

**T.C.
SÜLEYMAN DEMİREL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ULTRASES ÖN İŞLEMİYLE SICAK HAVA VE MİKRODALGA SİSTEMLERİNDE
KURUTULAN ELMA DİLİMLERİNİN KALİTE ÖZELLİKLERİNİN
BELİRLENMESİ**

Zeliha Gözde KAYA

**Danışman
Dr. Öğr. Üyesi Alper KUŞÇU**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
GIDA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
ISPARTA – 2019**



© 2019 [Zeliha Gözde KAYA]

TEZ ONAYI

Zeliha Gözde KAYA tarafından hazırlanan "Ultrases n İşlemiyle Sıcak Hava ve Mikrodalga Sistemlerinde Kurutulan Elma Dilimlerinin Kalite zelliklerinin Belirlenmesi" adlı tez çalışması aşağıdaki jüri yeleri önünde Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Gıda Mühendisliğı Anabilim Dalı'nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak başarı ile savunulmuştur.

Danışman

Dr. Öğretim yesi Alper KUşÇU
Süleyman Demirel Üniversitesi



Jüri yesi

Prof. Dr. Ahmet Kamil BAYHAN
Isparta Uygulamalı Bilimler Üniversitesi



Jüri yesi

Doç. Dr. Erkan KARACABEY
Süleyman Demirel Üniversitesi



Enstitü Müdürü

Doç. Dr. şule Sultan UğUR

.....

TAAHHÜTNAME

Bu tezin akademik ve etik kurallara uygun olarak yazıldığını ve kullanılan tüm literatür bilgilerinin referans gösterilerek tezde yer aldığını beyan ederim.

Zeliha Gözde KAYA



İÇİNDEKİLER

	Sayfa
İÇİNDEKİLER.....	i
ÖZET	iii
ABSTRACT	vi
TEŞEKKÜR	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ	viii
ÇİZELGELER DİZİNİ	x
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xi
1. GİRİŞ.....	1
2. KAYNAK ÖZETLERİ	5
2.1. Elma (Starking delicious) Meyvesi	5
2.2. Kurutma	6
2.2.1. Kurutma yöntemleri.....	9
2.2.1.1. Ultrases (Ultrason) kurutma.....	11
2.2.1.2. Mikrodalga ile kurutma	15
2.3. 3688 Sayılı TSE Kurutulmuş Elma Standardı	19
2.4. Kuruma Kinetiği ve Matematiksel Modelleme	20
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	23
3.1. Materyal	23
3.2. Yöntem	23
3.2.1. Ön denemeler	23
3.2.2. Analiz metotları.....	29
3.2.2.1. °Briks (suda çözünür kuru madde) tayini	29
3.2.2.2. Toplam kuru madde tayini	29
3.2.2.3. pH tayini	30
3.2.2.4. Organik asitlerin tayini	30
3.2.2.5. Fenolik madde tayini	31
3.2.2.6. HMF (5-hidroksimetil-2-furfural) tayini.....	33
3.2.2.7. Şeker bileşenleri tayini	34
3.2.2.8. Kuruma davranışı ve kuruma hızlarının hesaplanması	35
3.2.2.9. Etkin difüzyon katsayısının hesaplanması	35
3.2.2.10. Su aktivitesinin belirlenmesi	36
3.2.2.11. Kurutmanın matematiksel modellenmesi.....	37
3.2.2.12. Renk tayini.....	38
3.2.2.13. Esmerleşme indeksi	39
3.2.2.14. Büzülme % hacimsel değişim hesabı ve matematiksel modelleme	39
3.2.2.15. Rehidrasyon kapasitesi tayini ve matematiksel modelleme	40
3.2.2.16. Duyusal analiz.....	41
3.2.2.17. İstatistiksel analiz	41
4. ARAŞTIRMA BULGULARI.....	42
4.1. Kurutma İşlemlerinin Elmanın Başlangıç Değerlerine Etkileri	42
4.1.1. Elma (Starking delicious) meyvesinin fiziksel özellikleri.....	42
4.1.2. Elma (Starking delicious) meyvesinin başlangıç değerleri	42
4.2. US Ön İşleminin Elma Dilimlerinin Kurutulmasına Etkileri	44
4.2.1.Elma dilimlerinin kuruma davranışı	44
4.2.1.1. Serbest nem ve zaman grafikleri	44
4.2.1.2. Kuruma hızı ve serbest nem grafikleri.....	47
4.2.1.3. Kuruma hızı ve zaman grafikleri.....	51
4.2.2. Elma dilimlerinin etkin difüzyon katsayısı	54
4.2.3. Su aktivitesi.....	55
4.2.4.Toplam kuru madde (nem) tayini	57
4.2.5. Kurutma prosesinin matematiksel modellenmesi	59
4.2.6. Renk değişimi hesaplamaları	64
4.2.7. Kuru maddede organik asit içeriği ve miktarı	72
4.2.8. % Büzülme miktarı.....	75
4.2.9. Rehidrasyon kapasitesi ve matematiksel modellenmesi.....	78
4.2.10.Fenolik madde tür ve miktarı	81

4.2.11.HMF (hidroksimetilfurfural) miktar tespiti	84
4.2.12. Şeker içeriği tespiti	87
4.2.13. Duyusal analiz	89
5. SONUÇ ve ÖNERİLER	96
KAYNAKLAR	103
EKLER	112
EK A. Formlar	113
EK B. Tablolar	117
B.1.Ağırlık Değişim Verileri	117
B.2. L, a, b Değişim Verileri	119
B.3. Kalınlık ve Çap Değerleri Değişim Verileri.....	121
ÖZGEÇMİŞ.....	123



ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

Zeliha Gözde KAYA

ULTRASES ÖN İŞLEMİYLE SICAK HAVA VE MİKRODALGA SİSTEMLERİNDE KURUTULAN ELMA DİLİMLERİNİN KALİTE ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ

Süleyman Demirel Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Alper KUŞÇU

Bu tez çalışmasında Starking delicious (*Malus communis L.*) meyvesinin farklı kurutma koşulları altında ultrases ön işlemlili ve ön işlemsiz olarak kurutulması ve kurutma işlemlerinin ardından değişen kalite parametreleri incelenmiştir. Dilimlenen elmalar konveksiyonel hava akımlı fırın ve mikrodalga fırın sistemlerinde meyve nemi literatürle uyumlu olarak % 5'in altına düşene kadar kurutulmuş olup kuruma davranışları, etkin difüzyon katsayıları ve kuruma matematiksel modelleri oluşturulmuştur.

Konveksiyonel fırında 65°C'de kurutulacak meyvelerden kontrol grubu ayrılarak 15 ve 30 dak. ultrasonik su banyosu ön işlemi uygulanmıştır. Ultrases ön işlemsiz kontrol grubu elma dilimlerinin kurutulma süresi 180 dak. sürerken ultrases ön işlemlili elma dilimlerinde bu sürenin 120 dak. sürdüğü, kurutma süresinde %33,3'lük bir azalma olduğu görülmüştür. Çalışmanın diğer kolu olarak mikrodalgada kurutulacak meyvelere ise hava akımlı fırında yapılan işlemlerdeki gibi kontrol grubu ayrılarak 15 ve 30 dak. US ön işlemi uygulanmıştır. Mikrodalga fırında 180W, 360W ve 600W olmak üzere 3 farklı güç modunda uygulanan kurutma işlemlerinin sonucunda; 180W MW uygulamasında ortalama olarak %7'lik; 360W MW uygulamasında ortalama %10'luk kuruma süresinde kısalma hesaplanırken 600W MW uygulaması neticesinde önemli düzeyde bir kısalma görülmemiştir.

