sertliğin üzerine çıkmasına engel olmak için işlem sonunda hala belli oranda nemli bırakılması gerekliliğinden kaynaklanmaktadır. Fakat tez çalışmasında kullanılan malzeme bir kumaş olduğu için formülde denge ağırlığı yerine kuru ağırlık kullanılmıştır. Boyutsuz nem oranı,

elde edilen kurutma performansı değerlerinin ilk nemli ağırlık farklarından bağımsızlaştırmak için kullanılmıştır. Bunun için kullanılan diğer bir parametre yaş baza göre nemdir. Yaş baza göre nem, nemli malzeme hapsedilmiş olan nem su kütlesi miktarının toplam nemli kütle miktarına göre değişimi şeklinde ifade edilir. Denklem 5’ de yaş baza göre ağırlık ifade edilmiştir.

$$W_{wb} = \frac{M_T - M_k}{M_T} \quad (5)$$

Burada W_{wb} yaş baza göre ağırlık olup M_T toplam nemli kütleyi ifade ederken M_k ise malzemenin kuru kütlesini ifade etmektedir.

2.1.5. Deney Değişkenleri ve Parametreler

Bu tez çalışmasında 40°C, 60°C ve 90°C olmak üzere üç farklı kurutma havası sıcaklığı ve 0,4 m/s ve 0,7 m/s kurutma havası hızları için ultra ses destekli ve ultra ses desteği olmadan her bir durum için toplamda 12 kombinasyonda deneyler yapılmıştır. Yapılan deneylerin özelliklerini tanımlayacak şekilde kısaltmalar ile adlandırılması yapılmış olup ayrıca deney matrisi Tablo 2’de verilmiştir.

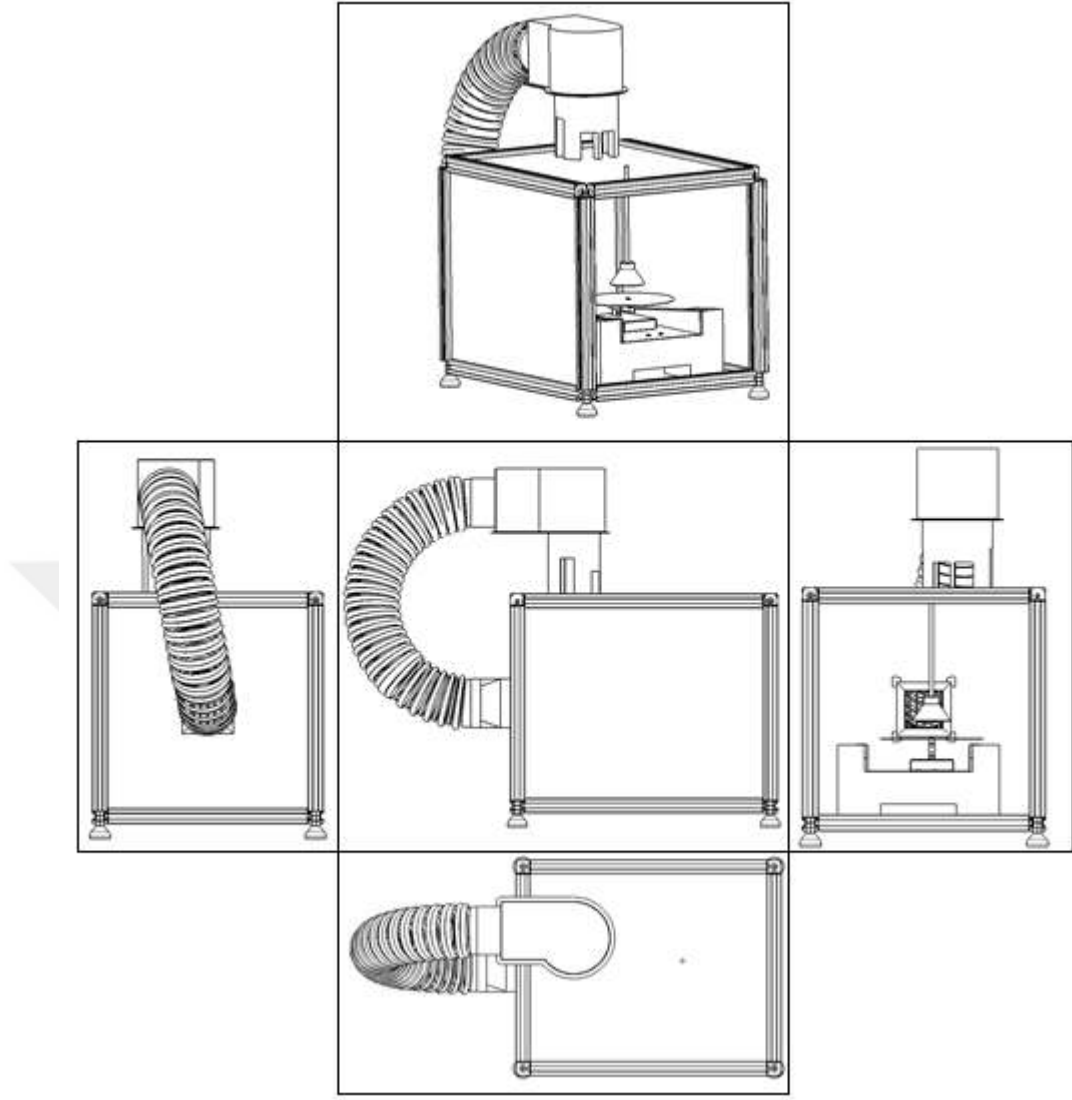
T sıcaklık değeri_V hız değeri_USZ/USL olarak yazılan kısaltmalar için T harfi yanındaki değer ilgili ölçümün sıcaklık değerini temsil ederken V harfi yanındaki değer hızı ifade etmektedir. USL kısaltması yapılan deneyde ultra ses dalgalarının uygulanmış olduğunu göstermektedir. USZ kısaltması yapılan deneyde ultra ses dalgalarının uygulanmamış olduğunu göstermektedir.

Tablo 2. Deneyde kullanılan kısaltmalara ait test matrisi

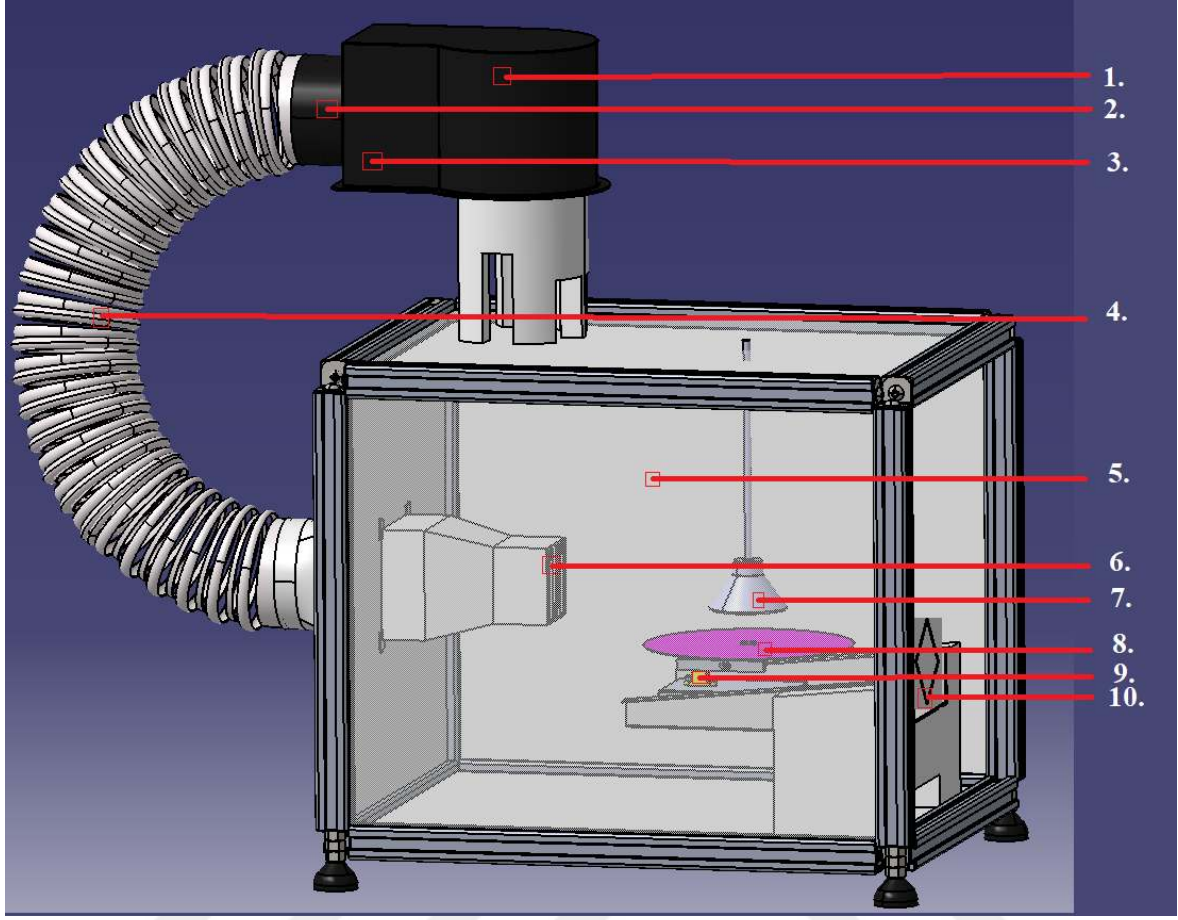
Test Matrisi				
	Ultra Ses Üreteçsiz (USZ)		Ultra Ses Üreteçli (USL)	
	Hava Hızı Değerleri		Hava Hızı Değerleri	
Sıcaklık	V=0,4 m/s	V= 0,7 m/s	V=0,4 m/s	V= 0,7 m/s
40°C	T40_V04_USZ	T40_V07_USZ	T40_V04_USL	T40_V07_USL
60°C	T60_V04_USZ	T60_V07_USZ	T60_V04_USL	T60_V07_USL
90°C	T90_V04_USZ	T90_V07_USZ	T90_V04_USL	T90_V07_USL

2.2. Deney Düzeneğinin Hazırlanması

Deneyde ham yünün kurutulması amacıyla rezistanslı sıcak hava üretici ile iki farklı kademede hava hızı kullanılarak hem ultra ses üretici hem de ultra ses üretici olmadan kurutma yapılması hedeflenmiştir. Ham yünün kurutulması amacıyla kullanılan deney düzeneği, tarafımda hazırlanmıştır. Çalışmada kullanılan deneysel düzeneği Catia V5 yazılımı kullanılarak üç boyutlu olarak modellenmiş olup; üç boyutlu montaj modeli görüntüsü Şekil 5’de verilmiştir. Şekil 5’de görüldüğü gibi deneysel düzenek, fan, ısıtıcı, kurutma kabini, hava akış kanalı, hava giriş ve çıkış kanalları, sıcaklık sensörü, ürünün kütle kaybını ölçmek için $\pm 0,01$ gram hassasiyetinde 0-5000 gram ölçüm aralığına sahip loadcell’den oluşmaktadır. Hava akışı iki kademeli olan ve 0,4 m/s ile 0,7 m/s hızlara sahip radyal bir fan yardımıyla kontrol edilmiştir. Isıtma sistemi 800 W gücüne sahip tellerden oluşmuştur ve kurutma için gerekli olan kurutma havası sıcaklığı arduino’ya bağlanan sıcaklık sensöründen okunan değerler ile sabit hale getirilmiştir. Ölçüm aralığı $-40+123,8^{\circ}\text{C}$ olan sıcaklık sensörü yardımıyla kabin çıkış sıcaklığı ölçülmüştür. Kurutma hava hızı, ölçüm aralığı 0.15-3 m/s olan anemometre yardımıyla belirlenmiştir. Kuruması istenen ham yün, terazi ile bağlantılı olan tepsinin üzerine yerleştirilerek, kütle kaybı 1’er dakika aralıklar ile 1 saat boyunca hem ultra ses üretici kullanılarak hem de ultra ses üretici kullanılmadan kaydedilmiştir. Fakat arduino sistemin ölçme metodolojisi ve besleme elektriği çalkantılarından kaynaklı sinyal gürültülerinin baskın olduğu görülmüştür. Bunun için ölçüm değerleri bir damperleme kodu ile temizlenerek beş dakikalık zaman değişkenlerine dönüştürülmüştür. Deney düzeneğinin CATIA V5 yazılımı ile modellenmiş perspektif görseli Şekil 4’de ki gibidir.



Şekil 4. Deney düzeneğinin Catia v5 programı ile modellenmiş perspektif görselleri



Şekil 5. Deney düzeneğinin Catia programı ile çizilen modeli; 1.Reostal fan, 2.Hava çıkış kanalı, 3.Reostal rezistans, 4.Hava akış kanalı, 5.Kurutma kabini, 6.Hava çıkış kanalı, 7.Ultra ses üretici, 8.Tartım tepsisi, 9.Loadcell, 10.Sıcaklık sensörü

Deney düzeneğini oluşturan ana elemanlar 3 boyutlu modeli üzerinden Şekil 5’ deki gibi numaralandırılmıştır. Tasarlanan kurutucunun çalışma şeklini gösteren akış şeması Şekil 6’da verilmiştir. Deney düzeneğine ait kullanılan cihazların fotoğrafı Şekil 7, 8, 9 ve 10’ da görülmektedir. Bu elemanların, cihazların özellikleri ve tasarımı şu şekilde verilebilir;

Isıtma Sistemi: Isıtma sistemi 800 W gücüne sahip tellerden oluşmuştur. Bu teller hava akışını engellemeyecek şekilde, üniform bir dağılım sağlamak amacıyla emiş ağzının önünde fandan önce yerleştirilmiştir. Isıtma sisteminin üst kısmından çıkarılan teller, reosta yardımıyla kablolarla bağlanarak teması sağlanmış ve kurutma için gerekli olan kurutma havası sıcaklığı reosta yardımıyla sabit hale getirilmiş olup Şekil 7’ de fotoğrafları verilmiştir.

Fan: Hava akış hızı iki kademli sahip radyal bir fan yardımıyla kontrol edilmiştir. Girişe yerleştirilen anahtar yardımıyla, sisteme verilen hava miktarı değiştirilerek hava hızı ayarlanabilmektedir ve reosta düzeneği ile ilgili görsel Şekil 7' de paylaşılmıştır.

Sıcaklık Sensörü: Ortamın sıcaklığını ölçmek amacıyla kullanılmıştır. Özel sıcaklık sensörlerinden ithal edilen çekirdek parçaları kullanarak, doğrudan arduino'ya bağlı mikrodenetleyicidir. Çok yüksek tutarlılığa sahiptir, tamamen değiştirilebilir, maksimum sıcaklık $\pm\% 2$ ye erişebilir. Bakır ile sinterlenmiş örgü koruması, harici duvar yalıtımı, hava direnci seviyesi algılama sistemleri ve endüstriyel uygulamalar için uygun olan prob sıcaklığını, basıncını, hasar dayanıklılığına direncini güçlendirir. Ortamın nemini ve sıcaklığını ölçmek amacıyla dijital bir nem ölçer kullanılmıştır. Kurutma için gerekli olan kurutma havası sıcaklığı reosta yardımıyla sabit hale getirilmiştir. Belirli hız aralıklarında reosta ayarlanarak, sıcaklığın sabit kalması sağlanıp Şekil 7' de görseli paylaşılmıştır.

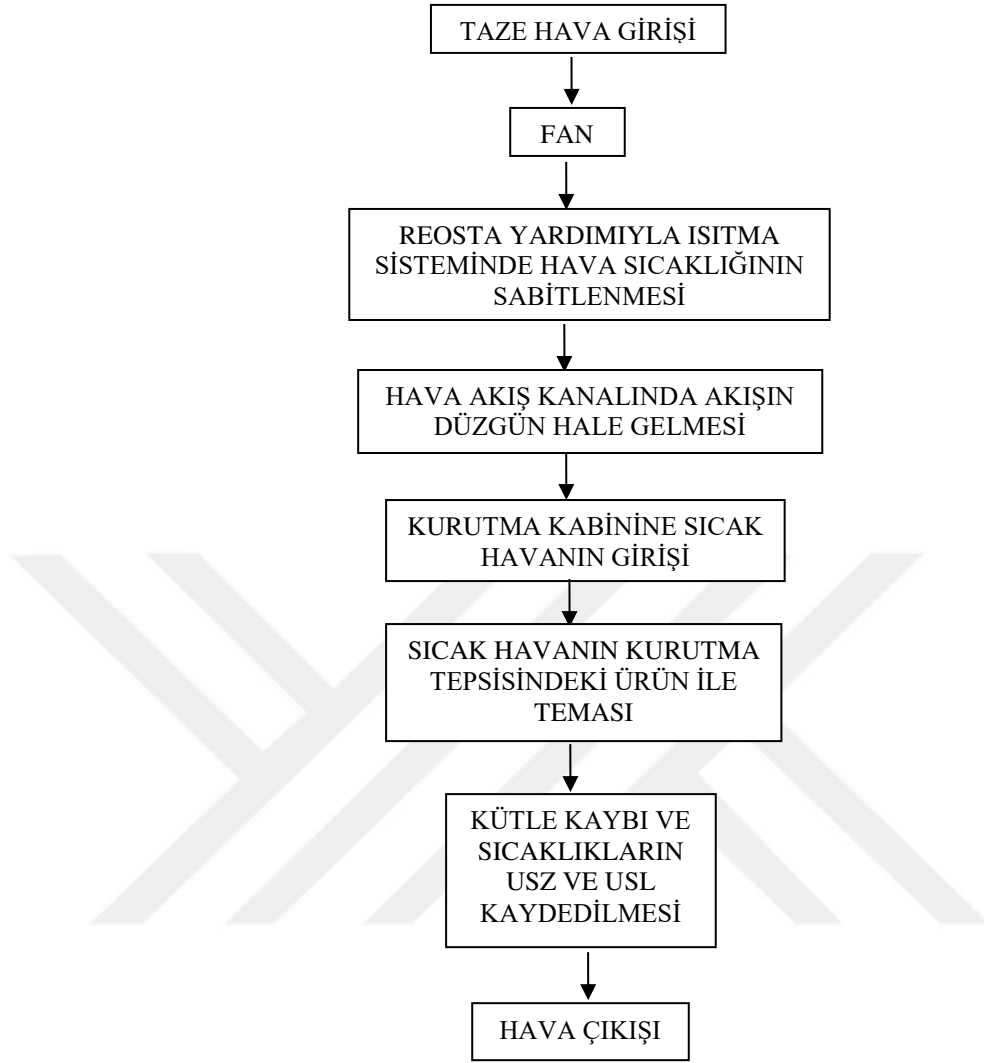
Kurutma Odası ve Hava Akış Kanalı: Kurutma odası 600 mm uzunluğunda, 400 mm genişliğinde, 600 mm yüksekliğinde dikdörtgensel prizma şeklinde olup, 3 mm kalınlığındaki plexiglass ile imal edilmiştir. Kabinin yan kısmında 100*100 mm bir kare kesit açılarak, hava akış kanalı ile bağlantısı yapılmıştır. Akış kanalından gelen sıcak havanın ürün ile teması sağlanmıştır. Akış kanalının karşısındaki yüzey hava çıkışını sağlamak için açık bırakılmıştır ve kurutma havasının çıkışı sağlanmıştır. Kurutma odasının yan yüzeyi açık imal edilmiş, ürünlerin kabin içerisine yerleştirilmesi kolaylıkla sağlanmıştır. Bu düzeneğin tamamı plexiglass' tan yapılmış ve kuruma süresi boyunca ürünler gözlenebilmiştir. Kurutma odası ile alttan bağlantısı yapılan hava akış kanalı ise 2 metre uzunluğunda, 127 mm çapında dairesel olup 3 mm kalınlığında alüminyum esnek borudan imal edilmiştir. Ayrıca hava çıkış kanalında oluşacak türbülans baskılamak için düşey kanallar mevcuttur. Kabin içerisinde bulunan sıcaklık sensörü yardımıyla, kabin çıkış sıcaklığı belirlenebilmiş olup Şekil 8' de fotoğrafları verilmiştir.