Serbest nem miktarı-zaman grafikleri kurutma deneylerinin ön işlem koşulları ve kurutma tipleri dikkate alınarak ayrı grafikler üzerinde incelenmiştir. Başlangıç nem miktarları US ön işlemine bağlı olarak değişkenlik gösteren örneklerde bile kuruma eğrilerinin kurutma yöntemine göre karakteristik benzerlikler gösterdiği kaydedilmiştir. Kuruma hızı birbirine yakın olan deneylerde serbest nemin kuruma hızı ile korelasyonunun çizildiği grafiklerde çok benzer davranışları sergiledikleri belirlenmiştir. Kuruma hızı ve zaman grafiklerinde ise MW uygulamalarında önce artan, sabit ve azalan kuruma hızlarında olduğu; konveksiyonel kurutma fırınında ise sabit ve azalan hız periyodunda kuruma eğrileri verildiği görülmüştür. Ultrases ön işleminin serbest nem miktarı üzerinde önemli bir etki yaratmadığı ve zaman içinde azalma gösterdiği görülmüştür. Kuruma hızlarının kritik nem değerine eriştikten sonra güçleştiği tespit edilmiştir.

Kurutma işlemleri öncesinde pH, ağırlık, çap, kalınlık, sıcaklık ve briks ölçümleri, kurutma sonrasında su aktivitesi (a_w), nem miktarı (% rutubet), organik asitler (malik, sitrik, tartarik, okzalik), fenolik maddeler (klorojenik ve kafeik asit), şekerler (fruktoz, glikoz, sakkoroz, toplam şeker), HMF (hidroksimetilfurfurol), rehidrasyon kapasitesi, büzülme miktarı, Hunter L, a, b değerlerine bağlı olarak toplam renk değişimi, esmerleşme indeksi, chroma, hue açısı parametreleri ile duyuusal analizlerine ait puantajları belirlenmiştir.

Meyvelerin kuruma davranışını açıklayan en uygun kurutma modeli tüm konveksiyonel hava akımlı fırın koşullarında yapılan uygulamalar ile 360W MW kontrol grubu kurutma deneylerinde Page-Modifiye Page kurutma modeli diğer MW ortamında kurutulan deneylerde Midilli-Küçük modelinin kuruma davranışlarını tanımlamada en uyumlu modeller olduğu tespit edilmiştir. Yapılan hesaplamalar sonucunda en yüksek etkin difüzyon katsayısı sırasıyla 600W MW kontrol, 15 ve 30 dak. US ön işlem uygulamalı kurutma deneylerinde tespit edilmiştir. Etkin difüzyon katsayısının en hızlı kuruyan gıda maddelerinde en yüksek değerde olması gerektiği literatür bilgilerinde yer alırken

uygulanan deneylerde en yüksek değerler literatürle uyumlu olarak en kısa sürede, en hızlı kuruyan deneylerde bulunmuştur.

Kurutma sonrası deney tiplerinin tamamında suda çözünen kuru madde miktarlarında (a_w) düşüş kaydedildiği benzer şekilde düşük güç seviyesinde ya da yavaş kurutma proseslerinde bu değer diğerlerine kıyasla daha düşük olduğu hesaplanmıştır. Aynı ön işlem gören kurutma deneylerinin bir arada incelenmesi sonucunda US ön işlem uygulamasının deneylerin a_w değerlerinin artmasına neden olduğu sonucu görülmüştür. Toplam kuru madde miktarlarında hem ön işlem hemde kurutma metodlarının sonucu etkilediği anlaşılmıştır. İlavenen kurutma deneylerinin en hızlı sonuçlandırıldığı 360W ve 600W güç modlarında yapılan ölçümlerde hızla nem kaybeden bu kurutma deneylerinin denge nem davranışında kararlı olamadıkları ve ortam nemini absorbladıkları anlaşılmıştır.

Elma meyvesinin kendine has organik asitler ihtiva etmesi bu organik asitlerin esansiyel besin öğelerinden olması ve kurutma proseslerinde kayba uğradıkları bilinmesinden dolayı organik asit tür ve miktar tayinleri yapılmıştır. Hammadde de en fazla miktarda tespit edilen malik asit 86,821 g/kg olarak; uygulanan kurutma işlemlerine en hassas olan sitrik asit miktarı 33,86 g/kg olarak bulunmuştur. Kurutma deneylerine göre tartarik asit %75-82, malik asit %67-79, sitrik asit miktarları ise %76-95 arasında kayba uğradığı tespit edilmiştir. Okzalik asitin ise dönüşen asitleri taklit ettiği ve ısıya dayanıklılığının daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Yapılan deneylerde aynı koşullarda ısı işlem uygulamasının yanı sıra US ön işlem uygulamasının meyve içindeki organik asitlerin suda çözünen kuru madde sınıfından olması sebebiyle bir miktarının uygulama suyuna geçişini arttırdığı sonucunu göstermiştir.

Kurutulan elma dilimlerinin HMF (hidroksimetilfurfurol) miktarlarının kurutma süresine koralasyonlu olarak artış gösterdiği görülmüştür. Ultrasonik banyo ön işleminin ise kuruma sürelerini kısaltıcı yönde sonuç verdiği bu etkisi ile HMF oluşumunu azaltıcı yönde etki ettiği anlaşılmıştır. Hesaplanan HMF miktarı analizinde hava akımlı fırında kontrol, 15 ve 30 dak. US ön işlemlili gruplarında sırasıyla; 18,52-6,27-5,40 mg/kg olarak bulunmuştur. US uygulaması ile HMF miktarı arasında ters orantı geliştiği sonucuna varılmıştır. En yüksek hmf değeri $1047,82 \pm 57,45$ mg/kg olarak 600W MW kontrol grubu kurutma deneyi neticesinde bulunmuştur.

Starking delicious cinsi elmada en çok miktarda bulunan fenolik maddelerden klorojenik asit ile kafeik asit miktarlarının kurutmaya dayanımı araştırılmıştır. Yapılan tüm kurutma deneylerinde hammaddeye kıyasla klorojenik asit miktarında yaklaşık 1/5 oranında; kafeik asit miktarında 1/10 oranlarında azalma hesaplanmıştır.

Elde edilen sonuçlara bakıldığında, yapılan deneylerde hammaddenin kuru maddesi bazında hesaplanan toplam $55,07 \pm 0,89$ g/100g şeker miktarlarının deney türüne göre farklı oranlarda azalma ve yaklaşık seyirde kalma sonuçlarının olduğu görülmüştür. Uygulanan analizlerin tümünde baskın şeker olarak fruktoz bileşeninin olduğu belirlenmiştir. Toplam şeker miktarında en yüksek değere $49,24 \pm 1,14$ g/100g miktarı ile ön işlemsiz konveksiyonel kurutma deneyinde rastlanırken, en düşük toplam şeker miktarına $38,65 \pm 0,12$ g/100g ile 30 dak. US 600W MW uygulamasında rastlanmıştır.

Hunter L, a, b tayini sadece dilim yüzeylerinde yapılmıştır. L, a, b değerlerindeki değişim gruplar arası farklılık göstermiştir. Esmerleşme indeksi, ΔE değeri, hue açısı ve chroma değerleri kuruma süresi sonunda belirgin değişime uğramıştır. Esmerleşme indeksi ve chroma değerleri artarken hue açısı ile toplam renk değişimi azalmıştır. 65 °C'de ve mikrodalgada kurutulan örneklerde en fazla büzülme konveksiyonel tip kurutma işlemi uygulanan gruplarda meydana gelmiştir. Tüm grupların ortalama değerleri arasında çap değerlerinde %7-17, kalınlık değerlerinde %37-45 aralığında büzüşme hesaplanmıştır. En yüksek rehidrasyon kapasitesi MW ortamında yapılan kurutmada %391,3 oranıyla 30 US 600W grubunda en düşük kapasiteye ise %210 oranıyla 15US 360W grubunda rastlanmıştır. Renk, koku, lezzet, tekstür, şekil, sertlik, çiğnenebilirlik, yapışkanlık, karamelize tat, genel beğeni parametreleri ile yapılan duyusal analiz sonuçlarına göre 65 °C'de kurutulan örneklerde 30 US grubu ve mikrodalgada ise 15 US 180W grubu en fazla beğeniyi almıştır.