Loadcell ve Tartım Tepsisi: Ürünün kütle kaybını ölçmek için $\pm 0,01$ gram hassasiyetinde 0-5000 gram ölçüm aralığına sahip dijital yük ünitesi kullanılmıştır. Dijital yük ünitesi kurutma tepsisinin altından kalibre edilerek ölçüm yapacak şekilde imal edilmiş ve kurutulacak ürünler tepsi üzerine yerleştirilerek, belli aralıklar ile ürünün kütle kaybı yük ünitesinden gelen verilerin arduino ara yüzü ile excel ortamına aktarılması ile okunmuştur. Tartım bölgesine ait görseller Şekil 8 ile gösterilmiştir.

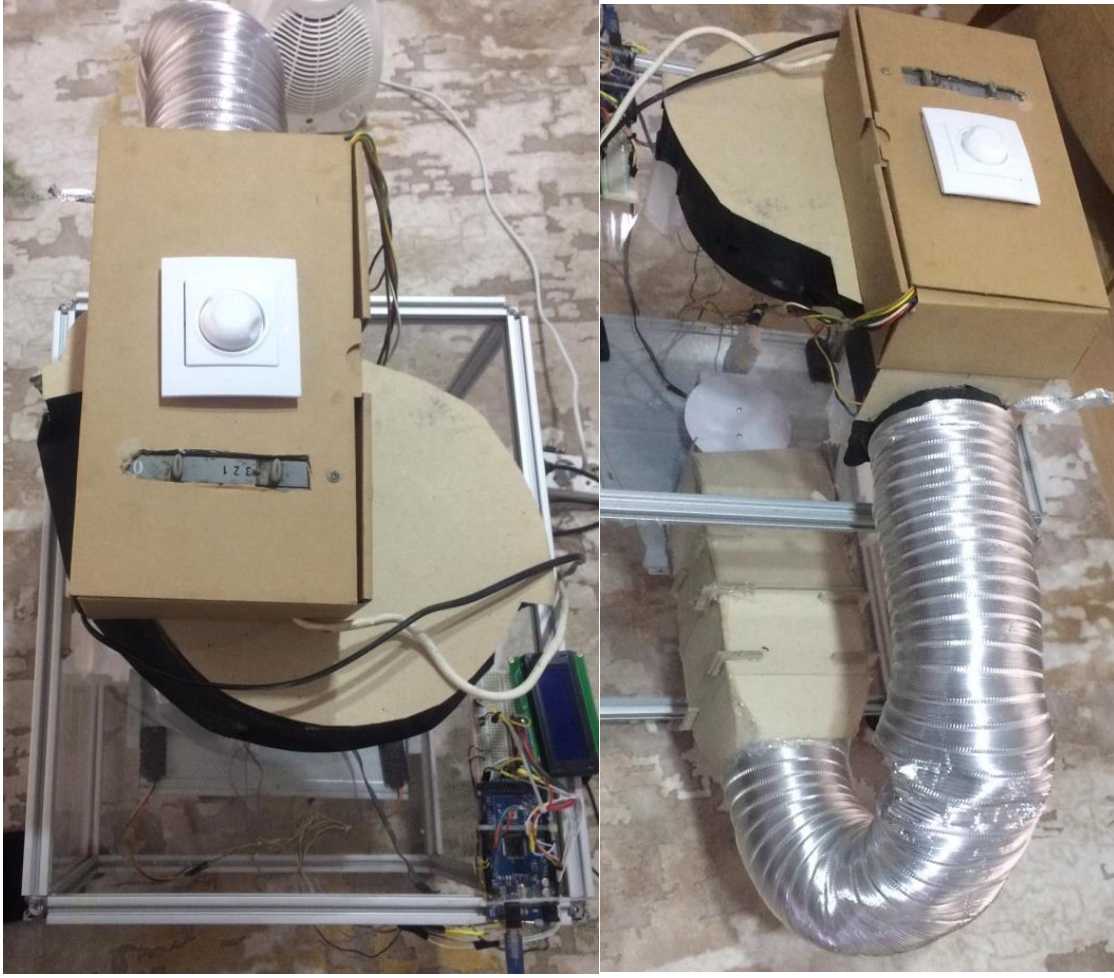
Arduino: Processing dilini kullanarak çevre elemanları ile temel giriş çıkış uygulamalarını gerçekleştiren açık kaynaklı fiziksel programlama platformudur. Arduino ile bağımsız

olarak interaktif uygulamalar gerçekleştirebiliriz. Aynı zamanda arduino’yu bilgisayar ile Flash, Processing, MaxMSP, C Sharp gibi birçok yazılım üzerinden ya da kendi yazdığımız yazılımlarla haberleştirerek de kullanabiliriz. Arduino kütüphaneleri ile kolaylıkla programlama yapabiliriz. Analog ve dijital sinyalleri alarak işleyebiliriz. Sensörlerden gelen sinyalleri kullanarak, çevresiyle etkileşim içerisinde olan robotlar ve sistemler tasarlanabilmektedir. Tasarlanan projeye özgü olarak dış dünyaya hareket, ses, ışık gibi tepkiler oluşturulabilir. Projemizde arduino mega 2560 ürününü kullanılmış olup programlamada C+ kullanılmıştır. Arduino mega 2560 'ta 54 tane dijital giriş / çıkış pimi vardır. USB bağlantısı, güç girişi (2.1mm), ve reset butonu bulunmaktadır. Arduino mega 2560 bir mikro denetleyiciyi desteklemek için gerekli bileşenlerin hepsini içerir. Arduino mega 2560 bir bilgisayara bağlanarak, bir adaptör ile ya da pil ile çalıştırılabilir. Bağlantıları yapılan arduinoya ait görsel Şekil 9’ da gösterilmiştir.

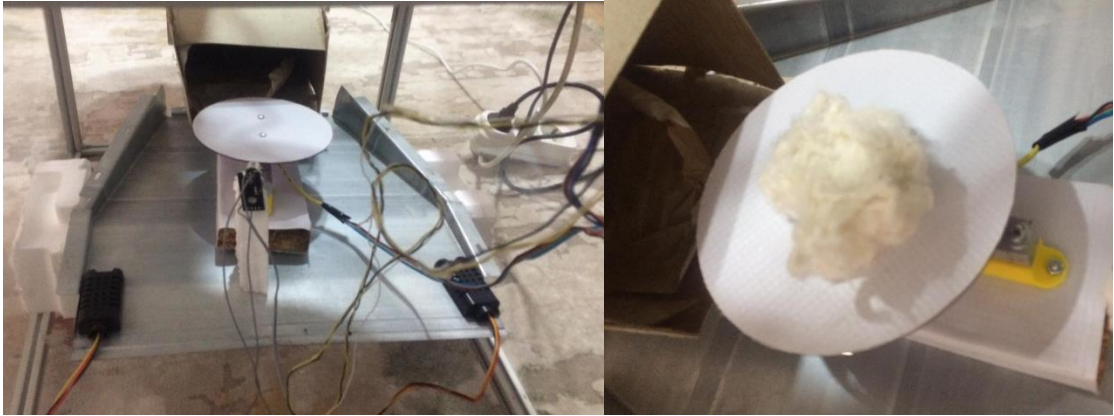
Ultra Ses Üretici: Malzemenin kurumasına etkilerini gözlemlemek amacıyla 5V gerilimine sahip 100 W gücünde 20kHz frekans’ lı ultra ses üretici kullanılmıştır. 35-30-15 mm ölçülerinde olan ses üretici en iyi verimi yakalamak amacıyla ham yüne 90 derecelik dik açıyla etki edecek şekilde 100 mm uzaklık ile yerleştirilmiş olup Şekil 10’ da görüntülenmektedir.



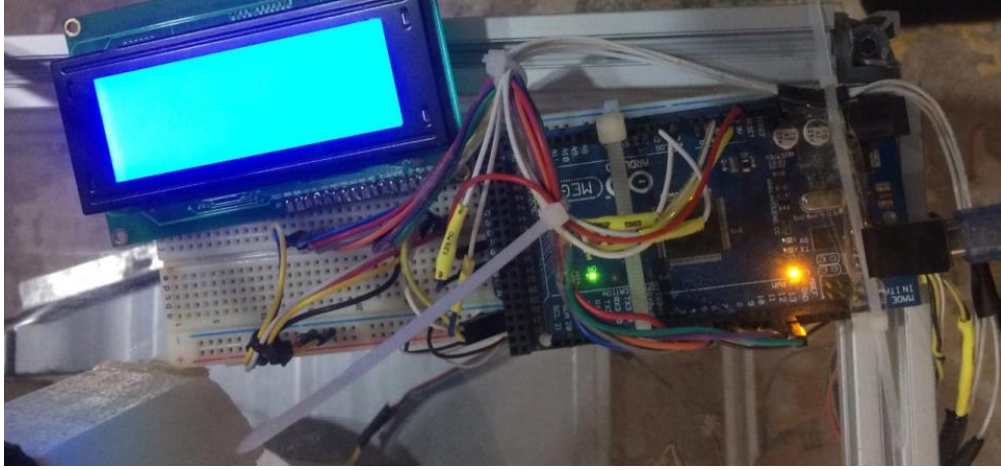
Şekil 6. Tasarlanan kurutucunun çalışma prensibini gösteren akış şeması



Şekil 7. Deney düzeneğinin üstten ve arkadan genel görüntüleri



Şekil 8. Deney düzeneğinde hava çıkış kanalı, tartım ve sıcaklık ölçümü yapılan bölge

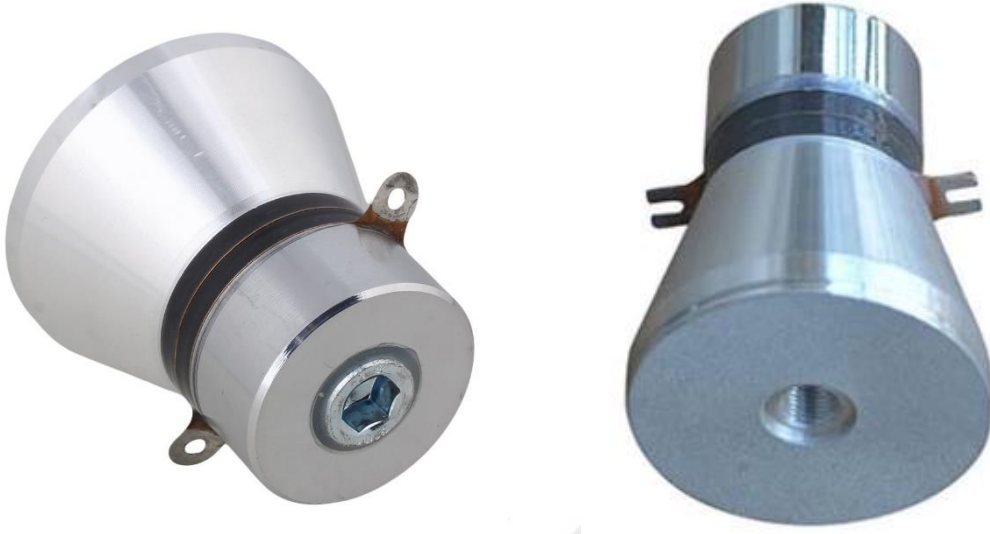


Şekil 9. Arduino Bağlantısı

2.3. Deney Düzeneginde Kullanılan Ultra Ses Üretici ve Dağıtıcı Özellikleri

Ultra ses üreticileri elektrik enerjisini sınırlandırılmış katı malzeme içinde ultra ses frekans aralığında titreşimler oluşturarak hava ortamı ile meydana gelen etkileşimi sonucu ses dalgalarına dönüştürmeye yarayan ekipmanlardır. Titreşim kaynağı bileşeni olarak yaygın bir şekilde piezoelektrik kristaller kullanılmaktadır. Piezoelektrik kristaller verilen akımın tipine göre şekil değişikliğine uğramaktadır. Meydana gelen şekil değişikliği daha rijit yüzeyler tarafından sınırlandırılmış bir hacim içerisinde, hızlı bir şekilde tekrarlı olarak gerçekleştiğinde çevreleyen elemanların malzemesi içine yayılan bir titreşime dönüşmektedir. Üretilen frekans özelliklerine sahip ses dalgaları uygun yayıcılarla hava ortamına aktarıldığında ses dalgalarına dönüşmektedir.

Şekil 10'da görülen testlerin yapılmasında kullanılan ultra ses üretici dar yüzeyde piezo elemanlarla temas halinde olup geniz yüzeyde ise ses dalgalarının havaya iletimi sağlanmaktadır. Yayıcı malzemesi seramiktir. Malzeme yüzeyinin seramik olması yüksek transfer verimliliği, büyük genlik ve yüksek titreşim hızı, frekans ve statik kapasitans da daha fazla tutarlılık sağlamaktadır. Aynı zamanda seramik malzeme yüzeyinin çizilmesini engellediğinden ve yüzey düzgünlüğünden yüksek çıkış gücü ve simetrik dalgaların üretilmesi için önemli bir etkidir. Ultra ses destekli dalgalarının uygulanması sırasında başlıca aktif etki, sıvı içinde hava kabarcıklarının oluşumu ile sonuçlanan mekanik etkidir [64]. Bu işlem sırasında üründe düşük miktarda sıcaklık artışı meydana gelmekte ve bu nedenle sıcaklıktan kaynaklanan ürünün tadını bozucu olumsuz etkiler önemli oranda azalmaktadır [67].



Şekil 10. Konik yapılı ultra ses üretici

2.4. Metot

Şekil 6’ da görüldüğü gibi sisteme öncelikle taze hava girmekte ve fan yardımıyla belirli bir hız seviyesine ulaşmaktadır. Kullanılan reosta sayesinde havanın sıcaklığı, ısıtma sisteminde sabit hale gelmektedir. Isınan hava, hava akış kanalında düzgün hale gelerek, kurutma kabine girmekte ve ürün ile temas etmektedir. Kurutma tepsisine yerleştirilen ürünün kütle kaybı teraziden hem ultra ses uygulanarak hem de ultra ses uygulanmadan ölçülmekte ve hava, çıkış kanalından dışarı verilmektedir. Arduino mega üzerinden C+ yazılıma kodlanan program ile dakikalık olarak bilgisayarda kayıt altına alınmış olup sonuçlara ulaşılmıştır. 40°C, 60°C ve 90°C hedef sıcaklıkta ve 0,4 m/s ile 0,7 m/s hava akış hızı ile yapılacak deney için düzenek hazırlanmış olup rejime girmesi için bir saat süre ile çalıştırılmıştır. Sıcaklık sensöründen istenen sıcaklık değeri sabit bir şekilde izlenmeye başladıktan sonra nemli malzeme tartım diskisi üzerine yerleştirilmiş olan nemli ham yünün ağırlık değeri okunup sonrasında ultrasonik ses üretici çalıştırılmadan kurutma işlemine tabii tutulmuştur. Ölçümler bir saat süreyle yapılmıştır. Referans ölçümler tamamlandıktan sonra test düzeneği tekrardan hazır hale getirilip ultra ses üretici devreye alınarak tekrar ölçümler aynı şekilde yapılmıştır. Bu işlemler fanın kademeli hızı ayarı ile 0,4 m/s ve 0,7 m/s hava hızları için ayarlanarak tekrarlanmıştır. Elde edilen verilerin dijital ortamdan grafik haline getirilerek incelenmesi sağlanmıştır.

3. BULGULAR

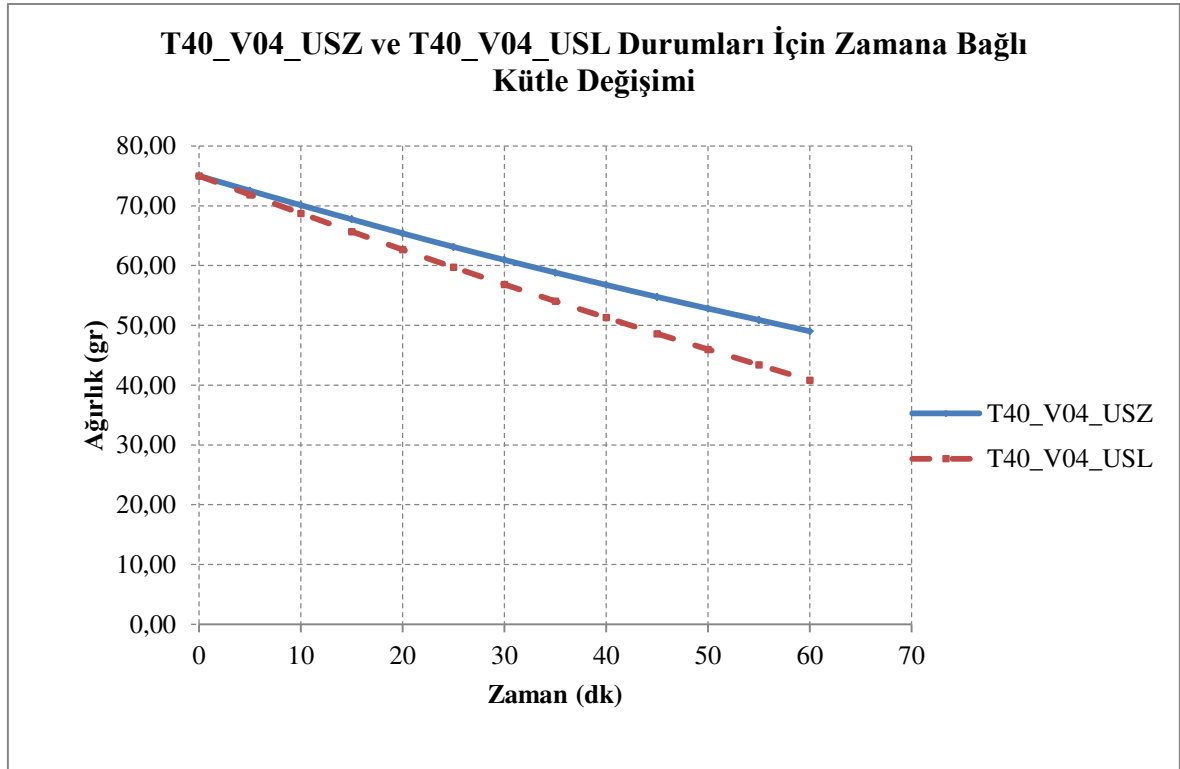
Bu bölümde, yapılan deneysel çalışmalar ile elde edilen sonuçlar deney değişkenleri ile birlikte ele alınarak deney değişkenlerinin ultra ses destekli kurutma üzerine oluşan etkileri incelenmiştir. Deneysel çalışma, uygulama parametreleri ve sınır şartları referans olarak kabul edilip farklı hız ve sıcaklıklarda ultra ses üretici kullanılarak ve kullanılmayarak sonuçlar alınmış olup grafik haline getirilmiştir. Ultra ses uygulanmadan yapılan ölçümlerin sonunda elde edilen sonuçlar referans değerler olarak dikkate alınmıştır.

3.1. Ultra Ses Desteğinin Kütle Kaybı Üzerine Olan Etkileri

Bu bölümde ultra ses desteği uygulanarak ve ultra ses desteği uygulanmadan farklı kurutma havası sıcaklıkları ve hızları için yapılan ölçümler ele alınmıştır. Kuruma kriteri olarak nemli malzemenin ağırlığındaki zamana bağlı değişim performans parametresi olarak ele alınmıştır. 0,4 m/s ve 0,7 m/s olmak üzere iki farklı hız ve 40 °C, 60 °C, 90 °C olmak üzere üç farklı kurutma sıcaklığı ile ultra ses üretici kullanılarak ve ultra ses üretici olmadan her bir ölçüm aralığı için değerler alınmış olup ultra ses üretici kullanılarak ve ultra ses üretici olmadan sıcaklığa ve hıza bağlı olarak kütle kaybı üzerine etkileri araştırılmıştır.

Şekil 11' de görüntülenen başlangıç ağırlığı 75 gram olan nemli ham yün malzemesinin hazırlanan deney düzeneğinde 40 °C sıcaklık ve 0,4 m/s hava hızı ile hem ultra ses destekli hem de ultra ses desteksiz olarak 60 dakika boyunca yapılan deneylerde ağırlık değerleri kayıt altına alınmıştır. Ultra ses desteksiz olarak alınan değerlerde başlangıç ağırlığı 75 gram olan nemli ham yün 60 dakika sonunda 49 grama düşmüş olup kurutmaya bağlı olarak kaybedilen net kütle miktarı 26 gram olmuştur. Global kuruma hızı 0,433 (gr/dk) olarak tespit edilmiştir. İlk ağırlığına göre global kuruma yüzdesi 34,65 olarak bulunmuştur. Ultra ses destekli olarak alınan değerlerde başlangıç ağırlığı 75 gr olan nemli ham yün 60 dakika sonunda 40,8 grama düşmüş olup kurutmaya bağlı olarak kaybedilen net kütle miktarı 34,2 gram olmuştur. Global kuruma hızı 0,569 (gr/dk) olarak

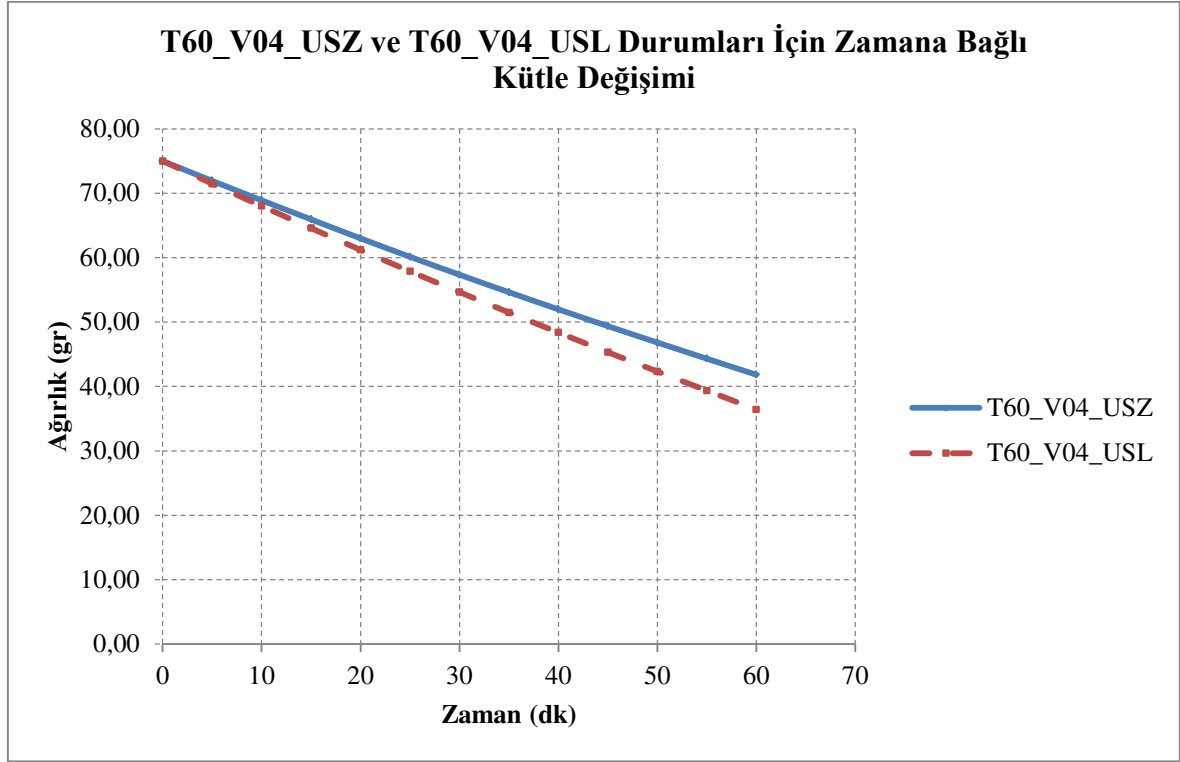
tespit edilmiştir. İlk ağırlığına göre global kuruma yüzdesi 45,58 olarak bulunmuştur. Her iki ölçüm sonrasında ultra ses destekli kurutma işleminin ultra ses desteksiz kurutma işlemine oranla global kuruma yüzdelere bakılarak kıyaslamaları yapıldığında %31,54 daha verimli olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 11. 40 °C sıcaklık ve 0,4 m/s hava hızının kurutma üzerine etkilerinin ultra ses üreteçli ve ultra ses üreteçsiz olarak incelenmesi

Şekil 12’ de görüntülenen başlangıç ağırlığı 75 gram olan nemli ham yün malzemesinin hazırlanan deney düzeneğinde 60 °C sıcaklık ve 0,4 m/s hava hızı ile hem ultra ses destekli hem de ultra ses olarak 60 dakika boyunca yapılan deneylerde ağırlık değerleri kayıt altına alınmıştır. Ultra ses desteksiz olarak alınan değerlerde başlangıç ağırlığı 75 gram olan nemli ham yün 60 dakika sonunda 41,8 grama düşmüş olup kurutmaya bağlı olarak kaybedilen net kütle miktarı 33,2 gram olmuştur. Global kuruma hızı 0,552 (gr/dk) olarak tespit edilmiştir. İlk ağırlığına göre global kuruma yüzdesi 44,23 olarak bulunmuştur. Ultra ses destekli olarak alınan değerlerde başlangıç ağırlığı 75 gr olan nemli ham yün 60 dakika sonunda 36,4 grama düşmüş olup kurutmaya bağlı olarak kaybedilen net kütle miktarı 38,6 gram olmuştur. Global kuruma hızı 0,642 (gr/dk) olarak tespit edilmiştir. İlk ağırlığına göre global kuruma yüzdesi 51,43 olarak bulunmuştur. Her

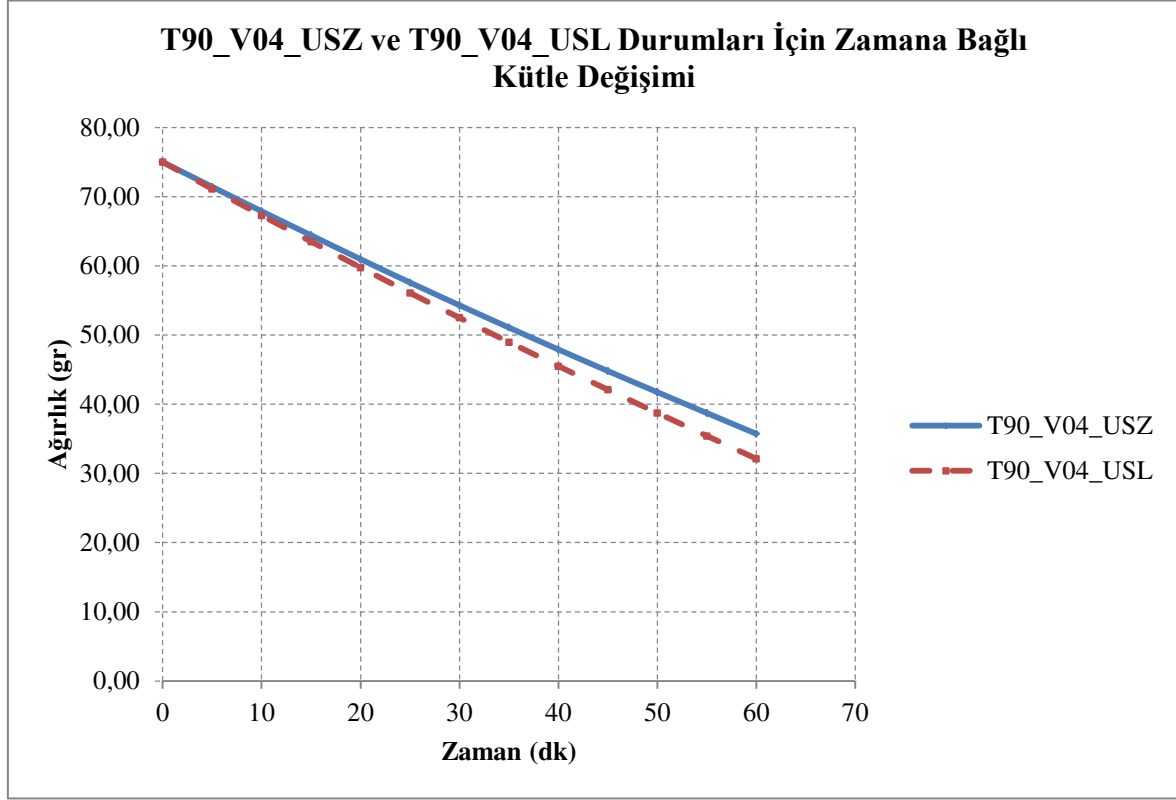
iki ölçüm sonrasında ultra ses destekli kurutma işleminin ultra ses desteksiz kurutma işlemine oranla global kuruma yüzdelerine bakılarak kıyaslamaları yapıldığında %16 daha verimli olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 12. 60 °C sıcaklık ve 0,4 m/s hava hızının kurutma üzerine etkilerinin ultra ses üreteçli ve ultra ses üreteçsiz olarak incelenmesi

Şekil 13’ de görüntülenen başlangıç ağırlığı 75 gram olan nemli ham yün malzemesinin hazırlanan deney düzeneğinde 90 °C sıcaklık ve 0,4 m/s hava hızı ile hem ultra ses destekli hem de ultra ses desteksiz olarak 60 dakika boyunca yapılan deneylerde ağırlık değerleri kayıt altına alınmıştır. Ultra ses desteksiz olarak alınan değerlerde başlangıç ağırlığı 75 gram olan nemli ham yün 60 dakika sonunda 35,7 grama düşmüş olup kurutmaya bağlı olarak kaybedilen net kütle miktarı 39,3 gram olmuştur. Global kuruma hızı 0,654 (gr/dk) olarak tespit edilmiştir. İlk ağırlığına göre global kuruma yüzdesi 52,36 olarak bulunmuştur. Ultra ses destekli olarak alınan değerlerde başlangıç ağırlığı 75 gr olan nemli ham yün 60 dakika sonunda 32,1 grama düşmüş olup kurutmaya bağlı olarak kaybedilen net kütle miktarı 42,9 gram olmuştur. Global kuruma hızı 0,714 (gr/dk) olarak tespit edilmiştir. İlk ağırlığına göre global kuruma yüzdesi 57,16 olarak bulunmuştur. Her iki ölçüm sonrasında ultra ses destekli kurutma işleminin ultra ses desteksiz kurutma

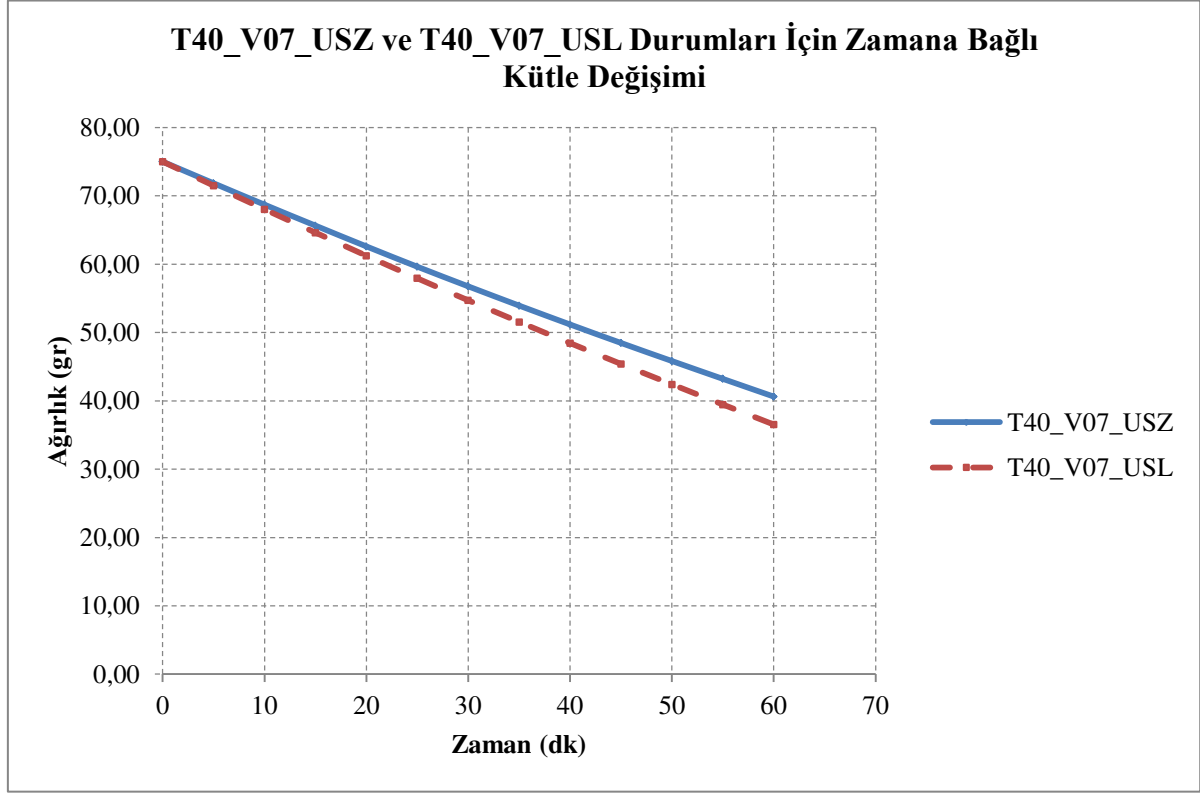
işlemine oranla global kuruma yüzdelere bakılarak kıyaslamaları yapıldığında %9,16 daha verimli olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 13. 90 °C sıcaklık ve 0,4 m/s hava hızının kurutma üzerine etkilerinin ultra ses üreteçli ve ultra ses üreteçsiz olarak incelenmesi

Şekil 14’ de görüntülenen başlangıç ağırlığı 75 gram olan nemli ham yün malzemesinin hazırlanan deney düzeneğinde 40 °C sıcaklık ve 0,7 m/s hava hızı ile hem ultra ses destekli hem de ultra ses desteksiz olarak 60 dakika boyunca yapılan deneylerde ağırlık değerleri kayıt altına alınmıştır. Ultra ses desteksiz olarak alınan değerlerde başlangıç ağırlığı 75 gram olan nemli ham yün 60 dakika sonunda 40,6 grama düşmüş olup kurutmaya bağlı olarak kaybedilen net kütle miktarı 34,4 gram olmuştur. Global kuruma hızı 0,573 (gr/dk) olarak tespit edilmiştir. İlk ağırlığına göre global kuruma yüzdesi 45,84 olarak bulunmuştur. Ultra ses destekli olarak alınan değerlerde başlangıç ağırlığı 75 gr olan nemli ham yün 60 dakika sonunda 36,5 grama düşmüş olup kurutmaya bağlı olarak kaybedilen net kütle miktarı 38,5 gram olmuştur. Global kuruma hızı 0,641 (gr/dk) olarak tespit edilmiştir. İlk ağırlığına göre global kuruma yüzdesi 51,29 olarak bulunmuştur. Her iki ölçüm sonrasında ultra ses destekli kurutma işleminin ultra ses desteksiz kurutma

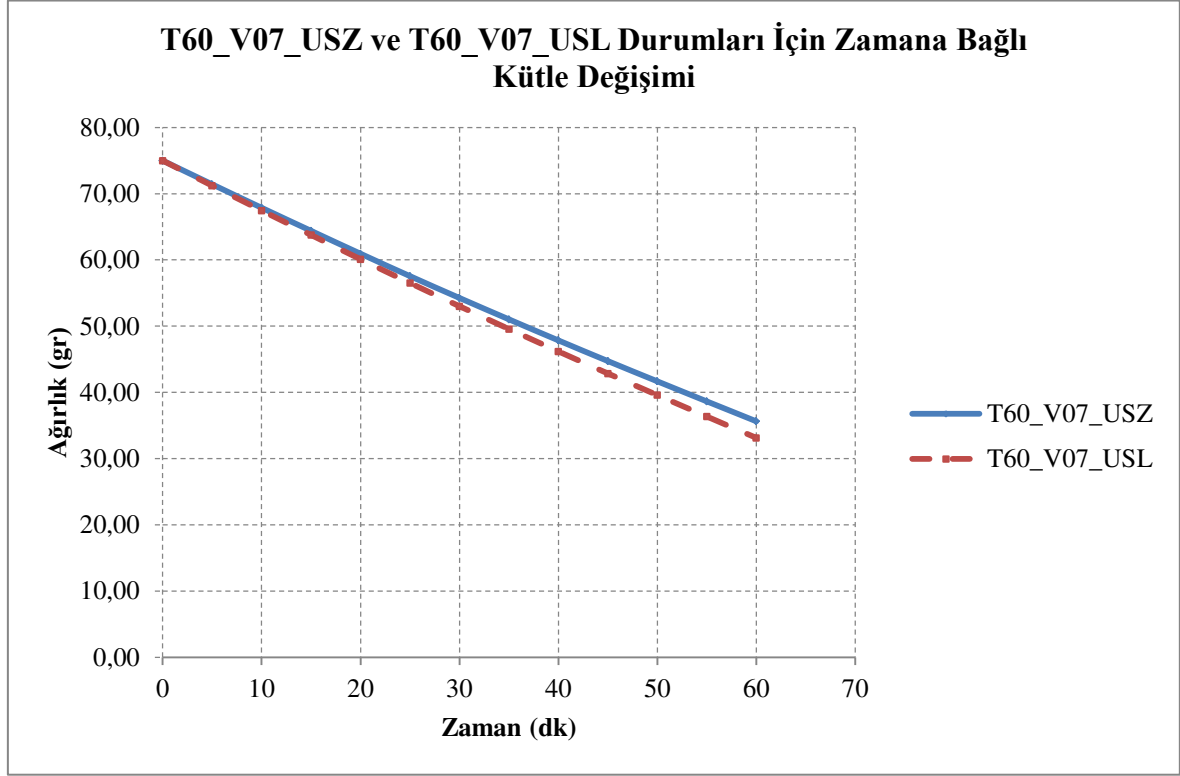
işlemine oranla global kuruma yüzdelere bakılarak kıyaslamaları yapıldığında %11,88 daha verimli olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 14. 40 °C sıcaklık ve 0,7 m/s hava hızının kurutma üzerine etkilerinin ultra ses üreteçli ve ultra ses üreteçsiz olarak incelenmesi