Anahtar Kelimeler: Starking delicious, Ultrases, Kurutma, Mikrodalga,

ABSTRACT

M.Sc. Thesis

DETERMINATION OF QUALITY CHARACTERISTICS OF APPLE SLICES DRIED IN HOT AIR AND MICROWAVE SYSTEMS BY ULTRASOUND PRE-TREATMENT

Zeliha Gözde KAYA

Süleyman Demirel University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Food Engineering

Supervisor: Asst. Prof. Dr. Alper KUŞÇU

In this study, drying of Starking delicious (*Malus communis* L.) fruit in different drying conditions by pre-processed and non-processed ultrasound and the quality parameters that change after the drying process were investigated. Samples that were ultrasound preprocessed and that were used as control group in the processes were dried until moisture content of samples decreases lower than 5% and the active diffusion coefficient and drying mathematical models were constituted.

The control group was separated from the fruit to be dried at 65 ° C in the convection oven, and 15 and 30 min. ultrasonic water bath pre-process was applied. It is observed that drying time of control group, which was not preprocessed, was 180 min. while drying time of control group, which was preprocessed with ultrasound, was 120 min. and so that there was a 33.3% decrease in the drying time. As the other line of the study, microwave-dried fruits were separated from the control group as in the processes carried out in the air flow oven, and 15 and 30 min. US pre-process was applied. As the result of the drying processes applied in 3 different power modes of 180W, 360W and 600W in the microwave,; in the 180W MW processing, it was observed that there was %7 decrease in the drying time and in the 360W MW processing it was also observed that there was 10% decrease in the drying time while there were no changes in the drying time of the 600W MW process.

Free moisture-time graphs were examined on separate graphs, taking into account the pre-treatment conditions and drying types of the drying experiments. It was noted that the drying curves exhibit characteristic similarities to the drying method even in the samples with varying initial moisture content depending on the US pre-process. It was also noted that in experiments where the rate of drying is close to that of the drying, the graphs correlated with the rate of drying of the free base exhibit very similar behaviors. In drying speed and time graphs, it was observed that in MW applications it was in first increasing, constant and decreasing drying rates; whereas in the convection-drying oven, it gave drying tendency in constant and decreasing speed period. Ultrasound pretreatment did not have a significant effect on the amount of free moisture and decreased over time. It was found that drying speeds became difficult after reaching the critical humidity level.

Prior to drying, pH, weight, diameter, thickness, temperature and °Brix measurements were done. After drying, water soluble dry matter (°Brix), water activity (a_w), moisture content (%MC), organic acids (malic, citric, tartaric, oxalic), phenolic compounds (chlorogenic acid, caffeic acid), sugars (fructose, glucose, saccharose, total sugar), HMF (hydroxymethylfurfural), rehydration capacity, shrinkage values, Hunter L, a, b values with total color changes, browning index, chroma and hue angle parameters were determined.

The most suitable drying model which expresses the drying behavior of the fruit was determined as the most compatible model in describing the drying behavior of the Midilli-Küçük model in the experiments performed in all convection air flow oven conditions and in the experiments of 360W MW control group drying experiments in the page-Modifiye page drying. As a result of the calculated calculations, the highest effective diffusion coefficient is 600W MW control, 15 and 30 min, respectively. US pre-treatment was detected in applied drying tests. While the effective diffusivity coefficient was required to be the highest value in the fastest drying foodstuffs in literature, the highest values were found in the fastest drying experiments as soon as possible in accordance with the literature.

It was calculated that all of the experimental types after drying had a lower value of water-soluble dry matter (a_w), similarly at low power levels or slow drying processes this value was lower than the others. A concurrent review of the same pre-process drying experiments concluded that US pre-process resulted in an increase in the a_w values of the experiments. It was understood that both pre-process and drying methods affect the total dry matter quantities. In addition, measurements were made at 360W and 600W power modes, where drying dies were the fastest, and it was understood that these drying experiments were not stable in equilibrium moisture behavior and absorbed ambient moisture.

Because of the fact that apple fruit contains unique organic acids, these organic acids are essential nutrients and they are lost in drying processes, organic acid species and quantity are determined. The highest amount of malic acid in the raw material was found to be 86,821 g / kg and the amount of citric acid that was most sensitive to the drying processes was found to be 33,86 g / kg. It was determined that tartaric acid was lost between 75-82%, malic acid 67-79% and citric acid amount between 76-95%. It has been determined that oxalic acid mimics the transformed acids and their heat resistance is higher. In addition to heat treatment application under the same conditions, it has been shown that the application of US pretreatment increases the transfer of an amount of water to the application water because the organic acids in the fruit are in the water-soluble dry matter class.

The amounts of HMF (hydroxymethyl furfural) of dried apple slices were found to increase correlated with the drying time. Ultrasonic bath pre-process was found to have an effect on reducing HMF formation with this effect which shortened the drying time. In the analysis of calculated HMF amount, in the air flow flush control, in 15 and 30 minute US pre-process groups, respectively; 18,52-6,27-5,40 mg/kg. was found. The result is an inverse relationship between the amount of US application and the amount of HMF. The highest HMF value was found to be $1047,82 \pm 57,45$ mg/kg as a result of the drying test of 600W MW control group.

The amount of chlorogenic acid and caffeic acid in the most phenolic substances in the Starking delicious apple type was examined. Compared to the raw material in all the drying experiments performed, a reduction of 1/5 in the amount of chlorogenic acid; a reduction of 1/10 of in the amount of caffeic acid was calculated.

According to the results obtained, it was observed that the amounts of total sugar of 55.17 ± 0.89 g / 100g calculated on the basis of the dry matter of the raw materials in the experiments made decreased, increased or stayed in the approximate process in different ratios according to the type of the experiment. It was determined that the fructose component is the predominant sugar in all of the analyzes performed. The highest value in the total sugar amount was found in the pre-process convection drying experiment with the amount of 72.04 ± 1.14 g / 100 g, while the lowest total sugar amount was found in the application of 45.97 ± 0.40 g / 100 g and 15 min US 600W MW.

The Hunter L, a, b determination was done only on the slice surfaces. The change in L, a, b values varied between groups. The browning index, delta E value, hue angle and chroma values at the end of the drying period, while the browning index and chroma values increased, the hue angle and the total color change decreased.

At 65 °C and microwave drying, the maximum shrinkage occurred in groups subjected to convection type drying The shrinkage of the average values of all groups was calculated between 7-17% in diameter values and 37-45% in thickness values. The highest rehydration capacity was found in 30US 600W group with 391,3% in MW environment, while the lowest capacity was found in 15US 360W group with 210% rate. According to the sensory analysis results with color, smell, taste, texture, shape, hardness, chewiness, stickiness, caramelized taste, general taste parameters, 30 US group in samples dried at 65 °C and 15 US 180W in microwave received the most liking.

Key words: Starking delicious, Ultrasound, Drying, Microwave.

2019, 123 pages.

TEŞEKKÜR

Yarım kalan tez çalışmasının planlanmasında ve ilerletilmesinde bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım, karşılaştığım sıkıntıların çözümünde beni yönlendirip yardımlarını esirgemeyen bunun yanı sıra sadece akademik olarak değil tevazu sahipliği noktasında da örnek olan Saygıdeğer Hocam Dr. Öğretim Üyesi Alper KUŞÇU'ya,

Kurutma çalışmalarında gerek laboratuvar cihazlarının kullanımı konusunda gerekse pozitif telkinleri ile yardımlarını esirgemeyen Hocalarım Prof. Dr. Gülcan ÖZCAN ile Doç. Dr. Erkan KARACABEY'e,

Analizlerim, istatistiksel çalışmalarım ve daha pek çok aşamada yardımcı olan, ışık tutan Arş. Gör. Dr. Ebru AYDIN, Arş. Gör. Salih EROĞLU ile Gıda Yük. Müh.Ülkü Hilal USLU'ya,

İngilizce kaynak ve metinlerin doğru teknik çevirisi konusunda yardımlarını esirgemeyen İstanbul Medipol Üniveritesi Öğr. Görevlisi değerli arkadaşım Eda ELMAS'a,

Tarım ve Orman Bakanlığı Rehberlik ve Teftiş Başkanlığı Başkan Yardımcılarım Başmüfettiş Mustafa MERCAN ile Başmüfettiş Çağlayan ODABAŞ'a; planlama ve grafikleme aşamalarında yardımcı olan Müfettiş arkadaşım Mahmut KAYNAR'a,

Ankara Gıda Kontrol Laboratuvar Müdürlüğü Kimyasal Analiz Laboratuvarı başta olmak üzere tüm laboratuvar birimleri çalışanlarına ve tümünün nezdinde Kimyasal Analiz Laboratuvar Şefi Dr. Serap Bilgen ÇINAR, Uzman Biyolog Nergiz DEMİRTAŞ ve Laboratuvar Müdürü Erol BULUT'a,

Ve Çetin ile Kaya ailelerinin büyükten küçüğe tüm kıymetli fertlerine,

Sonsuz teşekkür ederim.

Zeliha Gözde KAYA
ISPARTA, 2019

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 2.1. Ultrasesin ses skalasındaki yeri	11
Şekil 2.2. Ultrasesin kavitasyon etkisi	12
Şekil 2.3. Elektromanyetik dalga spektromu.....	15
Şekil 2.4. Mikrodalga fırının temel birimleri.....	16
Şekil 2.5. Gıdalarda temel kuruma aşamaları grafiği.....	21
Şekil 3.1. Starking delicious meyvesi (a), Mukavva karton ambalajlı meyve kutuları (b)	23
Şekil 3.2. Dilimleme makinası	24
Şekil 3.3. Ultrasonik su banyosu (a), US uygulaması (b), US uygulamasının sabit sıcaklık kontrolü (c), US suyu briks ölçümü (d)	25
Şekil 3.4. Konveksiyonel fırın (a), meyve dilimlerinin kurutma tepsisine yerleşimi (b), örneklerin kurutulmuş hali (c), kurutulan son ürünün poşetlenmesi (d)	25
Şekil 3.5. Mikrodalga fırın (a) meyvelerin mikrodalga fırına yerleşme biçimi (b).....	26
Şekil 3.6. Elma meyvelerinin kurutma akım şeması	27
Şekil 3.7. Rutubet ölçüm cihazı (a), hammaddenin püre formu (b)	29
Şekil 3.8. Kurutulmuş elma dilimlerinin öğütülmesi (a), cam viallere tartım (b), saf su ilavesi (c), HPLC cihazı ve monitör (d).....	31
Şekil 3.9. Fenolik madde tayini için metanol (a), saf su ilavesi (b), 12 saat buzdolabında dinlendirme (c), selüloz filtreden süzdürme işlemi (d)	32
Şekil 3.10. HPLC’de HMF ölçüm işlemleri özel vialler (a), HPLC tepsisi (b).....	33
Şekil 3.11. Hunter renk skalası.....	38
Şekil 3.12. Renk ölçüm cihazı (a), tüm deneylerin renk ölçüm çalışması (b).....	39
Şekil 3.13. Kurutma öncesi (a), çap ölçümü (b), kurutma sonrası kalınlık ölçümü (c)	40
Şekil 3.14. Geri su alma testi.....	41
Şekil 4.1. Serbest nem-zaman grafiği konveksiyonel kurutma deneyleri	45
Şekil 4.2. Serbest nem-zaman grafikleri MW 180 W (a), 360 W (b).....	46
Şekil 4.3. Serbest nem-zaman grafikleri 15 US ön işlemlili kurutma deneyleri	47
Şekil 4.4. Kuruma hızı-serbest nem grafiği konveksiyonel kurutma deneyleri	48
Şekil 4.5. Kuruma hızı-serbest nem MW 180 W (a), 360 W (b), 600 W (c)	49
Şekil 4.6. Kuruma hızı-serbest nem 15 US ön işlemlili kurutma deneyleri	50
Şekil 4.7. Kuruma hızı-serbest nem 30 US ön işlemlili kurutma deneyleri	50
Şekil 4.8. Kuruma hızı-zaman grafiği konveksiyonel kurutma deneyleri	51
Şekil 4.9. Kuruma hızı-zaman MW kurutma deneyleri 180 W (a), 360 W (b), 600 W (c).....	52
Şekil 4.10. Deff Değerleri	55
Şekil 4.11. Su aktivitesi grafiği.....	56
Şekil 4.12. % Nem Dağılımları grafiği	58
Şekil 4.13. L değerleri değişim grafiği.....	65
Şekil 4.14. a değerleri değişim grafiği	66
Şekil 4.15. b değerleri değişim grafiği	67
Şekil 4.16. ΔE değişim grafiği.....	68
Şekil 4.17. Hue değişim grafiği	69
Şekil 4.18. Chroma değişim grafiği	70
Şekil 4.19. BI İndeksi	71
Şekil 4.20. Organik asit değişim grafiği.....	73
Şekil 4.21. Organik asit tespiti HPLC kromatogramı (a),bilgi kartı (b)	74
Şekil 4.22. Rehidrasyon grafiği	79
Şekil 4.23. Klorojenik asit miktar grafiği.....	82
Şekil 4.24. Kafeik asit miktar grafiği	82
Şekil 4.25. HPLC kromatogramı (a), bilgi kartı (b)	83
Şekil 4.26. HMF dağılımları grafiği.....	85
Şekil 4.27. HMF ölçüm HPLC ekran görünümü	86
Şekil 4.28. Şeker miktarları grafiği.....	87
Şekil 4.29. Şeker ölçüm HPLC kromatogramı (a), kromatogram bilgi kartı (b).....	88
Şekil 4.30. Duyusal analiz grafiği-kontrol grubu.....	93
Şekil 4.31. Duyusal analiz grafiği- 15 US ön işlemliler	94

Şekil 4.32. Duyusal analiz grafiği- 30 US ön işlemliler	94
Şekil 4.33. Duyusal analiz grafiği- tüm kurutma deneyleri	95



ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa
Çizelge 1.1. FAO 2017 verilerine göre Dünya’da elma üreten ilk 10 ülke	1
Çizelge 2.1. Ultrasesin gıda üretim proseslerinde mevcut uygulamaları.....	13
Çizelge 2.2. Gıda proseslerinde mikrodalga uygulamaları.....	17
Çizelge 2.3. Kurutulmuş elma standardı	20
Çizelge 2.4. Gıdalarda en iyi uyum sağlayan ince tabaka kurutma modelleri	22
Çizelge 3.1. Konveksiyonel ve MW kurutma proseslerinin tümünden elde edilen veriler.....	28
Çizelge 3.2. İnce tabaka kurutma modelleri	37
Çizelge 4.1. Starking delicious meyvesine ait bazı fiziksel özellikler.....	42
Çizelge 4.2. Elmanın başlangıç değerleri.....	42
Çizelge 4.3. Elma hammaddesinin kuru maddesi üzerinden % şeker değerleri.....	43
Çizelge 4.4. Etkin difüzyon katsayıları	54
Çizelge 4.5. Kurutma işlemleri öncesi ve sonrasında ölçülen a_w değerleri.....	56
Çizelge 4.6. Hammadde ile kurutma deneylerinde ölçülen toplam kuru madde yüzdeleri.....	57
Çizelge 4.7. Matematiksel modelleme Çizelgesi-ön işlemsizler.....	59
Çizelge 4.8. Matematiksel modelleme Çizelgesi-15 dak. US ön işlemliler.....	61
Çizelge 4.9. Matematiksel modelleme Çizelgesi-30 dak. US ön işlemliler.....	63
Çizelge 4.10. Tüm kurutma deneylerinin uyumlu olduğu modellerin özet gösterimi	64
Çizelge 4.11. Ortalaması alınan L a b değerleri	65
Çizelge 4.12. Ortalaması alınan ΔE , C, BI ve hue değerleri.....	68
Çizelge 4.13. Elma dilimlerinde kuru madde bazında hesaplanan organik asit tür ve miktarları	72
Çizelge 4.14. Kurutulmuş elma dilimlerinde ortalama ϕ ap değişimleri	76
Çizelge 4.15. Kurutulmuş elma dilimlerinde ortalama kalınlık değişimleri.....	76
Çizelge 4.16. Kurutulmuş elma dilimlerinde % olarak meydana gelen hacim değişimleri	77
Çizelge 4.17. Kurutulmuş elma dilimlerinde uygulanan rehidrasyon testi aşamaları	78
Çizelge 4.18. Kurutulan elma dilimlerinin geri su alma kapasitesi.....	80
Çizelge 4.19. Fenolik madde analiz sonuçları	81
Çizelge 4.20. HMF miktar tespitleri	84
Çizelge 4.21. Elma dilimlerinin hammadde de ve kurutma sonrası kuru madde bazında ortalama şeker bileşenleri tür ve miktarları	87
Çizelge 4.22. Duyusal analiz sonuçları-kontrol grup elma dilimlerinde	90
Çizelge 4.23. Duyusal analiz sonuçları-15 dak. US ön işlemliler.....	90
Çizelge 4.24. Duyusal analiz sonuçları-30 dak. US ön işlemliler.....	91
Çizelge B.1. Kurutma deneyleri sırasında değişen ağırlık ölçümleri.....	117
Çizelge B.2. 65°C’de ve MW Ortamında Hunter L, a, b değişim değerleri	119
Çizelge B.3. 65°C’de ve MW Kurutma Sonucunda ϕ ap ve kalınlık değişim değerleri.....	121