Şekil 15’ de görüntülenen başlangıç ağırlığı 75 gram olan nemli ham yün malzemesinin hazırlanan deney düzeneğinde 60 °C sıcaklık ve 0,7 m/s hava hızı ile hem ultra ses destekli hem de ultra ses desteksiz olarak 60 dakika boyunca yapılan deneylerde ağırlık değerleri kayıt altına alınmıştır. Ultra ses desteksiz olarak alınan değerlerde başlangıç ağırlığı 75 gram olan nemli ham yün 60 dakika sonunda 35,6 grama düşmüş olup kurutmaya bağlı olarak kaybedilen net kütle miktarı 49,4 gram olmuştur. Global kuruma hızı 0,656 (gr/dk) olarak tespit edilmiştir. İlk ağırlığına göre global kuruma yüzdesi 52,49 olarak bulunmuştur. Ultra ses destekli olarak alınan değerlerde başlangıç ağırlığı 75 gr olan nemli ham yün 60 dakika sonunda 33,1 grama düşmüş olup kurutmaya bağlı olarak kaybedilen net kütle miktarı 41,9 gram olmuştur. Global kuruma hızı 0,697 (gr/dk) olarak tespit edilmiştir. İlk ağırlığına göre global kuruma yüzdesi 55,82 olarak bulunmuştur. Her iki ölçüm sonrasında ultra ses destekli kurutma işleminin ultra ses desteksiz kurutma

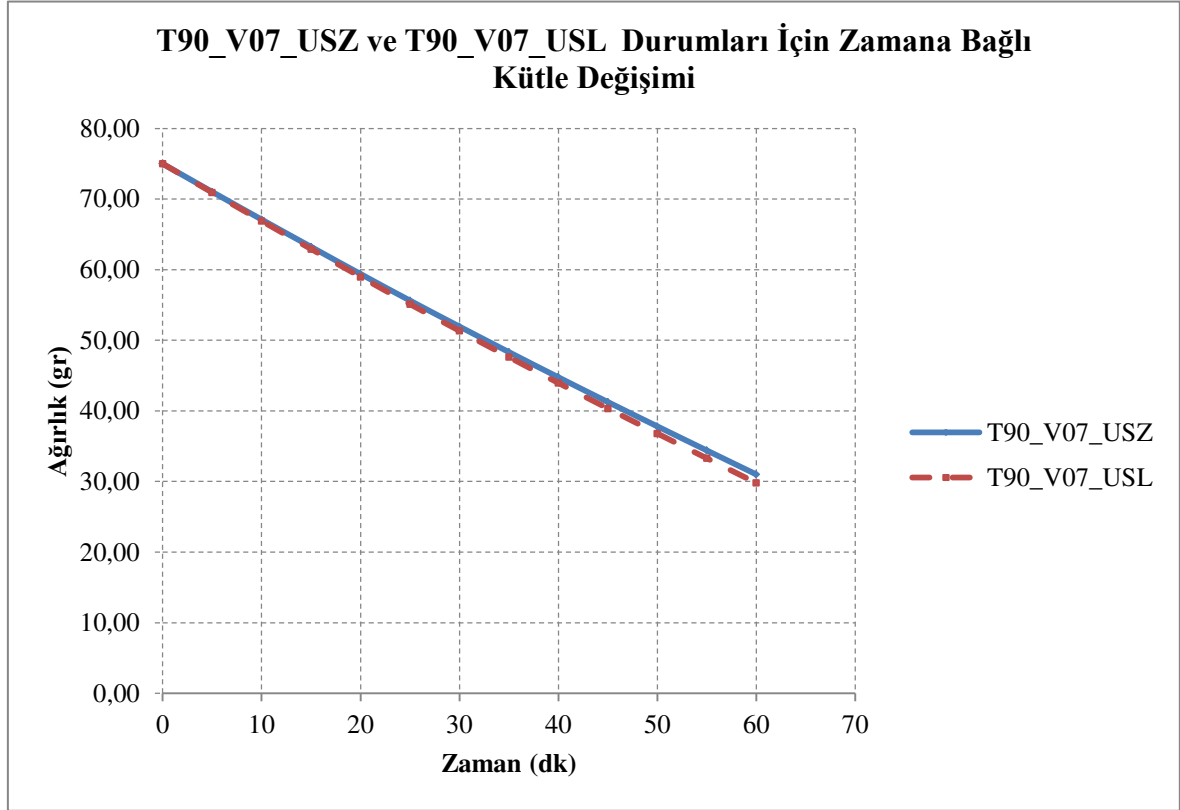
işlemine oranla global kuruma yüzdelere bakılarak kıyaslamaları yapıldığında %6,34 daha verimli olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 15. 60 °C sıcaklık ve 0,7 m/s hava hızının kurutma üzerine etkilerinin ultra ses üreteçli ve ultra ses üreteçsiz olarak incelenmesi

Şekil 16’ da görüntülenen başlangıç ağırlığı 75 gram olan nemli ham yün malzemesinin hazırlanan deney düzenğinde 90 °C sıcaklık ve 0,7 m/s hava hızı ile hem ultra ses destekli hem de ultra ses desteksiz olarak 60 dakika boyunca yapılan deneylerde ağırlık değerleri kayıt altına alınmıştır. Ultra ses desteksiz olarak alınan değerlerde başlangıç ağırlığı 75 gram olan nemli ham yün 60 dakika sonunda 31 grama düşmüş olup kurutmaya bağlı olarak kaybedilen net kütle miktarı 44 gram olmuştur. Global kuruma hızı 0,733 (gr/dk) olarak tespit edilmiştir. İlk ağırlığına göre global kuruma yüzdesi 58,65 olarak bulunmuştur. Ultra ses destekli olarak alınan değerlerde başlangıç ağırlığı 75 gr olan nemli ham yün 60 dakika sonunda 29,8 grama düşmüş olup kurutmaya bağlı olarak kaybedilen net kütle miktarı 45,2 gram olmuştur. Global kuruma hızı 0,753 (gr/dk) olarak tespit edilmiştir. İlk ağırlığına göre global kuruma yüzdesi 60,27 olarak bulunmuştur. Her iki ölçüm sonrasında ultra ses destekli kurutma işleminin ultra ses desteksiz kurutma

işlemine oranla global kuruma yüzdelere bakılarak kıyaslamaları yapıldığında %2,76 daha verimli olduğu tespit edilmiştir.



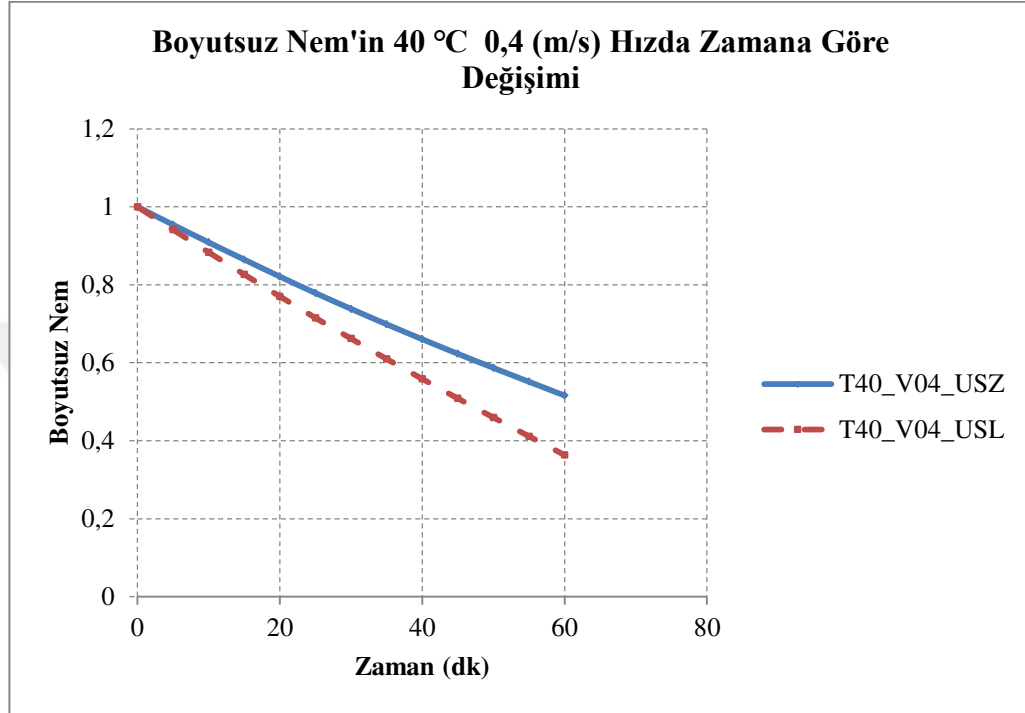
Şekil 16. 90 °C sıcaklık ve 0,7 m/s hava hızının kurutma üzerine etkilerinin ultra ses üreteçli ve ultra ses üreteçsiz olarak incelenmesi

3.2. Ultra Ses Kullanılarak ve Ultra Ses Kullanılmadan Yapılan Deneylerin Boyutsuz Nem Oranı Üzerine Olan Etkilerinin 0,4 m/s Kurutma Havası Hızı ve Sıcaklık Değişimi

0,4 m/s hava akış hızı ve 40 °C, 60 °C, 90 °C olmak üzere üç farklı kurutma sıcaklığı ile ultra ses üretici kullanılarak ve ultra ses üretici olmadan her bir ölçüm aralığı için değerler alınmış olup ultra ses üretici kullanılarak ve ultra ses üretici olmadan sıcaklığa ve hıza bağlı olarak boyutsuz nem üzerine etkileri araştırılmıştır.

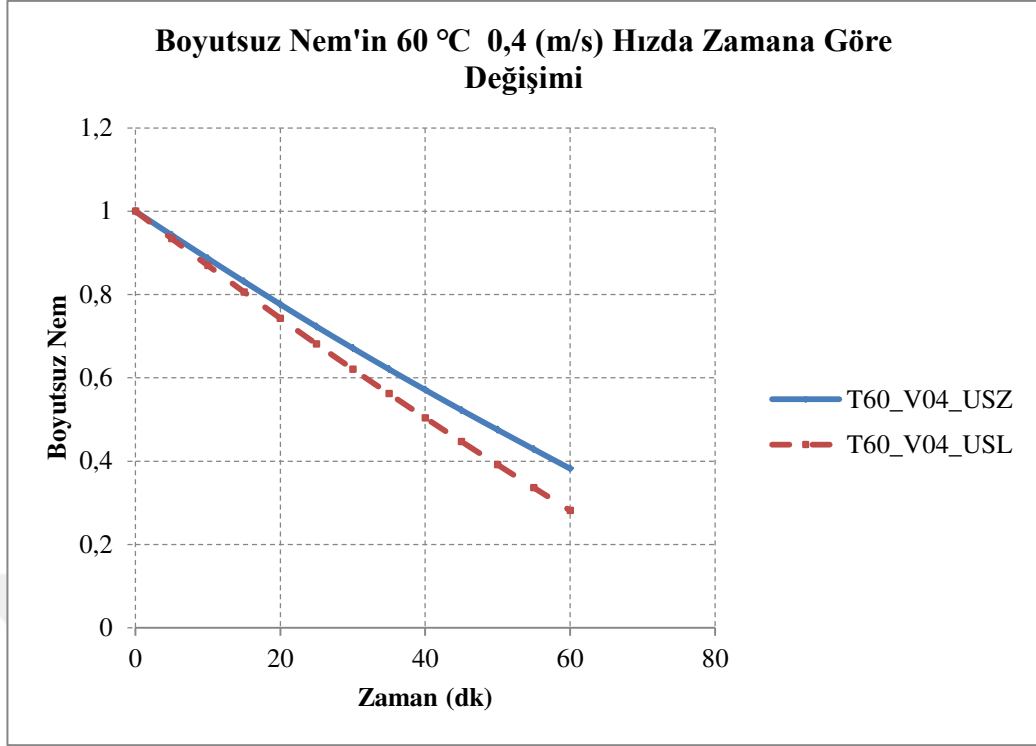
Şekil 17’ de görüntülenen başlangıçta boyutsuz nem oranı 1 olan olan nemli ham yün malzemesinin hazırlanan deney düzeneğinde 40 °C sıcaklık ve 0,4 m/s hava hızı ile hem ultra ses destekli hem de ultra ses desteksiz parametreleri incelenmiştir. 60 dakika

süren gözlemlerde veriler 5 dakika ara ile alınmıştır. Ultra ses desteksiz olarak alınan değerlerde ham yün 60 dakika sonunda 0,51599' a düşmüştür. Ultra ses destekli olarak alınan değerlerde ise ham yün 60 dakika sonunda 0,36335' e düşmüştür.



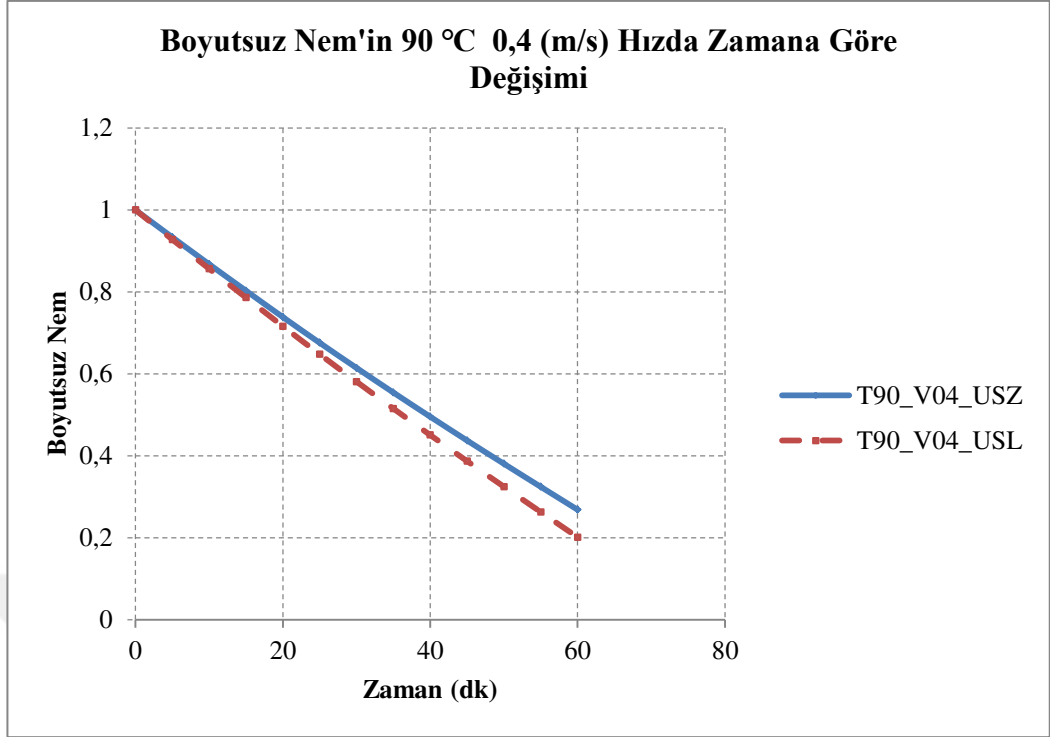
Şekil 17. 40 °C sıcaklık ve 0,4 m/s hava hızının boyutsuz nem için ultra ses üreteçli ve ultra ses üreteçsiz etkileri

Şekil 18' de görüntülenen başlangıçta boyutsuz nem oranı 1 olan nemli ham yün malzemesinin hazırlanan deney düzeneğinde 60 °C sıcaklık ve 0,4 m/s hava hızı ile hem ultra ses destekli hem de ultra ses desteksiz parametreleri incelenmiştir. 60 dakika süren gözlemlerde veriler 5 dakika ara ile alınmıştır. Ultra ses desteksiz olarak alınan değerlerde ham yün 60 dakika sonunda 0,38214' e düşmüştür. Ultra ses destekli olarak alınan değerlerde ise ham yün 60 dakika sonunda 0,28158' e düşmüştür.



Şekil 18. 60 °C sıcaklık ve 0,4 m/s hava hızının boyutsuz nem için ultra ses üreteçli ve ultra ses üreteçsiz etkileri

Şekil 19’ da görüntülenen başlangıçta boyutsuz nem oranı 1 olan nemli ham yün malzemesinin hazırlanan deney düzeneğinde 90 °C sıcaklık ve 0,4 m/s hava hızı ile hem ultra ses destekli hem de ultra ses desteksiz parametreleri incelenmiştir. 60 dakika süren gözlemlerde veriler 5 dakika ara ile alınmıştır. Ultra ses desteksiz olarak alınan değerlerde ham yün 60 dakika sonunda 0,26860’ a düşmüştür. Ultra ses destekli olarak alınan değerlerde ise ham yün 60 dakika sonunda 0,20156’ ya düşmüştür.



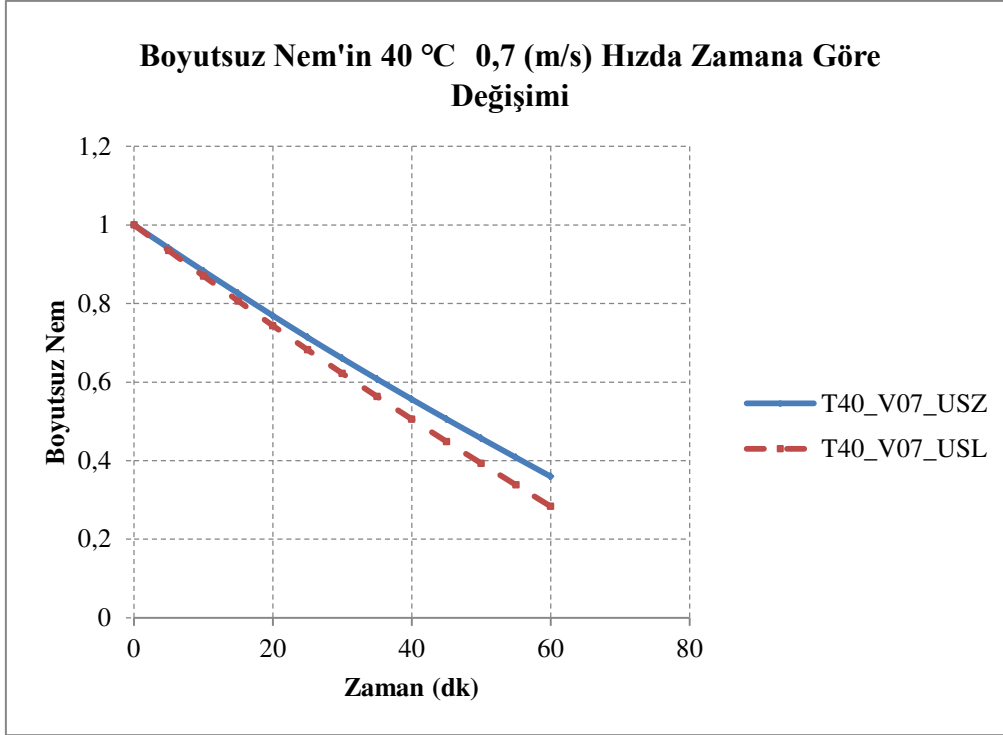
Şekil 19. 90 °C sıcaklık ve 0,4 m/s hava hızının boyutsuz nem için ultra ses üreteçli ve ultra ses üreteçsiz etkileri

Boyutsuz nem oranı cinsinden kurutma performansı ele alındığında bütün kurutma sıcaklığı ve 0,4 m/s kurutma havası hızı kombinasyonunda ultra ses desteği uygulanmış kurutma işleminin aynı sürede daha fazla oranda kuruma sağladığı görülmüştür.