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

15US	15 dak. US ön işlemleri uygulanmış örnek
180W	180W güç uygulanarak mikrodalgada kurutulmuş örnek
30US	30 dak. US ön işlemleri uygulanmış örnek
360W	360W güç uygulanarak mikrodalgada kurutulmuş örnek
600W	600W güç uygulanarak mikrodalgada kurutulmuş örnek
a_w	Su aktivitesi
BI	Esmerleşme indeksi
CH ₃ OH	Metanol
cm	Santimetre
dak.	Dakika
D_{eff}	Etkin difüzyon katsayısı değeri
g	Gram
H ₂ SO ₄	Hidrojen sülfür
HMF	Hidroksimetilfurfural
HPLC	Yüksek basınçlı sıvı kromatografisi
kg	Kilogram
kHz	Kilohertz
km	Kuru madde
kW	Kilowatt
m	Metre
m ²	Metrekare
mg	Miligram
MHz	Megahertz
mm	Milimetre
MW	Mikrodalga
nm	Nanometre
pH	Hidrojen konsantrasyonunun eksi logaritması
R ²	Uyumluluğu belirleme katsayısı
RMSE	Tahmini standart hata (MATLAB)
s	Saniye
sa	Saat
SEE	Tahmini standart hata (SPSS)
TSE	Türk Standartları Enstitüsü
US	Ultrases
W	Watt (mikrodalga çıkış gücü)
ΔE	Toplam renk değişimi
μm	Mikrometre
°C	Santigrat derece

1. GİRİŞ

Elma, Dünya üzerinde çok geniş yayılma alanı gösteren, değişik ekolojilerde ve iklimlerde üretimi yapılabilen bir türdür. Elma ağacının iklim koşullarına hızlı adaptasyonu ve dayanıklılığı üretiminin yaygın olmasına ana faktör olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu nedenle Dünya’da elma üretimi yaklaşık 90 milyon ton civarında gerçekleşmektedir. Çizelge 1.1.’de gösterildiği gibi, 2017 yılı verilerine göre en fazla üretim 44,4 milyon ton ile Çin’de gerçekleştirilmektedir. ABD 4,6 milyon tonla ikinci sırada, Polonya 3,6 milyon tonla üçüncü sırada, Türkiye ise 2,9 milyon ton elma üretimi ile Dünyada dördüncü sırada yer almaktadır. Türkiye elma üretimini 173.394 ha’lık alanda 2.925.828 ton elma üreterek 16.874 kg/ha’lık verimle Dünya elma üreticisi ülkelerinin verimlilik sıralamasında 11. sırada yer almaktadır. Üretim hacmi olarak 4. sırada yer almasına rağmen verimlilik sıralamasında aynı yeri koruyamayarak 11. sıraya gerilediği görülmektedir (Anonim, 2017).

Çizelge 1.1. FAO 2017 verilerine göre Dünyada elma üretiminde (ton) ilk 10 ülke

Ülkeler	Yıllar					
	1966	1986	2006	2011	2014	2016
Çin	500.000	3.336.793	26.059.00	35.985.00	40.923.20	44.447.793
ABD	2.613.313	3.564.800	4.455.819	4.281.731	5.358.740	4.649.323
Polonya	794.000	1.920.051	2.304.892	2.493.078	3.195.299	3.604.271
Türkiye	440.000	1.865.000	2.002.033	2.680.075	2.480.444	2.925.828
Hindistan	97.500	1.258.000	1.814.000	2.891.000	2.497.680	2.872.000
İran	78.000	1.154.322	2.306.941	3.112.900	2.412.494	2.799.197
İtalya	2.288.600	2.019.530	2.130.980	2.411.201	2.473.608	2.455.616
Rusya Federasyonu	--	--	1.626.000	1.198.000	1.624.000	1.843.544
Fransa	2.796.000	2.738.000	1.679.328	1.762.640	1.847.551	1.819.762
Şili	125.000	515.000	1.350.000	1.588.347	1.751.991	1.759.421
Dünya (toplam)	21.762.45	42.595.78	63.248.64	77.072.35	85.500.04	89.329.179

Türkiye’de elma üretiminin %78’i on ilde yapılmaktadır. Bu iller üretim hacimlerine göre çoktan aza doğru Isparta, Karaman, Niğde, Antalya, Denizli, Konya, Çanakkale, Kayseri, İçel ve Bursa olarak sıralanmaktadır. Isparta ili elma üretiminde ilk sırada yer almakta ve Türkiye üretiminin %21,2’si buradan gerçekleştirilmektedir. Ülkemizde kişi başına elma tüketimi dünya ortalamasından yüksek olmakla birlikte elma üretiminin %0,3’ü ihraç edilebilmektedir. Türkiye’de meyve üretimi; halkın beslenmesi, meyve işleyen gıda sanayisine hammadde temin edilmesi ve dış ticarete konu olması

yönünden önemli bir üretim faaliyetidir. Türkiye’de tarım alanlarının % 6’sı meyve-zeytin-bağ alanı olarak değerlendirilmekte ve senede yaklaşık 14 milyon ton meyve üretimi gerçekleştirilmektedir. Bu üretimin % 24’ünü yumuşak çekirdekli meyveler olmakta; yumuşak çekirdekli meyve üretiminin ise % 84’ünü elma üretimi oluşturmaktadır. Ülkemizde elma, üzüm ve zeytinden sonra en fazla üretim değerine sahip sanayi meyvesidir (Oğuz ve Karaçayır, 2009).

Son zamanlarda yapılan araştırmalar ışığında bazı gıdaların doğal yollardan hastalıkların önüne geçmesi ve tedavi etmesinde etkinliğinin bilimsel olarak ortaya konulması, sağlığımızın korunmasında beslenme seçimlerinin önemini arttırmıştır. Bu bağlamda fonksiyonel gıdalar olarak adlandırılan nutrasötikler ve doğal sağlık ürünlerini daha fazla tüketilmesi tavsiye edilmektedir (Coşkun 2005). Doğal yapısında karbonhidrat, esansiyel mineraller ile diyet lifi içeren elma, tadı ve besin içeriği bakımından önemlidir (Sadık vd., 2003). Meyve ve sebzelerin doğal yapısında ikincil metabolit olarak kendiliğinden oluşmuş flavanoidler, antosiyaninler gibi fenolik bileşikler ile fenolik maddelerin içeriğinde sayılmamasına rağmen C vitamini, E vitamini, karoten gibi antioksidan etkiye sahip olan bileşikler bulunmaktadır. Zengin antioksidan içeriğe sahip elmada başlıca antioksidatif bileşiklerden kuersetin, procianidin B2, epikatesin, floretin, ve klorogenik asit tespit edilmektedir (Lee vd., 2003). Ayrıca elma, azot, fosfor, potasyum, kalsiyum, magnezyum, kükürt, demir, bor, çinko, mangan, bakır ve molibden gibi makro ve mikro elementler bakımından da yoğun potansiyele sahip bir meyve türüdür. Bu makro ve mikro elementler insan vücudu için günlük olarak dışardan temin edilmesi gereken ve hayati önem arz eden bileşiklerdendir (Coşkun ve Aşkın, 2016).