3.3. Ultra Ses Kullanılarak ve Ultra Ses Kullanılmadan Yapılan Deneylerin Boyutsuz Nem Oranı Üzerine Olan Etkilerinin 0,7 m/s Kurutma Havası Hızı ve Sıcaklık Değişimi

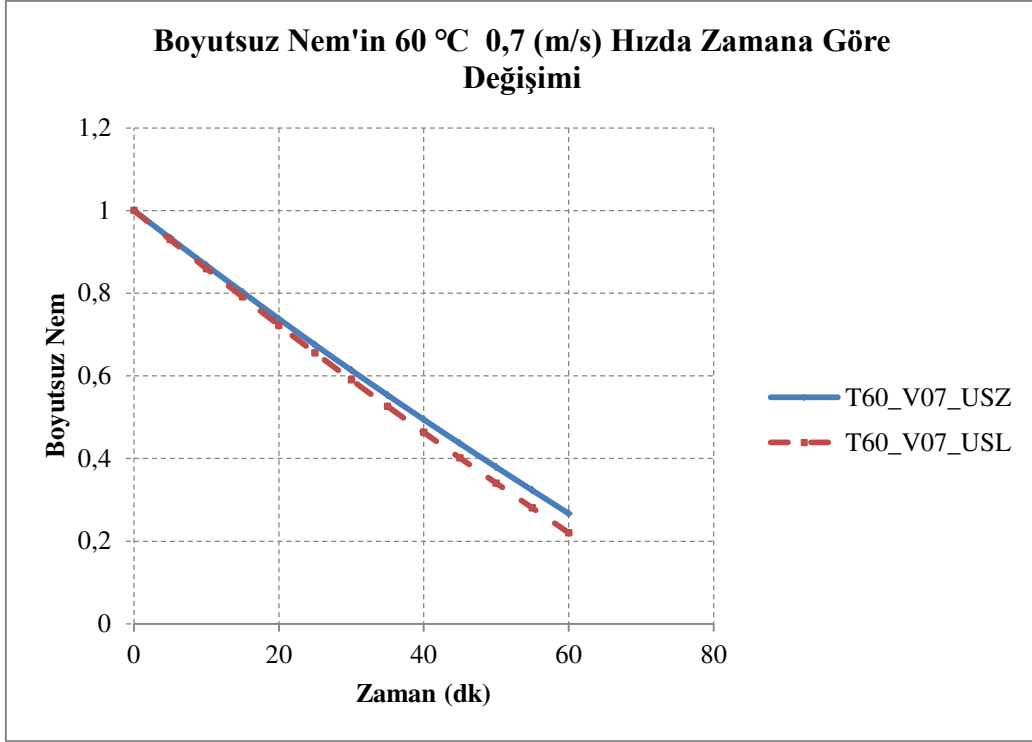
0,7 m/s hava akış hızı ve 40 °C, 60 °C, 90 °C olmak üzere üç farklı kurutma sıcaklığı ile ultra ses üreteci kullanılarak ve ultra ses üreteci olmadan her bir ölçüm aralığı için değerler alınmış olup ultra ses üreteci kullanılarak ve ultra ses üreteci olmadan sıcaklığa ve hıza bağlı olarak boyutsuz nem üzerine etkileri araştırılmıştır.

Şekil 20' de görüntülenen başlangıçta boyutsuz nem oranı 1 olan nemli ham yün malzemesinin hazırlanan deney düzeneğinde 40 °C sıcaklık ve 0,7 m/s hava hızı ile hem ultra ses destekli hem de ultra ses desteksiz parametreleri incelenmiştir. 60 dakika süren gözlemlerde veriler 5 dakika ara ile alınmıştır. Ultra ses desteksiz olarak alınan değerlerde ham yün 60 dakika sonunda 0,35793' e düşmüştür. Ultra ses destekli olarak alınan değerlerde ise ham yün 60 dakika sonunda 0,28361' e düşmüştür.



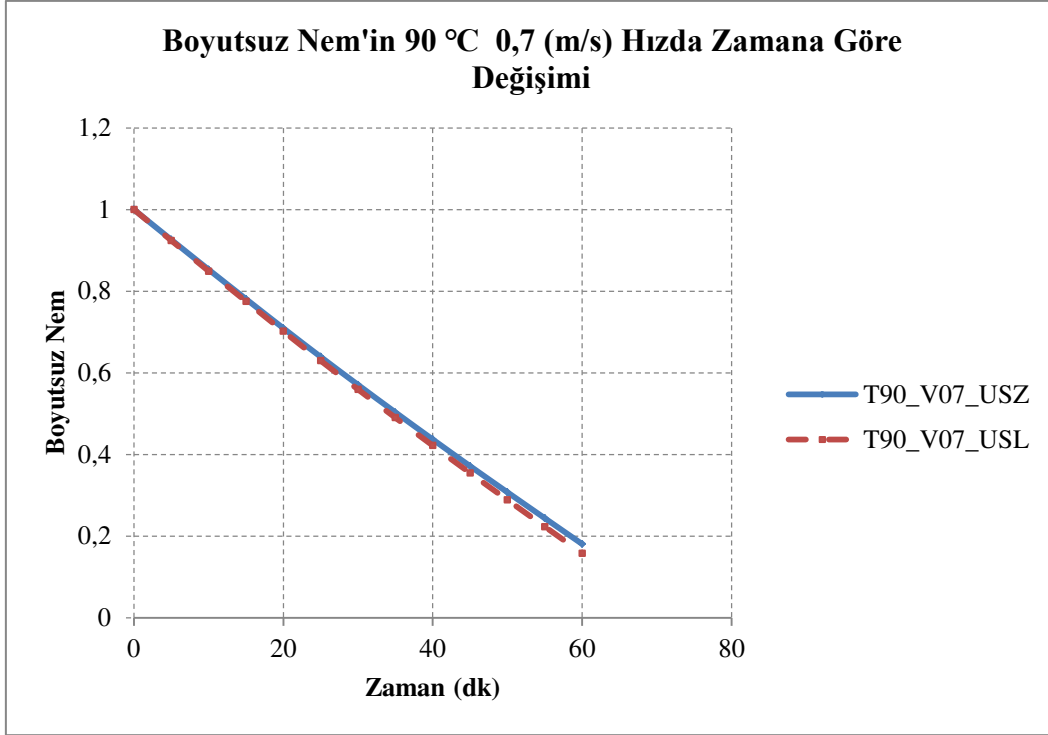
Şekil 20. 40 °C sıcaklık ve 0,7 m/s hava hızının boyutsuz nem için ultra ses üreteçli ve ultra ses üreteçsiz etkileri

Şekil 21' de görüntülenen başlangıçta boyutsuz nem oranı 1 olan nemli ham yün malzemesinin hazırlanan deney düzeneğinde 60 °C sıcaklık ve 0,7 m/s hava hızı ile hem ultra ses destekli hem de ultra ses desteksiz parametreleri incelenmiştir. 60 dakika süren gözlemlerde veriler 5 dakika ara ile alınmıştır. Ultra ses desteksiz olarak alınan değerlerde ham yün 60 dakika sonunda 0,26683' e düşmüştür. Ultra ses destekli olarak alınan değerlerde ise ham yün 60 dakika sonunda 0,22035' e düşmüştür.



Şekil 21. 60 °C sıcaklık ve 0,7 m/s hava hızının boyutsuz nem için ultra ses üreteçli ve ultra ses üreteçsiz etkileri

Şekil 22’ de görüntülenen başlangıçta boyutsuz nem oranı 1 olan nemli ham yün malzemesinin hazırlanan deney düzeneğinde 90 °C sıcaklık ve 0,7 m/s hava hızı ile hem ultra ses destekli hem de ultra ses desteksiz parametreleri incelenmiştir. 60 dakika süren gözlemlerde veriler 5 dakika ara ile alınmıştır. Ultra ses desteksiz olarak alınan değerlerde ham yün 60 dakika sonunda 0,18078’ e düşmüştür. Ultra ses destekli olarak alınan değerlerde ise ham yün 60 dakika sonunda 0,15821’ e düşmüştür.



Şekil 22. 90 °C sıcaklık ve 0,7 m/s hava hızının boyutsuz nem için ultra ses üreteçli ve ultra ses üreteçsiz etkileri

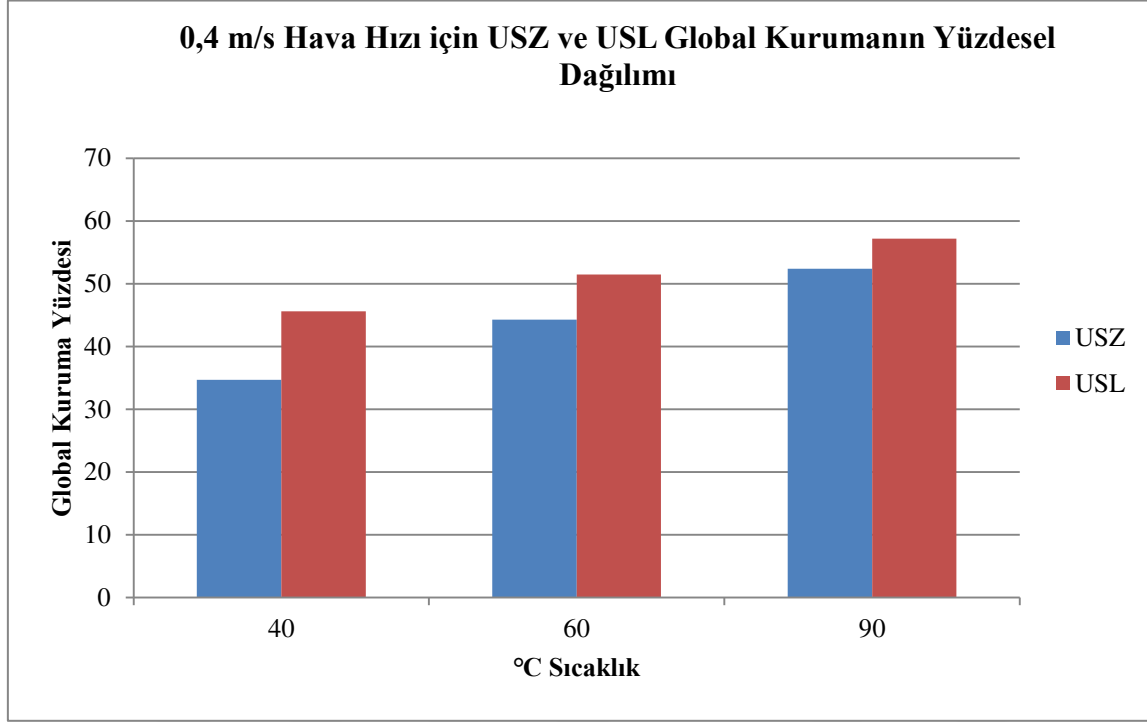
Boyutsuz nem oranı cinsinden kurutma performansı ele alındığında bütün kurutma sıcaklığı ve 0,7 m/s kurutma havası hızı kombinasyonunda ultra ses desteği uygulanmış kurutma işleminin aynı sürede daha fazla oranda kuruma sağladığı görülmüştür.

3.4. Farklı Kurutma Sıcaklıklarda ve Farklı Hava Hızlarında USZ ve USL'nin Global Kuruma Oranına Etkileri

0,4 m/s ve 0,7 m/s hava akış hızı ve 40 °C, 60 °C, 90 °C olmak üzere üç farklı kurutma sıcaklığı ile ultra ses üreteci kullanılarak ve ultra ses üreteci olmadan her bir ölçüm aralığı için değerler alınmış olup ultra ses üreteci kullanılarak ve ultra ses üreteci olmadan sıcaklığa ve hıza bağlı olarak global kuruma yüzdelerinin dağılımı incelenmiştir.

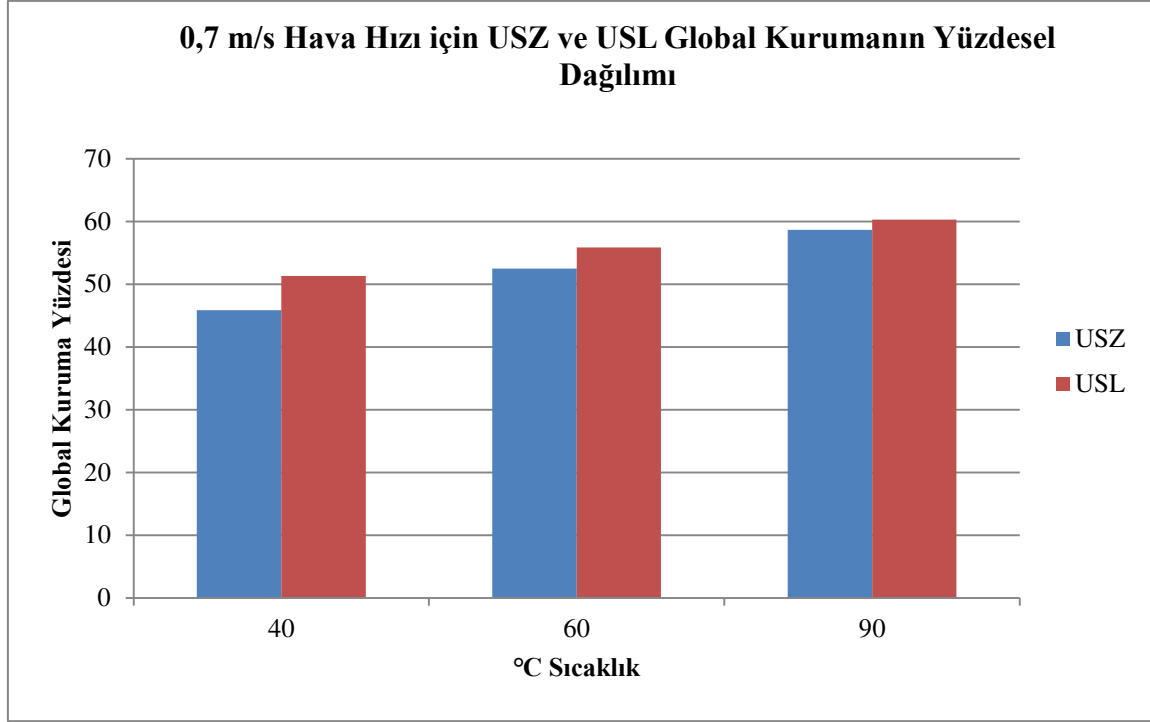
Şekil 23' de görüntülenen 40 °C sıcaklık ve 0,4 m/s hava akış hızı için global kuruma yüzdesi USZ olarak 34,65 ve USL olarak 45,58 ölçülmüştür. 40 °C sıcaklık için USL'nin USZ'ye oranla verimi 10,92 olarak bulunmuştur. 60 °C sıcaklık ve 0,4 m/s hava akış hızı için global kuruma yüzdesi USZ olarak 44,23 ve USL olarak 51,43 ölçülmüştür. 60 °C sıcaklık için USL'nin USZ'ye oranla verimi 7,20 olarak bulunmuştur. 90 °C sıcaklık ve 0,4 m/s hava akış hızı için global kuruma yüzdesi USZ olarak 52,36 ve USL olarak

57,16 ölçülmüştür. 90 °C sıcaklık için USL'nin USZ'ye oranla verimi 4,80 olarak bulunmuştur.



Şekil 23. 40 °C, 60 °C ve 90 °C sıcaklık ve 0,4 m/s hava hızının ultra ses üretici kullanılarak ve ultra ses üretici kullanılmadan global kuruma yüzdesine olan etkileri

Şekil 24' de görüntülenen 40 °C sıcaklık ve 0,7 m/s hava akış hızı için global kuruma yüzdesi USZ olarak 45,84 ve USL olarak 51,29 ölçülmüştür. 40 °C sıcaklık için USL'nin USZ'ye oranla verimi 5,45 olarak bulunmuştur. 60 °C sıcaklık ve 0,7 m/s hava akış hızı için global kuruma yüzdesi USZ olarak 52,49 ve USL olarak 55,82 ölçülmüştür. 60 °C sıcaklık için USL'nin USZ'ye oranla verimi 3,32 olarak bulunmuştur. 90 °C sıcaklık ve 0,7 m/s hava akış hızı için global kuruma yüzdesi USZ olarak 58,65 ve USL olarak 60,27 ölçülmüştür. 90 °C sıcaklık için USL'nin USZ'ye oranla verimi 1,61 olarak bulunmuştur.



Şekil 24. 40 °C, 60 °C ve 90 °C sıcaklık ve 0,7 m/s hava hızının ultra ses üretici kullanılarak ve ultra ses üretici kullanılmadan global kuruma yüzdesine olan etkileri

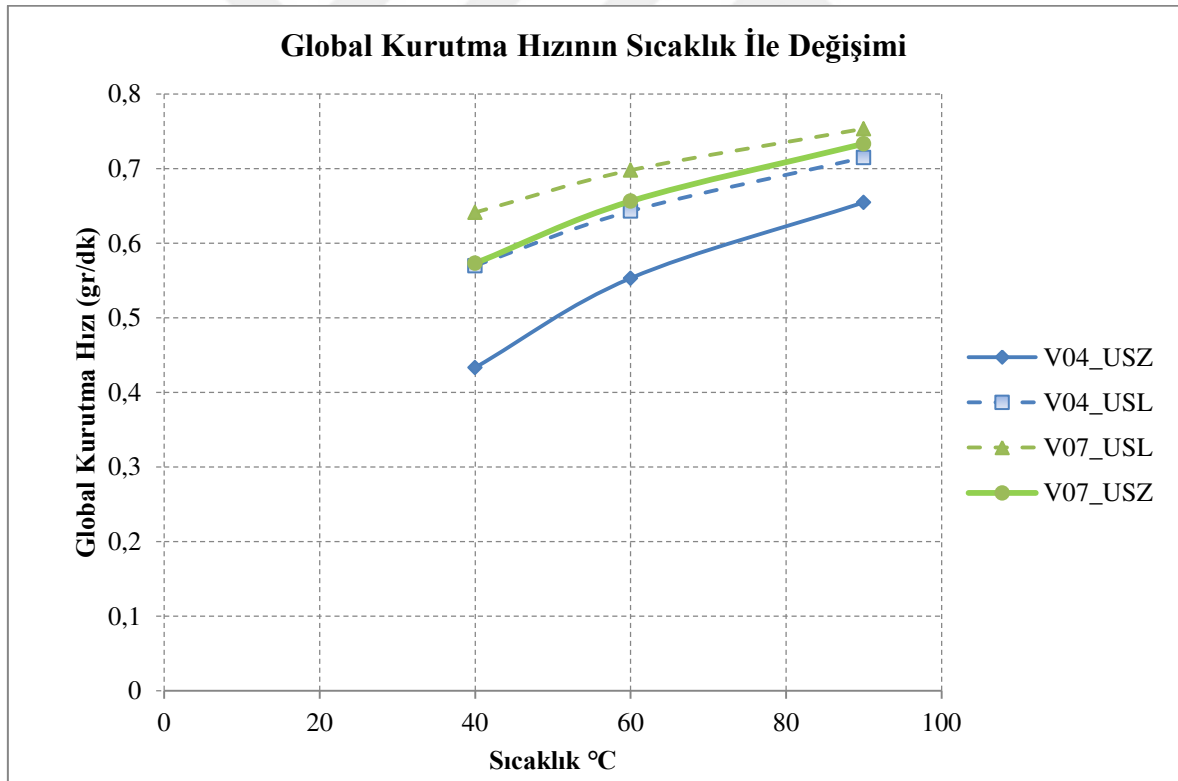
Meydana gelen sıcaklığa bağlı ultra sesin etkisi incelendiğinde hem 0,4 m/s hem de 0,7 m/s hava hızları için sıcaklığın artmasına bağlı olarak yüzde kuruma oranlarının ultra ses uygulanmamış durumlarda birbirine yaklaştığı tespit edilmiştir.

3.5. Global Kurutma Hızının Ultra Ses Kullanılarak ve Ultra Ses Kullanılmadan Sıcaklık ile Değişimleri

Global kurutma hızının 40 °C, 60 °C, 90 °C olmak üzere üç farklı kurutma sıcaklığı ile ultra ses üretici kullanılarak ve ultra ses üretici olmadan her bir ölçüm aralığı için değerler alınmış olup ultra ses üretici kullanılarak ve ultra ses üretici olmadan sıcaklığa bağlı olarak kurutma hızının her bir değer için grafik üzerinde dağılımı incelenmiştir.

Şekil 25’ de görüntülenen 40 °C kurutma sıcaklığı USZ olarak 0,4 m/s hava akış hızında global kurutma hızı 0,43 gr/dk olarak bulunmuştur. Aynı şekilde 40 °C kurutma sıcaklığı USL olarak 0,4 m/s hava akış hızında global kurutma hızı 0,56 gr/dk olarak bulunmuştur. Bu değerler 0,7 m/s hava akış hızı için tekrardan ölçülmüş olup 40 °C kurutma sıcaklığı USZ olarak 0,7 m/s hava akış hızında global kurutma hızı 0,57 gr/dk olarak bulunup bu değer USL olarak 40 °C kurutma sıcaklığı için 0,7 m/s hava akış hızında 0,64 gr/dk olarak bulunmuştur. 60 °C kurutma sıcaklığı USZ olarak 0,4 m/s hava akış

hızında global kurutma hızı 0,55 gr/dk olarak bulunmuştur. Aynı şekilde 60 °C kurutma sıcaklığı USL olarak 0,4 m/s hava akış hızında global kurutma hızı 0,64 gr/dk olarak bulunmuştur. Bu değerler 0,7 m/s hava akış hızı için tekrardan ölçülmüş olup 60 °C kurutma sıcaklığı USZ olarak 0,7 m/s hava akış hızında global kurutma hızı 0,65 gr/dk olarak bulunup bu değer USL olarak 60 °C kurutma sıcaklığı için 0,7 m/s hava akış hızında 0,69 gr/dk olarak bulunmuştur. 90 °C kurutma sıcaklığı USZ olarak 0,4 m/s hava akış hızında global kurutma hızı 0,65 gr/dk olarak bulunmuştur. Aynı şekilde 90 °C kurutma sıcaklığı USL olarak 0,4 m/s hava akış hızında global kurutma hızı 0,71 gr/dk olarak bulunmuştur. Bu değerler 0,7 m/s hava akış hızı için tekrardan ölçülmüş olup 90 °C kurutma sıcaklığı USZ olarak 0,7 m/s hava akış hızında global kurutma hızı 0,73 gr/dk olarak bulunup bu değer USL olarak 90 °C kurutma sıcaklığı için 0,7 m/s hava akış hızında 0,75 gr/dk olarak bulunmuştur.



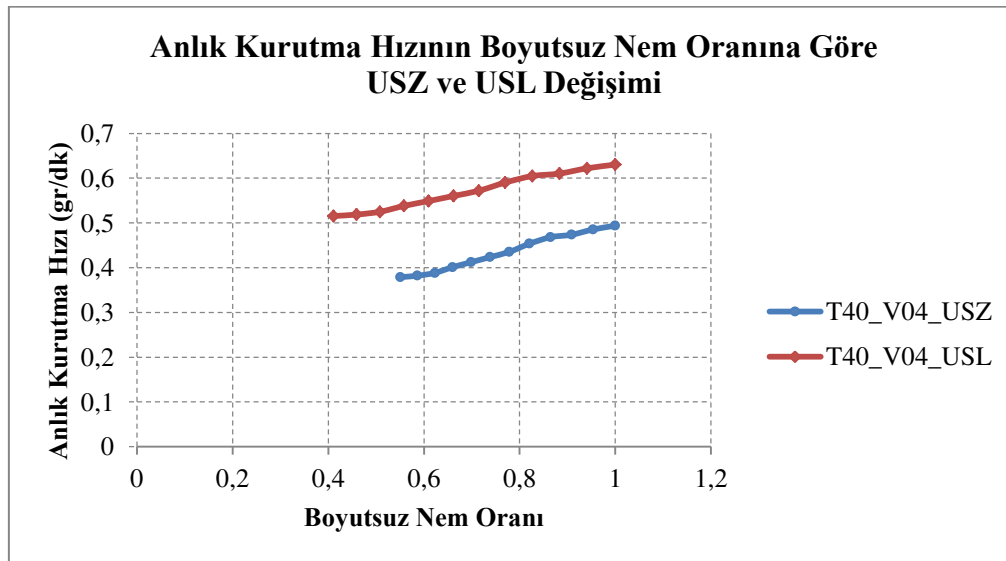
Şekil 25. 40 °C, 60 °C ve 90 °C sıcaklık için global kurutma hızının ultra ses üretici kullanılarak ve ultra ses üretici kullanılmadan meydana getirdiği değişiklikler

Şekil 25’ de gösterilen grafikte kurutma havası hızı ve kurutma havası sıcaklığı parametrelerinin ultra sesli kurutma performansı üzerine olan bileşke etkisi görülmektedir.

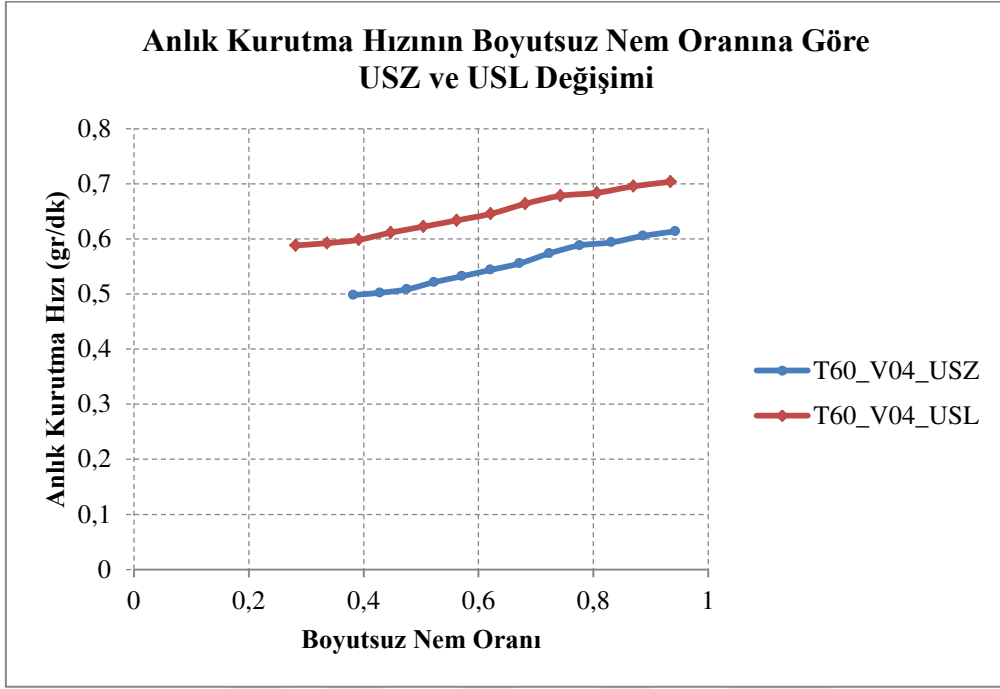
Sıcaklık ve hava hızı artarken ultra ses destekli kurutma hızı bütün durumlar için artış göstermesine rağmen ultra ses desteği olmadan yapılan kurutma işlemi performansı ile ultra ses destekli kurutma işlemi performansı arasındaki farkın azaldığı görülmüştür. Bu durum hava sıcaklığı parametresinin yüksek hızlarda ultra ses etkisinden daha baskın hale geldiğini göstermektedir. Isınan hava daha fazla miktarda nem yüklenme kapasitesine sahip olduğu için ultra ses desteğinin etkisi hava sıcaklığı kaynaklı kurutma performansı iyileşmesinin yanında daha düşük bir seviyede kalmaktadır. Öte yandan ısınmaya bağlı olarak havayı oluşturan moleküllerin birbirinden uzaklaşması ve hava yoğunluğunun düşmesi, ultra ses dalgasının moleküller arasında iletilme performansının düşmesine ve üretilen ses dalgalarının hava içerisinde daha kısa sürede sönümlenmesine neden olmaktadır.

3.6. Anlık Kurutma Hızının Boyutsuz Nem Oranına göre 0,4 m/s Hava Hızı için USZ ve USL Etkileri

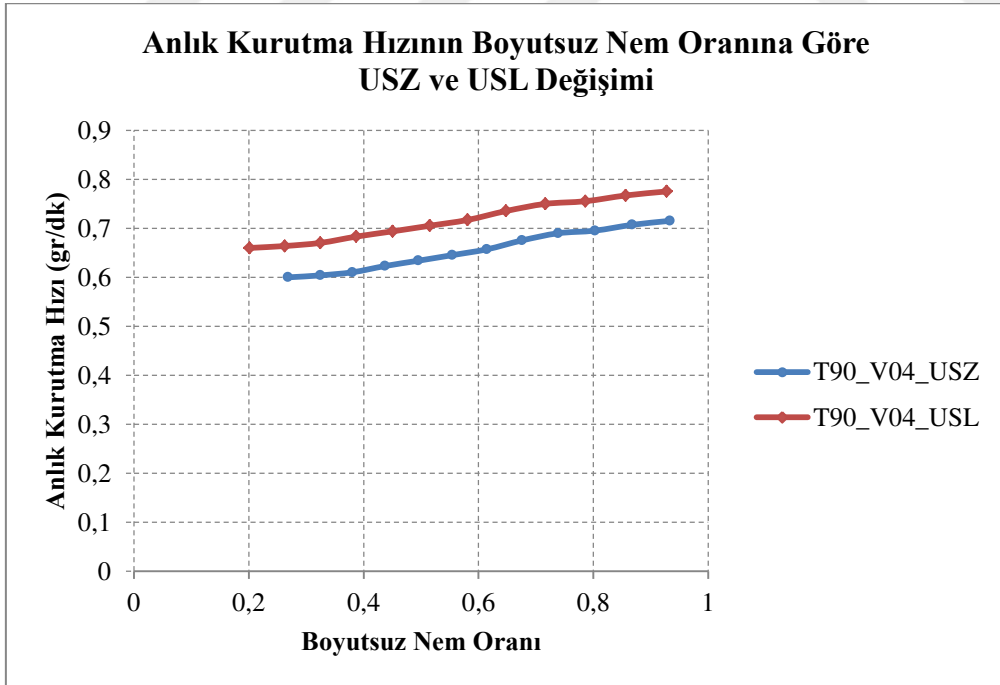
Kurutma işlemi sırasında anlık kurutma hızı ile malzeme içindeki boyutsuz nem oranı arasında bir bağıntı olduğu düşünülmektedir. Bu yaklaşımın sonuçları zamana bağlı bozucu etkilerden arındırılmış olarak daha yalın bir şekilde görülmesine olanak tanıyacağı düşünülmektedir. Her bir sıcaklık değeri için 0,4 m/s hava hızı koşullarında yapılan kurutma işlemlerine ait sonuçlar Şekil 26, Şekil 27 ve Şekil 28 arasında verilmiştir.



Şekil 26. 40°C sıcaklık ve 0,4 m/s hava hızında anlık kuruma hızının boyutsuz nem oranına göre ultra ses üretici kullanılarak ve ultra ses üretici kullanılmadan incelemesi



Şekil 27. 60°C sıcaklık ve 0,4 m/s hava hızında anlık kuruma hızının boyutsuz nem oranına göre ultra ses üretici kullanılarak ve ultra ses üretici kullanılmadan incelemesi

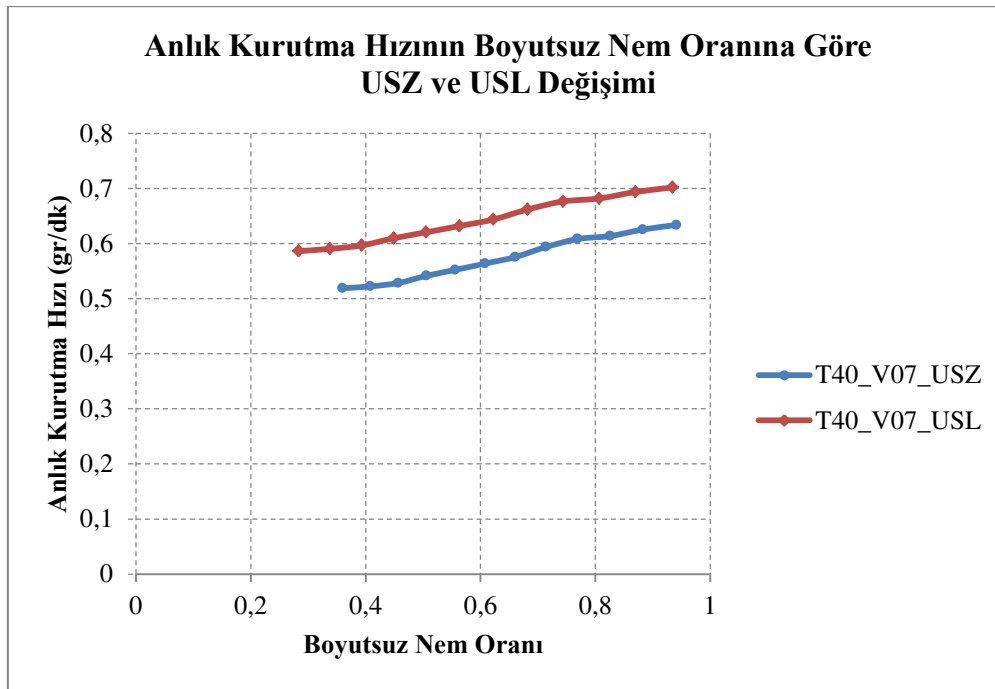


Şekil 28. 90°C sıcaklık ve 0,4 m/s hava hızında anlık kuruma hızının boyutsuz nem oranına göre ultra ses üretici kullanılarak ve ultra ses üretici kullanılmadan incelemesi

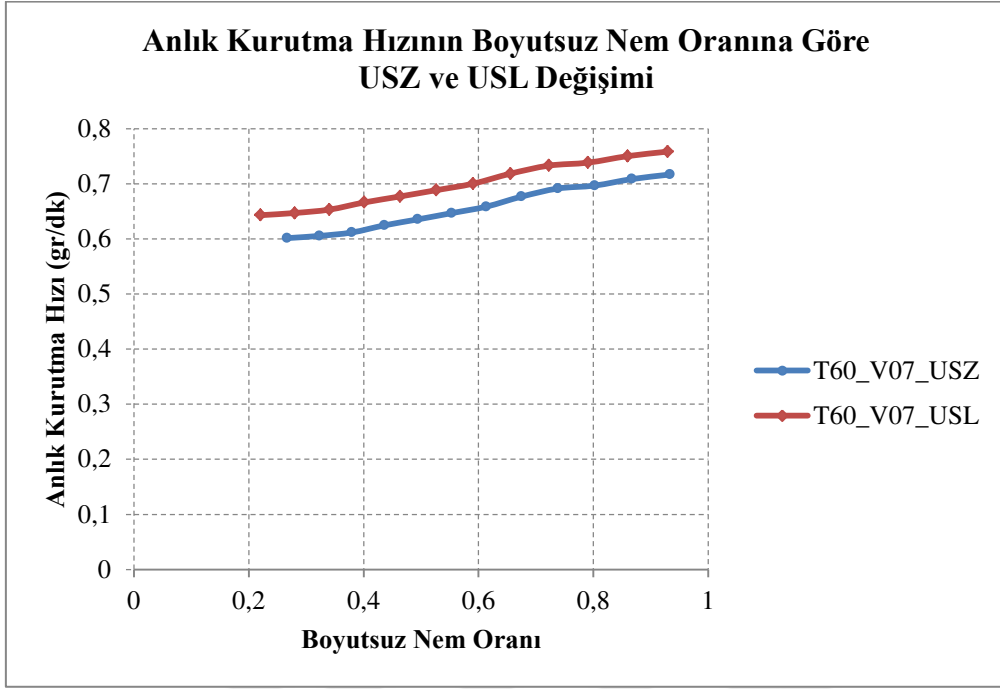
Yapılan incelemeler sonunda anlık kuruma hızının malzeme içindeki boyutsuz nem oranı ile ilişkili olduğu görülmüştür. Boyutsuz nem oranı düştükçe anlık kuruma hızının da düştüğü gözlenmiştir. Ölçümlerin tamamında anlık kuruma hızının, ultra ses uygulanmış koşullarda daha yüksek olduğu görülmüştür. Buna karşın sıcaklığın artması ile birlikte ultra ses uygulanmış sistemler ile uygulanmadığı sistemler arasındaki anlık kuruma hızı farklarının kapandığı gözlenmiştir. Anlık kuruma hızı değişim ivmesi ele alındığında boyutsuz nem oranının yaklaşık 0,6' nın altına düşmesi ile birlikte negatif ivme ile yavaşladığı görülmektedir.