Daha ilk çağlarda avcı-toplayıcı beslenme biçiminde ve göçebe hayat koşullarında yaşayan insanlar, ağaçlardan yere düşen ve kuruyan meyvelerin de tıpkı ağaçtaki meyveler gibi meyvenin yenilebilir bir hali ve şekli olduğunu gözlemlemişler ve bu şekilde olgunlaşıp kuruyan meyveleri tatları daha yoğun olduğu için değerli bir gıda olarak kabul etmişlerdir. Kurutulmuş meyvelerin yazılı kaynaklarda yer alması çok eski dönemlere kadar uzanmaktadır, öyleki kuru meyvelerin niteliklerinden söz edilen en eski yazılı kaynak Mezopotamya’da bulunan ve M.Ö. 1700 yılına ait olduğu anlaşılan, çivi yazısı ile yazılmış kil tabletleridir (Trager, 1997).

Gıda kurutma işleminin gıda sanayinin bir parçası haline gelmesi ise 18. yy’da gerçekleşmiştir. Doğal yoluyla tabiat elinde kendiliğinden kurumuş meyve farkındalığından bilinçli biçimde güneş enerjisinden yararlanmaya, bu noktadan ise makineleşme ve sanayi ürünü haline getirerek endüstri kolu haline gelme kurutulmuş meyve sebze sektörünün uzun süreçler boyunca katettiği yolu olmuştur (Hui vd., 2008).

Kurutulmuş gıdalar diğer yöntemlerle muhafaza edilenlerden farklı olarak besin öğeleri açısından daha konsantre bir nitelik elde etmiş gıdalardır. Kurutma (dehidrasyon) işlemi diğer pekçok gıda dayandırma metoduna göre daha ucuz bir muhafaza yöntemi olup, daha az işçilik, daha az ekipman, ürünlerin depolanma ve taşınması sırasında ise daha az masraf gerektirmektedir. Kurutulmuş meyve ve sebzeler, ürünün ilk hasat haline yakın bir formu olmakla birlikte doğal olarak dayanıklılık

kazandırılmış formu olarakta nitelendirilebilmektedir. Kurutulmuş ürünlerin çoğunun kurutulularak kazandıkları bu yeni halleriyle özel kullanım alanları vardır. Bu ürünler, gerek kurutulmuş olarak tüketilmekte, gerekse yeni pişirme ve sunum tercihleri ilave edilerek farklı alanlarda değerlendirilmektedir (Erbay ve Küçüköner, 2008). Kurutulmuş meyve sebzelerin günümüz endüstriyel uygulamalarına örnek olarak, hazır çorbalar ile geleneksel Türk çorbası tarhana, kurutulmuş sebzeler, bebek mamaları, hazır yemeklikler, atıştırmalık ya da kahvaltılık gevreklikler, meyve çayları, kek garnitürleri gibi farklı alanlardaki gıda türleri verilebilmektedir (Anonim, 2018a).

Kurutma işlemiyle elde edilebilecek başlıca yararlar; ürünün hasatından hemen sonra başlayan olgunlaşma ve bozulma aşamasına yaklaşan metabolik faaliyetler yavaşlatılmak ya da tamamen durdurmak, depolama sırasında ürünün bozulmasını önlemek bu sayede ürün kayıplarını engellemek, hassas meyve sebze ürünlerinin soğutmalı depolama ortamı ihtiyaçlarının önüne geçerek enerji sarfını azaltmak, kurutma ile ürünün nemini mikroorganizma faaliyeti ile diğer reaksiyonları sınırlamaya yeterli seviyeye düşürmek, nem oranının düşürülmesiyle tat, koku ve besin değeri gibi kalite özelliklerini muhafaza etmek, gıda maddesinin dayanıklılık ve raf ömrünü arttırmak, meyve sebze ürünlerinin hacminin küçültülmesi ile depolama ve taşımada kolaylık sağlamak, kuru meyve ve kuru sebze gibi ekonomik değeri olan başka ürünlerin üretimine olanak sağlamak, daha farklı damak zevklerine hitap edebilecek yeni ürünler geliştirmek, tarımsal üretim artıklarının küspe, kabuk, posa gibi yeniden değerlendirilmesine imkan verdimenek olarak özetlenebilmektedir (Bingöl ve Devres, 2010a; Yaralı, 2014).

Türkiye’de kurutulmuş gıda sektöründe ürün çeşitliliği çok fazladır. Dünya kuru meyve ve mamulleri ihracatında Türkiye’nin payı %11 civarındadır (Kutlu vd, 2015).

Gıdaların ısıt işlemlerle işlenmesinde, hazırlanmasında ya da korunmasında yüksek sıcaklıkların etkisiyle açığa çıkan çeşitli olumsuzlukların (gıdanın renginde, tadında ve besin öğelerinde kayıplar gibi) ortadan kaldırılması amacıyla ısıt olmayan süreçlere olan ilgi her geçen gün artmaktadır. Gıdanın ilk formuna yakın olduğu en doğal halinin tüketici beğenisi yönüyle en fazla oranda tercih edildikleri bilinmektedir (Sayın ve Tamer, 2014). Uzun yıllardır araştırmacılar tarafından bilinen, ses ve ultrases destekli kurutma son zamanlarda ısıt olmayan çevre dostu bir yöntem olarak uygulanmaktadır. Su uzaklaştırma (dehidratasyon) işleminde önemli bir proses olması nedeniyle yeniden gündeme gelmiştir (Kudra ve Mujumdar, 2002). Gıdalarda mikrobiyal gelişimin engellenmesi ve enzimlerin inaktivasyonunu sağlamak ve dokulardan daha kolay ekstraksiyon yapabilmek amacıyla yüksek güçlü ultrasonik ses dalgaları, tek başına olarak veya diğer muhafaza yöntemleri ile kombine edilerek gerek duysal açıdan gerekse gıdanın bileşimindeki besin öğelerinin korunması açısından önemli bir katkı sağlamakla birlikte ürün kalitesinin muhafazasında başarıyla kullanılabilecek bir teknik olarak karışımıza çıkmaktadır (Ulusoy ve Karakaya, 2011).

Gıda muhafazasında ısıt uygulamalarının mikroorganizmaları ve enzimleri inaktive ettiği için çok yaygın bir kullanım alanı vardır. Isıt uygulamalarının aşırı uygulanması gıdaların fiziksel ve kimyasal

yapılarında değişimlere, organoleptik özelliklerinin ve doğal bileşenlerinin bozulmasına sebep olmaktadır. Bu nedenle gıda endüstrisi sürekli olarak gıda bileşenlerine daha az zarar veren, çevre dostu, düşük maliyetli yeni muhafaza yöntemleri aramakta ve geliştirmektedir. Bu amaçla gıdaların muhafazasında, geliştirilmesinde, depolanmasında ısısal olmayan teknolojiler üzerinde çeşitli yeni araştırmalar yapılmıştır. Ultrases (sonikasyon) teknolojisi de bu araştırmalar içerisinde gıdaların muhafazasında ve teknolojik işlemlerde uygulanan ön ya da ana işlemlerden bir tanesidir (Ashokkumar vd., 2008; Ulusoy ve Karakaya, 2011).

Geleneksel kurutma yöntemlerinde karşılaşılan en büyük sorun yüzey sertleşmesi sonucu ısı ve kütle geçişinin yavaşlamasıdır. Mikrodalga kurutma işleminde, sadece gıdadaki su ısıtıldığından son sıcaklık kendiliğinden kontrol edilmekte ve kalan su tamamen uzaklaştırılmaktadır. Sıcaklık gıdanın içinden dışarıya doğru azaldığından içerideki su daha kolay uzaklaştırılmakta ve yüzey sertleşmesi olmadığından kütle aktarımı yavaşlamamakta bu fiziksel ilkeye göre sabit debide kuruma periyodu uzun olmaktadır. Bu açıklamalardan anlaşılacağı gibi mikrodalga ile kurutma işleminde geleneksel kurutma yöntemlerine göre; enerjiden yararlanma oranı yüksek, kuruma süresi kısa, rehidrasyon yeteneği yüksek bir ürün elde edilmektedir. Maliyet açısından da üstünlük sağlanmaktadır. (Velu vd., 2006; Karataş ve Kamışlı 2007 ; İzgi, 2012).

Yapılan bu tez çalışması ile meyve tarımı sektörünün başarılı bir örneği olan Türkiye’de, meyve tarımına paralel olarak, kuru meyve ve mamulleri de sahip olduğu ekonomik değer incelendiğinde kurutulmuş meyvelerin stratejik önemine dikkat çekilmektedir. Kuru meyve sektöründeki ürün çeşitliliğinin artırılması mevcut portföye yenilerinin ilave edilmesi sektörün hedeflediği dış ticaret hacmine ulaşmasında büyük katkı sağlama potansiyeline sahiptir. Ürün yelpazesinin artırılmasına yönelik yapılacak araştırmalar ve çalışmalar Türkiye’nin küresel pazarlardaki rekabet gücünün artırılmasında anahtar rol oynamaktadır. Bu bağlamda ülkemizde tarımı yapılan ve Dünya çapındaki üretimlerine bakıldığında ön sıralarda yer alan kiraz, nektarin, elma ve erik gibi meyvelerin söz konusu ürün çeşitliliğine katkı sağlama potansiyeli dikkat çekmektedir.

Gelişmekte olan gıda sektöründe meyve sebze gibi ısıya duyarlılığı yüksek olan hammaddelerin işlenmesinde ısısal olmayan ön işlem uygulamalarına alternatif bir yöntem olan ses enerjisinin etki mekanizması ultrases uygulamasının son ürünündeki kaliteye olan etkileri araştırılmıştır. Ultrases uygulamasının kavitasyonla gözenek genişletirici etkilerinin kuruma süresine ve buna bağlı olarak kurutma işlemlerinde son üründe gelişen kalite ve ürün beğenisi üzerine olan faydaları incelenmiştir. Kurutma işlemlerinin daha kısa ve istenilen düzeyde tutulması neticesinde HMF oluşumunun azalması, fenolik madde kayıplarının en aza indirgenmesi, su aktivitesi ve rehidrasyon stabilitesinin sağlanması yönüyle ultrases ön işleminin kurutma işlemleri öncesinde meyve sebze ürünlerine uygulanmasının avantajları üzerinde durulmuştur. Elma hammaddesinin yaygın olarak uygulanan konveksiyonel hava akımında kurutulması ile yeni gelişen teknolojilerden ışık enerjisi mikrodalga (MW) yöntemiyle kurutulması kıyaslanarak birbirlerine göre üstünlükleri belirtilmiştir.

2. KAYNAK ÖZETLERİ

2.1. Elma (Starking delicious) Meyvesi

Bu çeşide ait menşei bilgileri Gıda ve Orman Bakanlığı Eğirdir Bahçe Kùltürleri Araştırma Enstitüsünden (EBKAE) alınan verilere göre aşağıdaki gibidir:

Orijini: ABD

Büyüme Gücü ve Şekli: Kuvvetli, yayvan

Meyvesi: Orta iri- iri, tatlı, sulu

Meyve Eti Rengi: Krem

Meyve Kabuk Rengi: Sarı- yeşil zemin rengi üzerine akıtmalı kırmızı

Hasat Zamanı: Eylülün 4. – Ekimin ilk haftası

Tam çiçek-hasat: 145-155 gün

Tozlayıcılar: Golden delicious, Granny Smith, Gala grubu, Fuji, Braeburn

Diğer Özellikler: Genelde çok iyi renklenmediğinden daha iyi renklenen Scarlet, Red Chief, Süper, Top red, Clear red ile hibritlenmesi tercih edilebilmektedir (EBKAE, 2018).

Dünyanın pek çok bölgesinde yetiştirilen elma özellikle orta iklim kuşağında daha yaygın olarak üretilmektedir. Türkiye’de de geniş çapta yetiştiriciliği yapılan meyveler arasındadır. Elmanın bu kadar yaygın olarak yetiştiriciliğine imkân veren ilk etken ülkemizde orta iklim kuşağında yer alan bir ülke konumunda olması ve iklim çeşitliliği ile bunun yanı sıra toprak yapısının elma üretiminin isteklerine elverişli oluşudur. Bugün pek çok elma çeşidinin yetiştiriciliği Türkiye’nin farklı bölgelerinde başarılı bir şekilde yapılmaktadır. Türkiye diğer tarım ürünlerinde olduğu gibi meyvecilik yönünden de gen merkezi durumunda olup, meyve tür ve çeşidi bakımından da zengindir. Kuzey Anadolu, Karadeniz kıyı bölgesi ile İç Anadolu ve Doğu Anadolu yaylaları arasında geçit bölgelerinin yanı sıra, Göller Bölgesi de elma yetiştiriciliği bakımından önemli bir bölge konumundadır. Ülkemizin sıcak ılıman iklim bölgelerinden Ege Bölgesi’nde 500 m’den, Akdeniz ve Güney Doğu Anadolu’nun sıcak ve kurak yerlerinde 800’den daha yükseklerde elma yetiştiriciliği yapılmaktadır (Kılınç 2012; Coşkun 2014).

Elma Dünya üzerinde Anadolu, Avrupa, Çin, Himalaya, Japonya, Kore ve Kuzey Amerika gibi farklı gen merkezlerine yayılım göstermiş ve 48 türünün mevcut olduğu bildirilmiştir (Özbek, 1978; Dziubiak, 2004; Ercişli, 2004; Edizer ve Bekar, 2007).

Elmanın girdiği takım familya ve cins bilgileri; Rosales takımının Rosaceae familyası içerisinde bulunan Malus cinsine aittir. Ülkemiz çoğu tarım ürününde olduğu gibi meyvecilik yönünden de gen merkezi durumunda olup, birçok meyvenin tür ve çeşidi bakımından oldukça zengin bir yapıya sahiptir. Türkiye elmanın anavatanı olan topraklardandır (Özbek, 1978; Edizer ve Bekar, 2007).

Elmayı genel anlamda içerik olarak incelediğimizde ortalama %85 su , %11 karbonhidrat, %2 diyet lif, %0.6 yağ, %0.5 organik asit ve %0.3 proteinden oluştuğunu görürüz (Sluis vd, 2005). Elmanın yoğun talep görmesinin nedeni sadece lezzetli olmasından dolayı değil A, C ve E vitaminleri, aroma maddeleri, fitokimyasallar sınıfında bulunan flavonoidler gibi antioksidan bileşenleri içermesinden ileri geldiği ve besleyiciliğinin de yüksek olduğu bilinmektedir. Elmanın antimutajenik ve güçlü antioksidan etkilerinin yanında, kanser, diyabet, obezite, kardiyovasküler hastalıklar, astım ve diğer akciğer hastalıklarından koruyucu olduğu, *invivo* çalışmalardan elde edilen önemli bulgulardır (Gerhauser vd, 2008; Yılmaz 2015). Laboratuvarında deney hayvanları üzerinde yapılan çalışmalarda, elmaların güçlü antioksidan aktivitesi ile kanserli hücrelerin çoğalmasını engellediği, serbest radikalleri bağlayarak lipid oksidasyonunu azalttığı, kanın sulanma mekanizmasını daha aktive etmesi ile kolesterolü düşürdüğü ve kanda antioksidan düzeyini artırdığı belirlenmiştir (Bitsch vd, 2001; Boyer ve Liu 2004).