3.7. Anlık Kurutma Hızının Boyutsuz Nem Oranına göre 0,7 m/s Hava Hızı için USZ ve USL Etkileri

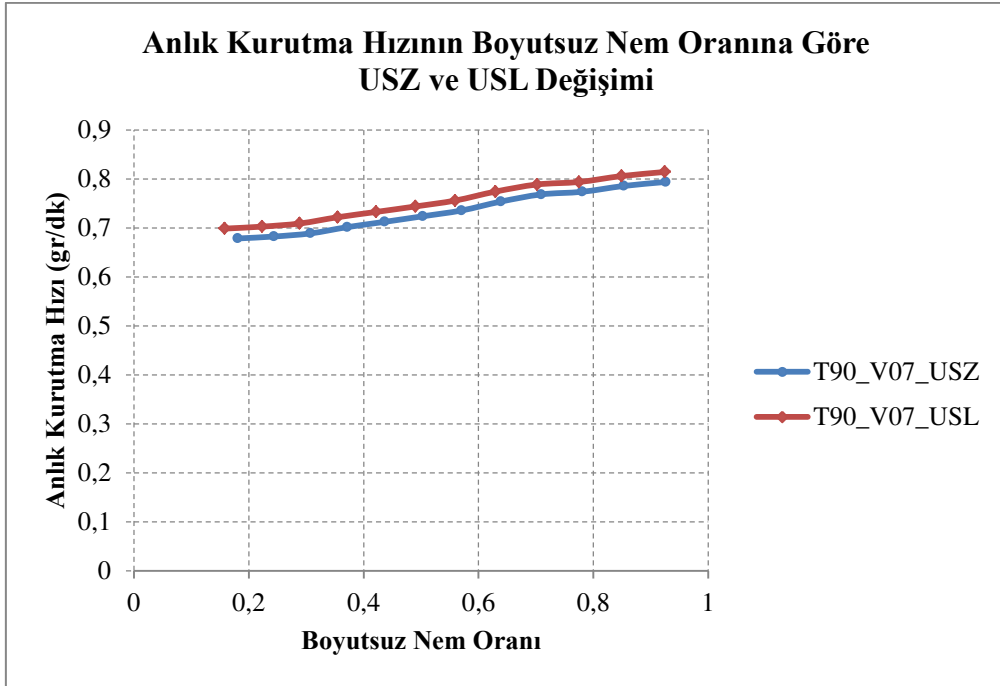
Kurutma işlemi sırasında anlık kurutma hızı ile malzeme içindeki boyutsuz nem oranı arasında bir bağıntı olduğu düşünülmektedir. Bu yaklaşımın sonuçları zamana bağlı bozucu etkilerden arındırılmış olarak daha yalın bir şekilde görülmesine olanak tanıyacağı düşünülmektedir. Her bir sıcaklık değeri için 0,7 m/s hava hızı koşullarında yapılan kurutma işlemlerine ait sonuçlar Şekil 29, Şekil 30 ve Şekil 31 arasında verilmiştir.



Şekil 29. 40°C sıcaklık ve 0,7 m/s hava hızında anlık kuruma hızının boyutsuz nem oranına göre ultra ses üretici kullanılarak ve ultra ses üretici kullanılmadan incelemesi



Şekil 30. 60°C sıcaklık ve 0,7 m/s hava hızında anlık kuruma hızının boyutsuz nem oranına göre ultra ses üretici kullanılarak ve ultra ses üretici kullanılmadan incelemesi



Şekil 31. 90°C sıcaklık ve 0,7 m/s hava hızında anlık kuruma hızının boyutsuz nem oranına göre ultra ses üretici kullanılarak ve ultra ses üretici kullanılmadan incelemesi

Anlık kuruma hızı değerlerinin ultra ses uygulanan ve ultra ses uygulanmadan yapılan deneylerde 0,4 m/s kurutma hızındakine benzer şekilde ultra ses uygulanmış deneylerde daha yüksek olduğu görülmüştür. Ultra ses etkisinin, sıcaklık ve hız artışının kurutma üzerindeki kombine etkisi ele alındığında, artan sıcaklık ve hızla azaldığı ve kuruma hızı üzerine belirgin bir atış göstermediği görülmüştür. Öte yandan 0,4 m/s kurutma havası hızı ile yapılan ölçüm sonuçları ile karşılaştırıldığında hız değişim ivmelerinin yüksek hava hızı ile yapılan kurutma işleminde hem ultra ses uygulanarak hem de ultra ses uygulanmadan yapılan ölçümlerde daha düşük olduğu görülmüştür.



4. SONUÇLAR ve TARTIŞMA

40 °C kurutma havası sıcaklığı için 0,4 m/s hız ile yapılan ölçümlerde kuru ağırlığı 23,1 gram olan ham yün ıslatılmış ve 75 gram olduğunda ölçümler yapılmıştır. Yapılan 60 dakikalık bu ölçüm sonrasında her 5 dakikada bir ölçüm yapılmış olup belirlenen süre sonunda malzenin ağırlığı 49 gram olmuştur. 26 gram ağırlığında ki ham yünden uzaklaştırılan ıslaklık ultra ses üretici olmadan yapılan kurutma miktarımız olup referans alınan bu değer aynı işlem de ultra ses üreteçli deneylerin kıyaslamasında kullanılmıştır. 40 °C kurutma havası sıcaklığı için 0,4 m/s hız ile yapılan ölçümlerde kuru ağırlığı 23,1 gram olan ham yün tekrardan ıslatılmış ve 75 gram değerine ulaştığında ölçümler ultra ses üretici devreye alınarak tekrarlanmıştır. Islak ham yünden 200 mm uzaklıktaki ses üreticiden 20 kHz frekansında titreşimler dik açıyla ıslak ham yüne iletilirken 60 dakikalık deneyde 5 dakika aralıklar ile tekrardan elde edilen değerler C+ programına kodladığımız yazılım üzerinden okunmuştur. Belirlenen süre sonunda 40,8 gram ağırlığına ulaşan ıslak ham yünümüzde ultra ses üretici devredeyken toplamda 34,2 gram kurutma miktarı elde edilmiştir. Ultra ses üretici sisteme dahil edildiğinde ilk ölçüme oranla 8,2 gram daha fazla kuruma gerçekleştiği gözlemlenmiştir. Yüzdesel olarak 9,33 fayda sağlandığı ilk ölçüm aralığımızda ortaya çıkmakta olup Şekil 11' de belirtilmiştir.

Sıcaklığımızı sabit tutarak 40 °C kurutma havası sıcaklığı için hava akış hızımızı yükseltip 0,7 m/s hız ile ölçümler tekrarlanmıştır. Yapılan ölçümlerde kuru ağırlığı 23,1 gram olan ham yün ıslatılmış ve 75 gram olduğunda ölçümler yapılmıştır. Yapılan 60 dakikalık bu ölçüm sonrasında her 5 dakikada bir ölçüm yapılmış olup belirlenen süre sonunda malzenin ağırlığı 40,6 gram olmuştur. 34,4 gram ağırlığında ki ham yünden uzaklaştırılan ıslaklık ultra ses üretici olmadan yapılan kurutma miktarımız olup referans alınan bu değer aynı işlem de ultra ses üreteçli deneylerin kıyaslamasında kullanılmıştır. 40 °C kurutma havası sıcaklığı için 0,7 m/s hız ile yapılan ölçümlerde kuru ağırlığı 23,1 gram olan ham yün tekrardan ıslatılmış ve 75 gram değerine ulaştığında ölçümler ultra ses üretici devreye alınarak tekrarlanmıştır. Islak ham yünden 200 mm uzaklıktaki ses üreticiden 20 kHz frekansında titreşimler dik açıyla ıslak ham yüne iletilirken 60 dakikalık deneyde 5 dakika aralıklar ile tekrardan elde edilen değerler C+ programına

kodladığımız yazılım üzerinden okunmuştur. Belirlenen süre sonunda 36,5 gram ağırlığına ulaşan ıslak ham yünümüzde ultra ses üretici devredeyken toplamda 38,5 gram kurutma miktarı elde edilmiştir. Ultra ses üretici sisteme dahil edildiğinde ilk ölçüme oranla 4,1 gram daha fazla kuruma gerçekleştiği gözlemlenmiştir. Yüzdesel olarak 5,46 fayda sağlandığı ilk ölçüm aralığımızda ortaya çıkmakta olup Şekil 14’ de belirtilmiştir.

Buradan ulaşılan sonuç ile ilgili ulaştığımız veriler doğrultusunda ultra ses üreticinin 40 °C kurutma havası için her iki hava hızı durumunda da fayda sağladığı gözlemlenmiş olup hava akış hızının artması ultra ses üreticinin verimi üzerine olumsuz bir etki yaratmıştır. 0,4 m/s hızda yüzdesel olarak 9,33 fayda sağlanmaktayken 0,7 m/s hızda yüzdesel olarak 5,46 fayda sağlamıştır. Bu durumda 0,4 m/s hızda ultra ses üreticinin kurutmaya sağladığı faydanın daha fazla olduğu gözlemlenmiştir.

60 °C kurutma havası sıcaklığı için 0,4 m/s hız ile yapılan ölçümlerde kuru ağırlığı 23,1 gram olan ham yün ıslatılmış ve 75 gram olduğunda ölçümler yapılmıştır. Yapılan 60 dakikalık bu ölçüm sonrasında her 5 dakikada bir ölçüm yapılmış olup belirlenen süre sonunda malzenin ağırlığı 41,8 gram olmuştur. 33,2 gram ağırlığında ki ham yünden uzaklaştırılan ıslaklık ultra ses üretici olmadan yapılan kurutma miktarımız olup referans alınan bu değer aynı işlem de ultra ses üreteçli deneylerin kıyaslamasında kullanılmıştır. 60 °C kurutma havası sıcaklığı için 0,4 m/s hız ile yapılan ölçümlerde kuru ağırlığı 23,1 gram olan ham yün tekrardan ıslatılmış ve 75 gram değerine ulaştığında ölçümler ultra ses üretici devreye alınarak tekrarlanmıştır. Islak ham yünden 200 mm uzaklıktaki ses üreticiden 20 kHz frekansında titreşimler dik açıyla ıslak ham yüne iletilirken 60 dakikalık deneyde 5 dakika aralıklar ile tekrardan elde edilen değerler C+ programına kodladığımız yazılım üzerinden okunmuştur. Belirlenen süre sonunda 36,4 gram ağırlığına ulaşan ıslak ham yünümüzde ultra ses üretici devredeyken toplamda 38,6 gram kurutma miktarı elde edilmiştir. Ultra ses üretici sisteme dahil edildiğinde ilk ölçüme oranla 5,4 gram daha fazla kuruma gerçekleştiği gözlemlenmiştir. Yüzdesel olarak 7,2 fayda sağlandığı ilk ölçüm aralığımızda ortaya çıkmakta olup Şekil 12’ de belirtilmiştir.

Sıcaklığımızı sabit tutarak 60 °C kurutma havası sıcaklığı için hava akış hızımızı yükseltip 0,7 m/s hız ile ölçümler tekrarlanmıştır. Yapılan ölçümlerde kuru ağırlığı 23,1 gram olan ham yün ıslatılmış ve 75 gram olduğunda ölçümler yapılmıştır. Yapılan 60 dakikalık bu ölçüm sonrasında her 5 dakikada bir ölçüm yapılmış olup belirlenen süre

sonunda malzenin ağırlığı 35,6 gram olmuştur. 39,4 gram ağırlığında ki ham yünden uzaklaştırılan ıslaklık ultra ses üretici olmadan yapılan kurutma miktarımız olup referans alınan bu değer aynı işlem de ultra ses üreteçli deneylerin kıyaslamasında kullanılmıştır. 60 °C kurutma havası sıcaklığı için 0,7 m/s hız ile yapılan ölçümlerde kuru ağırlığı 23,1 gram olan ham yün tekrardan ıslatılmış ve 75 gram değerine ulaştığında ölçümler ultra ses üretici devreye alınarak tekrarlanmıştır. Islak ham yünden 200 mm uzaklıktaki ses üreticiden 20 kHz frekansında titreşimler dik açıyla ıslak ham yüne iletilirken 60 dakikalık deneyde 5 dakika aralıklar ile tekrardan elde edilen değerler C+ programına kodladığımız yazılım üzerinden okunmuştur. Belirlenen süre sonunda 33,1 gram ağırlığına ulaşan ıslak ham yünümüzde ultra ses üretici devredeyken toplamda 41,9 gram kurutma miktarı elde edilmiştir. Ultra ses üretici sisteme dahil edildiğinde ilk ölçüme oranla 2,5 gram daha fazla kuruma gerçekleştiği gözlemlenmiştir. Yüzdesel olarak 3,33 fayda sağlandığı ilk ölçüm aralığımızda ortaya olup Şekil 15’ de belirtilmiştir.

Buradan ulaşılan sonuç ile ilgili ulaştığımız veriler doğrultusunda ultra ses üreticinin 60 °C kurutma havası için her iki hava hızı durumunda da fayda sağladığı gözlemlenmiş olup hava akış hızının artması ultra ses üreticinin verimi üzerine olumsuz bir etki yaratmıştır. 0,4 m/s hızda yüzdesel olarak 7,2 fayda sağlanmaktayken 0,7 m/s hızda yüzdesel olarak 3,33 fayda sağlamıştır. Bu durumda 0,4 m/s hızda ultra ses üreticinin kurutmaya sağladığı faydanın daha fazla olduğu gözlemlenmiştir.

90 °C kurutma havası sıcaklığı için 0,4 m/s hız ile yapılan ölçümlerde kuru ağırlığı 23,1 gram olan ham yün ıslatılmış ve 75 gram olduğunda ölçümler yapılmıştır. Yapılan 60 dakikalık bu ölçüm sonrasında her 5 dakikada bir ölçüm yapılmış olup belirlenen süre sonunda malzenin ağırlığı 35,7 gram olmuştur. 39,3 gram ağırlığında ki ham yünden uzaklaştırılan ıslaklık ultra ses üretici olmadan yapılan kurutma miktarımız olup referans alınan bu değer aynı işlem de ultra ses üreteçli deneylerin kıyaslamasında kullanılmıştır. 90 °C kurutma havası sıcaklığı için 0,4 m/s hız ile yapılan ölçümlerde kuru ağırlığı 23,1 gram olan ham yün tekrardan ıslatılmış ve 75 gram değerine ulaştığında ölçümler ultra ses üretici devreye alınarak tekrarlanmıştır. Islak ham yünden 200 mm uzaklıktaki ses üreticiden 20 kHz frekansında titreşimler dik açıyla ıslak ham yüne iletilirken 60 dakikalık deneyde 5 dakika aralıklar ile tekrardan elde edilen değerler C+ programına kodladığımız yazılım üzerinden okunmuştur. Belirlenen süre sonunda 32,1 gram ağırlığına ulaşan ıslak ham yünümüzde ultra ses üretici devredeyken toplamda 42,9 gram kurutma

miktarı elde edilmiştir. Ultra ses üretici sisteme dahil edildiğinde ilk ölçüme oranla 3,6 gram daha fazla kuruma gerçekleştiği gözlemlenmiştir. Yüzdesel olarak 4,8 fayda sağlandığı ilk ölçüm aralığımızda ortaya olup Şekil 13’ de belirtilmiştir.

Sıcaklığımızı sabit tutarak 90 °C kurutma havası sıcaklığı için hava akış hızımızı yükseltip 0,7 m/s hız ile ölçümler tekrarlanmıştır. Yapılan ölçümlerde kuru ağırlığı 23,1 gram olan ham yün ıslatılmış ve 75 gram olduğunda ölçümler yapılmıştır. Yapılan 60 dakikalık bu ölçüm sonrasında her 5 dakikada bir ölçüm yapılmış olup belirlenen süre sonunda malzenin ağırlığı 31 gram olmuştur. 44 gram ağırlığında ki ham yünden uzaklaştırılan ıslaklık ultra ses üretici olmadan yapılan kurutma miktarımız olup referans alınan bu değer aynı işlem de ultra ses üreteçli deneylerin kıyaslamasında kullanılmıştır. 90 °C kurutma havası sıcaklığı için 0,7 m/s hız ile yapılan ölçümlerde kuru ağırlığı 23,1 gram olan ham yün tekrardan ıslatılmış ve 75 gram değerine ulaştığında ölçümler ultra ses üretici devreye alınarak tekrarlanmıştır. Islak ham yünden 200 mm uzaklıktaki ses üreticiden 20 kHz frekansında titreşimler dik açıyla ıslak ham yüne iletilirken 60 dakikalık deneyde 5 dakika aralıklar ile tekrardan elde edilen değerler C+ programına kodladığımız yazılım üzerinden okunmuştur. Belirlenen süre sonunda 29,8 gram ağırlığına ulaşan ıslak ham yünümüzde ultra ses üretici devredeyken toplamda 45,2 gram kurutma miktarı elde edilmiştir. Ultra ses üretici sisteme dahil edildiğinde ilk ölçüme oranla 1,2 gram daha fazla kuruma gerçekleştiği gözlemlenmiştir. Yüzdesel olarak 1,6 fayda sağlandığı ilk ölçüm aralığımızda ortaya olup Şekil 16’ da belirtilmiştir.

Buradan ulaşılan sonuç ile ilgili ulaştığımız veriler doğrultusunda ultra ses üreticinin 90 °C kurutma havası için her iki hava hızı durumunda da fayda sağladığı gözlemlenmiş olup hava akış hızının artması ultra ses üreticinin verimi üzerine olumsuz bir etki yaratmıştır. 0,4 m/s hızda yüzdesel olarak 4,8 fayda sağlanmaktayken 0,7 m/s hızda yüzdesel olarak 1,6 fayda sağlamıştır. Bu durumda 0,4 m/s hızda ultra ses üreticinin kurutmaya sağladığı faydanın daha fazla olduğu gözlemlenmiştir.

İlk izlencelerimiz hava hızının ultra ses üreticine olan etkilerini incelerken kurutma havası sıcaklığında meydana gelen artışın da ultra ses üreticinin verimi üzerine yaptığı değişiklikler gözlemlenmiştir. 0,4 m/s hava akış hızı ve 40 °C kurutma havası sıcaklığı için ultra ses üretici kullanılmadan yapılan deneyde ulaşılan global kuruma yüzdesi 34,65 iken aynı değerlerde ultra ses üretici devreye alındıktan sonra deneyde kuruma yüzdesi 45,58

olarak ölçülmüştür. Ultra ses üreteçli deneyde elde edilen değer, ultra ses üreteci kullanılmadan elde edilen değere oranla yüzdesel olarak 10,93 daha iyidir. 0,4 m/s hava akış hızı ve 60 °C kurutma havası sıcaklığı için ultra ses üreteci kullanılmadan yapılan deneyde ulaşılan global kuruma yüzdesi 44,23 iken aynı değerlerde ultra ses üreteci devreye alındıktan sonra deneyde kuruma yüzdesi 51,43 olarak ölçülmüştür. Ultra ses üreteçli deneyde elde edilen değer, ultra ses üreteci kullanılmadan elde edilen değere oranla yüzdesel olarak 7,2 daha iyidir. 0,4 m/s hava akış hızı ve 90 °C kurutma havası sıcaklığı için ultra ses üreteci kullanılmadan yapılan deneyde ulaşılan global kuruma yüzdesi 52,36 iken aynı değerlerde ultra ses üreteci devreye alındıktan sonra deneyde kuruma yüzdesi 57,16 olarak ölçülmüştür. Ultra ses üreteçli deneyde elde edilen değer, ultra ses üreteci kullanılmadan elde edilen değere oranla yüzdesel olarak 4,8 daha iyidir. Bu doğrultuda kurutma sıcaklığımız arttıkça ultra ses üretecimizden alınan verim düşmekte olup Şekil 23’ de belirtilmiştir.

0,7 m/s hava akış hızı ve 40 °C kurutma havası sıcaklığı için ultra ses üreteci kullanılmadan yapılan deneyde ulaşılan global kuruma yüzdesi 45,84 iken aynı değerlerde ultra ses üreteci devreye alındıktan sonra deneyde kuruma yüzdesi 51,29 olarak ölçülmüştür. Ultra ses üreteçli deneyde elde edilen değer, ultra ses üreteci kullanılmadan elde edilen değere oranla yüzdesel olarak 5,45 daha iyidir. 0,7 m/s hava akış hızı ve 60 °C kurutma havası sıcaklığı için ultra ses üreteci kullanılmadan yapılan deneyde ulaşılan global kuruma yüzdesi 52,49 iken aynı değerlerde ultra ses üreteci devreye alındıktan sonra deneyde kuruma yüzdesi 55,82 olarak ölçülmüştür. Ultra ses üreteçli deneyde elde edilen değer, ultra ses üreteci kullanılmadan elde edilen değere oranla yüzdesel olarak 3,33 daha iyidir. 0,7 m/s hava akış hızı ve 90 °C kurutma havası sıcaklığı için ultra ses üreteci kullanılmadan yapılan deneyde ulaşılan global kuruma yüzdesi 58,65 iken aynı değerlerde ultra ses üreteci devreye alındıktan sonra deneyde kuruma yüzdesi 60,27 olarak ölçülmüştür. Ultra ses üreteçli deneyde elde edilen değer, ultra ses üreteci kullanılmadan elde edilen değere oranla yüzdesel olarak 1,62 daha iyidir. Bu doğrultuda kurutma hızımız arttıkça ultra ses üretecimizden alınan verim düşmekte olup Şekil 24’ de belirtilmiştir.

0,4 m/s ile 0,7 m/s kurutma hızlarında sıcaklık artınca meydana gelen kayıplar literatür ile örtüşmekte olup kullanılan denklemlerin ve deney düzeneğinden alınan verilerin doğruluğunu bizlere göstermiştir. Hem kurutma sıcaklığının artışı hemde kurutma hava hızının artışı ultra ses üretecinin verimi üzerinde olumsuz etki yapmış olup daha düşük

kurutma sıcaklıklarında ve daha düşük hava akış hızında kullanılabilirliğini bizlere göstermiş olup Şekil 25’ de belirtilmiştir.



5. ÖNERİLER

- Ultra ses üreticinin kurutma numunesine olan mesafesi parametrize edilerek geniş bir ölçüm aralığında deneylerin tekrarlanması ultra ses destekli kurutma performansının ses kaynağı ile kurutma numunesi arasındaki hava köprüsü kalınlığı ile değişimi konusunda fikir vermesi açısından faydalı olabilir.
- Deneylerin farklı frekanslara sahip aynı güçteki ve aynı ses yayıcı eleman tipindeki ses üreteçleri ile tekrarlanması ses frekansının kurutma üzerine olan etkileri konusunda fikir edilebilmesine yardımcı olacaktır.
- Kurutma havası sıcaklığının yükselmesi ile ultra ses etkilerinin zayıfladığı görülmüş olup deneylerin 10°C, 20°C ve 30°C hava sıcaklık değerleri için tekrarlanması daha geniş bir aralıkta ultra ses etkilerinin değerlendirilmesine olanak tanıyacaktır.

KAYNAKLAR

- [1] **Vega-Mercado, H., Góngora-Nieto, M. M., and Barbosa-Cánovas, G. V.** (2001). *Advances in dehydration of foods. Journal of Food Engineering*, **49**, 271–289.
- [2] **Cárcel, J. A., García-Pérez, J. V., Riera, E., and Mulet, A.** (2007a). Influence of high-intensity ultrasound on drying kinetics of persimmon. *Drying Technology*, **25**, 185–193.
- [3] **Mulet, A., Sanjuán, N., Bon, J., and Simal, S.,** (1999). Drying model of highly porous hemispherical bodies. *European Food Research and Technology*, **210**, 80–83.
- [4] **Chou, S. K., and Chua, K. J.** (2001). New hybrid drying technologies for heat sensitive foodstuffs. *Trends in Food Science and Technology*, **12**, 359–369.
- [5] **Turner, I. W., and Jolly, P.** (1991). Combined microwave and convective drying of a porous material. *Drying Technology*, **9**, 1209–1270.
- [6] **Cárcel, J. A., Benedito, J., Rosselló, C., and Mulet, A.** (2007c). Influence of ultrasound intensity on mass transfer in apple immersed in a sucrose solution. *Journal of Food Engineering*, **78**, 472–479.
- [7] **García-Pérez, J. V., Cárcel, J. A., de la Fuente-Blanco, S., Riera-Franco de Sarabia, E.** (2006a). *Ultrasonic drying of foodstuff in a fluidized bed: Parametric study. Ultrasonics*, **44**, 539–543.
- [8] **Tüfekçi, S. ve Özkal, S. G.,** 2015. Gıdaların kurutulmasında ultra ses kullanımı, *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, **21** (9), 408-413.
- [9] **Sabarez, H. T., Gallego-Juarez, J.A. and Riera, E.,** 2012. Ultrasonic-assisted convective drying of apple slices, *Drying Technology*, **30**, 989-997.
- [10] **Garcia-Perez, J. V., Ozuna, C., Ortuno, C., Carcel, J. A. and Mulet, A.,** 2011. Modeling ultrasonically assisted convective drying of eggplant, *Drying Technology*, **29**, 1499-1509.
- [11] **Kouchakzadeh, A. and Ghobadi, P.,** 2012. Modeling of ultrasonic-convective drying of pistachios, *Agricultural Engineering International*, **14** (4), 144-149.
- [12] **Garcia-Perez, J. V., Carcel, J. A., Riera, E., Rossello, C. and Mulet, A.,** 2012. Intensification of low-temperature drying by using ultrasound, *Drying Technology*, **30**, 1199-1208.

- [13] **Fuente-Blanco, S., Sarabia, E. R., Acosta-Aparicio, V. M., Blanco, A. And Gallego- Juarez, J. A.,** 2006. Food drying process by power ultrasound, *Ultrasonics*, **44**, 523- 527.
- [14] **Fernandes, F. A. N. and Rodrigues, S.,** 2008. Application of ultrasound and ultrasound-assisted osmotic dehydration in drying of fruits, *Drying Technology*, **26**, 1509 1516.
- [15] **Garcia-Noguera, J., Oliveira, F. I. P., Gallao, M. I., Weller, C. L., Rodrigues, S. and Fernandes, F. A. N.,** 2010. Ultrasound-assisted osmotic dehydration of strawberries: Effect of pretreatment time and ultrasonic frequency, *Drying Technology*, **28**, 294-303.
- [16] **Fernandes, F. A. N. and Rodrigues, S.,** 2007. Ultrasound as pre-treatment for drying of fruits: Dehydration of banana, *Journal of Food Engineering*, **82**, 261-267.
- [17] **Soria, A. C., Corzo-Martinez, M., Montilla, A., Riera, E., Gamboa-Santos, J. and Villamiel, M.,** 2010. Chemical and physicochemical quality parameters in carrots dehydrated by power ultrasound, *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, **58**, 7715 7722.
- [18] **Schössler, K., Jäger, H. and Knorr, D.,** 2008. Effect of continuous and intermittent ultrasound on drying time and effective diffusivity during convective drying of apple and red bel pepper, *Journal of Food Engineering*, **108**, 103-110.
- [19] **Fernandes, F. A. N., Oliviera, F. I. P. and Rodrigues, S.,** 2008. Use of ultrasound for dehydration of papayas, *Food and Bioprocess Technology*, **1**, 339-345.
- [20] **Fan, K., Zhang, M. And Mujumdar, A. S.,** 2017. Application of airborne ultrasound in the convective drying of fruits and vegetables: A review, *Ultrasonics – Sonochemistry*, **39**, 47-57.
- [21] **Topdaş, E. F. And Ertugay, M. F.,** 2013. Kayısıların ultra ses yardımlı ozmotik kurutulması, *Gıda*, **38 (5)**, 299-306.
- [22] **Fijalkowska, A., Nowacka, M., Wiktor, A., Sledz, M. and Witrowa-Rajchert, D.,** 2016. Ultrasound as a pretreatment method to improve drying kinetics and sensory properties of dried apple, *Journal of Food Process Engineering*, **39**, 256-265.

- [23] **García-Pérez, J.V., Rosselló, C., Cárcel, J.A., De la Fuente, S. and Mulet, A.,** 2006. Effect of air temperature on convective drying assisted by high power ultrasound, *Defect and Diffusion Forum*, **258-260**, 563-574.
- [24] **Gallego-Juarez, J. A.,** 2010. High-power ultrasonic processing: recent developments and prospective advances, *Physics Procedia*, **3**, 35–47
- [25] **İcier, F., Yıldız, H., Eroğlu, S., Sabancı, S. and Eroğlu, E.,** 2013. Ayva dilimlerinin ozmotik kurutulmasında elektriksel ve ultrasonik ön işlemlerin etkileri, *Akademik Gıda*, **11 (2)**, 60-69.
- [26] **Tüfekçi, S. ve Özkal, S. G.,** 2018. Ultra ses ön işleminin havuç dilimlerinin kuruma karakteristikleri üzerine etkisi, *Akademik Gıda*, **16 (1)**, 11-19.
- [27] **Topdaş, E. F., Başlar, M. ve Ertugay, M. F.,** 2011. Elmaların ozmotik kurutulması üzerine ultra ses işleminin etkisi, *Akademik Gıda*, **9 (5)**, 6-10.
- [28] **Salleh-Mack SZ, Roberts JS. 2007.** Ultrasound pasteurization: The effects of temperature, soluble solids, organic acids and pH on the inactivation of *Escherichia coli* ATCC 25922, *Ultrasonics Sonochem*, **14**, 323-329.
- [29] **Ugarte-Romero E, Feng H, Martin SE, Cadwallader KR, Robinson SJ. 2006.** Inactivation of *Escherichia coli* with power ultrasound in apple cider. *J of Food Sci*, **71**, 102-108.
- [30] **Baumann AR, Martin SE, Feng H. 2005.** Power ultrasound treatment of *Listeria monocytogenes* in apple cider. *J of Food Protect*, **68**, 2333-2340.
- [31] **Bayraktaroglu G, Obuz E. 2006.** Ultrasound yönteminin ilkeleri ve gıda endüstrisinde kullanımı. 9. Gıda Kongresi, 24-26 Mayıs, Bolu, Türkiye, 57-60.
- [32] **Ananta E, Voigt D, Zenker M, Heinz V, Knorr D.2005.** Cellular injuries upon exposure of *Escherichiacoli* and *L.rhamnosus* to high-intensity ultrasound. *J Applied Microbiol*, **99**, 271-278.
- [33] **Sala FJ, Burgos J, Condon S, Lopez P, Raso J. 1995.** Effect of heat and ultrasounds on microorganisms and enzymes. In G. W. Gould (Ed.), *New Methods of Food Preservation* (pp. 176-204). Glasgow: Blackie
- [34] **Kadkhodae R, Povey MJW. 2008.** Ultrasonic inactivation of *Bacillus a-amylase*. I. Effect of gas content and emitting face of probe. *Ultrasonics Sonochem*, **15 (2)**, 133-142.

- [35] **Feng H.** 2010. Ultrasound technology in food processing and preservation. *11th International Congress on Food Technology, November 03-06, Antalya, Turkey*, **60**.
- [36] **Feng H, Yang W,** 2005. Power ultrasound. In Y. H. Hui (Ed.), *Handbook of Food Science, Technology, and Engineering* (pp. 3632). New York: CRC Press.
- [37] **Valero M, Recrosio N, Saura D, Munoz N, Martic N, Lizama V.** 2007. Effects of ultrasonic treatments in orange juice processing. *J of Food Engineer*, **80**, 509-516.
- [38] **Cheng LH, Soh CY, Liew SC, Teh FF.** 2007. Effects of sonication and carbonation on guava juice quality. *Food Chem*, **104**, 1396-1401.
- [39] **Jiranek V, Grbin P, Yap A, Barnes M, Bates D.** 2008. High power ultrasonics as a novel tool offering new opportunities for managing wine microbiology. *Biotechnol Letters*, **30**, 1-6.
- [40] **Piyasena P, Mohareb E, McKellar RC.** 2003. Inactivation of microbes using ultrasound: A review. *Int J of Food Microbiol*, **87**, 207-216.
- [41] **Fellows P.** 2000. Processing using electric fields, high hydrostatic pressure, light or ultrasound. In: *Food Processing Technology Principle and Practice*. CRC Pres, Boca Raton Boston NY Washington, DC.
- [42] **Mason T, Riera E, Vercet A, Lopez-Buesa P.** 2005. Application of ultrasound. In D. W. Sun (Ed.), *Emerging Technologies For Food Processing* (pp. 323-350). *California: Elsevier Academic Press*.
- [43] **Soria AC, Villamiel M.** 2010. Effect of ultrasound on the technological properties and bioactivity of food: A review. *Trends in Food Sci & Technol*, **21**, 323-331.
- [44] **Mulet, A., Cárcel, J. A., Sanjuán, N., and Bon, J.** (2003). New food drying technologies – use of ultrasound. *Food Science and Technology International*, **9**, 215–221.
- [45] **Mason, T. J., Riera, E., Vercet, A., and Lopez-Buesa, P.** (2005). Applications of ultrasound. In: Sun, D. (ed.), *Emerging technologies for food processing*, pp. 323–351. Amsterdam, Elsevier.
- [46] **Mason, T. J.** (1998). Power ultrasound in food processing. The way forward. In: Povey, M. J. W., and Mason, T. J. (eds.), *Ultrasound in food processing*, pp. 105–126. London, Chapman and Hall.

- [47] **Mason, T. J., and Lorimer, J. P.** (2002). *Applied sonochemistry. The uses of power ultrasound in chemistry and processing*. Weinheim, Wiley-VCH.
- [48] **Leighton, T. G.** (1998). The principles of cavitation. In: Povey, M. J. W., and Mason, T. J. (eds.), *Ultrasound in food processing*, pp. 155–182. London, Chapman and Hall.
- [49] **Pugin, B., and Turner, A. T.** (1990). Influence of ultrasound on reaction with metals. In: Mason, T. J. (ed.), *Advances in sonochemistry*, pp. 81–118. London, JAI Press.
- [50] **Borisov, Y. Y., and Gynkina, N. M.** (1973). Acoustic drying. In: Rosenger, L. D. (ed.), *Physical principles of ultrasonic technology*, Vol. 2, pp. 381–474. New York, NY, Plenum Press.
- [51] **Floros, J. D., and Liang, H.** (1994). Acoustically assisted diffusion through membranes and biomaterials. *Food Technology*, December, 79–84.
- [52] **Gallego-Juárez, J. A., Rodríguez-Corral, G., Gálvez-Moraleda, J. C., and Yang, T. S.** (1999). A new high intensity ultrasonic technology for food dehydration. *Drying Technology*, **17**, 597–608.
- [53] **Muralidhara, H. S., Ensminger, D. and Putnam, A.** (1985). Acoustic dewatering and drying (low and high frequency): State of the art review. *Drying Technology*, **3**, 529–566.
- [54] **Cárcel, J. A., Cortés, I., Clemente, G., and Mulet, A.** (2002). Influencia de los ultrasonidos de potencia en la transferencia de calor por convección. *Symposium on Emerging Technologies for the Food Industry*, pp. 11–13, March, Madrid, Spain.
- [55] **Lima, M., and Sastry, S. K.** (1990). Influence of fluid rheological properties and particle location on ultrasound-assisted heat transfer between liquid and particles. *Journal of food Science*, **55**, 1112–1115.
- [56] **Sastry, S. K., Shen, G. Q., and Baisdell, J. L.** (1989). Effect of ultrasonic vibration on fluid-toparticle convective heat transfer coefficients. *Journal of Food Science*, **54**, 229–230.
- [57] **Li, B. and Sun, D. W.** (2002). Effect of power ultrasound on freezing rate during immersion freezing of potatoes. *Journal of Food Engineering*, **55**, 277–282.

- [58] **Zheng, L., and Sun, D.W.** (2006). Innovative applications of power ultrasound during food freezing processes – a review. *Trends in Food Science and Technology*, **17**, 16–23.
- [59] **Li, J.W., Ding, S. D., and Ding, X. L.** (2007). Optimization of the ultrasonically assisted extraction of polysaccharides from *Zizyphus jujuba* cv. Jinsixiaozao. *Journal of Food Engineering*, **80**, 176–183.
- [60] **Romdhane, M., and Gourdon, C.** (2002). Investigation in solid-liquid extraction: Influence of ultrasound. *Chemical Engineering Journal*, **87**, 11–19.
- [61] **Vinatoru, M., Toma, M., Radu, O., Filip, P. I., Lazurca, D., and Mason T.J.** (1997). The use of ultrasound for the extraction of bioactive principles from plant materials. *Ultrasonics Sonochemistry*, **4**, 135–139.
- [62] **Da Mota, V. M., and Palau, E.** (1999). Acoustic drying of onion. *Drying Technology*, **17**, 855–867.
- [63] **García-Pérez, J. V., Rosselló, C., Cárcel, J. A., de la Fuente, S. and Mulet, A.** (2006b). Effect of air temperature on convective drying assisted by high power ultrasound. *Defect and Diffusion Forum*, 258–260, 563–574.
- [64] **Raso, J., Mañas, P., Pagán, R., and Sala, F. J.** (1999). Influence of different factor son the output power transferred into medium by ultrasound. *Ultrasonics Sonochemistry*, **5**, 157–162.
- [65] **Gallego-Juárez, J. A.** (1998). Some applications of air-borne power ultrasound to food processing. In: Povey, M. J. W., and Mason, T. J. (eds.), *Ultrasound in food processing*, pp. 127–143. London, Chapman and Hall.
- [66] **Raviyan P, Zhang Z, Feng H.** 2005. Ultrasonication for tomato pectinmethylesterase inactivation: Effect of cavitation intensity and temperature on inactivation. *J Food Eng*, **70**, 189-196.
- [67] **Mason TJ, Lorimer JP.** 1988. General principles. In *Sonochemistry: Theory, Applications and Uses of Ultrasound in Chemistry*, (Eds. T. J. Mason & J. P. Lorimer). Ellis Horwood: *Chichester*, pp. 17-63.

ÖZGEÇMİŞ

Göktuğ KAYIŞ, 18 Nisan 1992 yılında Malatya’ da doğmuştur. İlköğrenimini Hacı Ahmet Akıncı İlkokulun’ da tamamlamıştır. Orta öğrenimini Hayrettin Sönmezay İlkokulun’ da gördükten sonra, 2006 yılında Hacı Ahmet Akıncı Lisesi’ de eğitim almıştır. 2011 yılında Fırat Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Makine Mühendisliği bölümüne kayıt yaptırmıştır. 2015 yılında Makine Mühendisliği eğitimini tamamlamış olup aynı yıl Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Teknolojileri Anabilim Dalı, Termodinamik ve Isı Tekniği alanında lisansüstü eğitime başlamıştır. Isı yalıtım sistemleri üzerine üretim yapan özel bir firmada iş hayatına başlamış olup Fırat Üniversitesinde Lisansüstü eğitime devam etmektedir.