2.2. Kurutma

Kurutma gıda muhafazasında tercih edilen ve uygulanan en genel metotlardan birisidir. Kurutma işleminin amacı, gıdanın çeşidine göre değişkenlik gösterebilmekle birlikte meyve sebze ürünlerinde içerdiği % 80-90 oranındaki suyu % 10-20 oranına düşürerek, ürünün raf ömrünü artırmaktır. Gıda sanayinde ambajlanarak rafa çıkabilen kurutulmuş meyve ve sebze ürünlerinde nem oranı meyve ve sebzelerin türüne göre genellikle % 3-20 arasında değişmektedir (Basunia, 2001). Kurutulmuş üründe mikrobiyolojik gelişim nedeniyle bozulma ve enzim aktivitesi en düşük seviyededir. Depolanması, sevkiyatı kolay ve daha az masraflı olmaktadır. Kurutma birçok gıda saklama yönteminden daha ucuz bir muhafaza yöntemi olup, daha az işçilik ve daha az donanım gerektirmektedir. Kurutma yönteminin bir diğer avantajı ise gıdanın doğal formuna en yakın halinde kalması diğer koruma yöntemleri uygulanmış gıdalara göre, besin öğelerinin korunmasıdır. Kurutulan meyve sebze ürünleri özellikle lif içeriği açısından daha zengin durumdadır (Yaralı, 2014; Kutlu vd, 2015).

Kurutmada amaç su aktivitesi (a_w) değerini güvenli sınır olarak kabul edilen değerin altına indirmek suretiyle gıdayı mikrobiyolojik ve kimyasal değişimlere karşı dayanıklı hale getirmektir. Gıdalarda bozulmaya yol açan bakterilerin gelişebildiği minimum a_w değeri yaklaşık 0,90 civarındadır. Küflerin faaliyetlerinin sona erdiği a_w alt sınırının 0,70-0,75 olduğu bilinmektedir. Mayaların faaliyetleri için ise minimum a_w değerinin 0,85 düzeyinde olması gerekmektedir. Tüm mikroorganizmaların faaliyetlerinin $a_w=0,6$ 'nın altında sona erdiği kabul edilmektedir. Kurutulmuş gıdalarda en önemli reaksiyon olan maillard reaksiyonu a_w 0,6-0,8 düzeylerinde iken en üst düzeyde olduğu görülmüştür (Cemeroğlu vd., 2003).

Mikrodalga ve sıcak hava kombinasyonu ile elma ve mantarların su içeriğinin incelendiği bir çalışmada elmalar ve mantarlar kurutulmadan önce 5 mm eninde doğranmıştır. Elmalar soyulmadan ve çekirdekleri çıkarılmadan işlenmiştir. Mikrodalga ve sıcak hava kombinasyonlu uygulamada nem içeriğinin azaltılmasında mikrodalga gücü olarak düşük güç seviyesi seçilmiştir. Mikrodalga-sıcak

hava kombinasyonu tek başına sıcak havayla yapılan kurutma yöntemi ile karşılaştırılmıştır. Rehidrasyon, renk ve hammaddenin yoğunlukları tespit edilmiştir. En düşük hava hızı 10 m/s olarak tanımlanmıştır. Mikrodalga uygulaması çok fonksiyonlu mikrodalga fırınla uygulanmıştır. Konveksiyonel hava akımı kurutmasına nazaran MW uygulamasıyla rehidrasyon kapasitesinin %20-25 oranında daha iyi olduğu görülmüştür. Kurutulmuş elmalar 4°C’de bir hafta süreyle ve mantarlar ise üç gün süreyle depolanmıştır. Deney sonucunda en iyi kalitede kurutulmuş ürünlerin mikrodalga ile kurutulan ürünler olduğu sonucuna varılmıştır (Funebo ve Ohlsson, 1998).

Kalsiyum ön işleminin, farklı vakumlama düzeyleri ve farklı elma cinslerinin konveksiyonel tip kurutucu ile vakumlu mikrodalga yöntemi ile kurutulmuş elma meyvalarının yapısı üzerine etkilerinin incelendiği bir araştırmada yerel marketlerden satın alınan Golden delicious, red delicious ve fuji cinsi elmalar kullanılmıştır. Haşlama işlemi 2 dakika süresince buharla yapılmıştır. Elma dilimlerinin nem içeriği %5 olana kadar 70°C’de, yaklaşık 3,5 saat, hava akış hızı 1,1 m³/dak. olan hava ile bantlı kurutucuda kurutulmuştur. Dondurarak kurutma işleminde, 100 µmHg vakum altında, oda sıcaklığı 20°C’de, kondenser sıcaklığı -55°C’de 10,5 saatte yapılmıştır. Vakumlu mikrodalga ile kurutmada yüksek vakum uygulaması yoğunluğu düşürmüş ve gevrekliği arttırmıştır. Fuji cinsi elmaların, Red ve Golden delicious cinsi elmalara göre daha yüksek kalsiyum içeriğine ve gevrekliğe sahip olduğu belirlenmiştir. En fazla beğeniyi Fuji cinsi elmalar almıştır (Sham vd., 2001).

Wang ve Chao’nun 2003 yılında yaptıkları çalışmada; elmanın kurutma karakteristiklerini belirlemek için, farklı kalınlıklarda (3, 5 ve 7 mm) dilimlenmiş elma örneklerinin bir kısmını üç farklı dozda (2, 5 ve 6 KGY) radyoaktif madde ile ön işleme tabii tutmuşlar bir kısmını da ön işlem uygulamadan dilimlenmiş olarak üç farklı sıcaklıkta (50, 60, 75 °C), sabit hava hızında (1.8 m/s) ve sabit nem (% 16.8) koşullarında kurutmuştur. Araştırma sonuçlarına göre; radyasyona tabii tutulmuş örneklerde kuruma süresinin azaldığı ve kuruma oranının arttığı görülmüştür. Kurutma sıcaklığı ve dilim kalınlığının ön işlem uygulanmış örneklerde kurutma oranını etkilediği, bu etkileşimde sıcaklık arttıkça ve dilim kalınlığı azaldıkça kuruma oranının arttığı belirlenmiştir.

Golden delicious çeşidi elmanın konveksiyonel fırın koşullarında kurutulması ile kuruma davranışlarının incelendiği bir araştırmada; elmalar laboratuvar tipi konveksiyonel kurutucuda kurutulmuştur. Belirli bir andaki nem içeriğini belirlemek amacıyla çeşitli istatistiksel modeller kullanılmış ve karşılaştırılmıştır. Elde ettikleri sonuçlara göre Midilli ve arkadaşlarının kurutma modelinin yapılan bu deneydeki Golden delicious eşidi elmanın kuruma davranışını diğerlerinden daha iyi açıkladığı belirlenmiştir. En düşük istatistiksel verileri Midilli vd. modeli ile farklı çalışma koşullarına ait katsayılarının elde edildiği hesaplamalar ile bulunmuştur (Mengeş vd., 2005).

Elmanın kurutulması için, otomatik sıcaklık ve güç kontrol yeteneği ile mikrodalga kurutma sistemi geliştirilmiştir. Sıcaklık ve güç kontrollerinin farklı kombinasyonunu dört farklı kurutma metodu ile çalışılmıştır. Geri beslemeli sıcaklık kontrolü ile önceden tanımlanan güç değişkenlerini, en iyi sıcaklık kontrolü ve ürün kalitesinde sonuçlandırılmıştır. Çalışmada ayrıca, geri beslemeli sıcaklık

kontrolünün dahil olmadığı mikrodalga kurutma işlemi sırasında, sıcaklığı sabit bir değerde muhafaza etmenin çok güç olduğu doğrulanmıştır. Mikrodalga kurutma uygulamalarında sıcaklık kontrolü olmadan, mikrodalga güç seviyelerinin belirlenmesi için uygulanabilir olduğunu göstermiştir (Li vd., 2009).

Elma, konveksiyonel kurutma yöntemiyle farklı sıcaklıklarda; 55, 65 ve 75°C ve 2.0 m/s hava akımında kurutulmuştur. Ön işlem uygulaması olarak % 0,5'lik sitrik asit çözeltisine daldırma ve elmaları haşlama işlemine tabi tutulmuştur. Hesaplamalar için 5 farklı matematiksel model kullanılmıştır. Bu modellerle yapılan hesaplamalar sonucunda en iyi kurutma özelliğine sahip olan % 0,5 sitrik asit çözeltisine daldırılmış elmalar olduğu bildirilmiştir (Doymaz, 2010).

1999-2004 yılları arasında 19 yaşından büyük toplam 13292 katılımcı ile gerçekleştirdikleri çalışma epidemiyolojik olarak yapılmıştır. Farklı yaş grubundaki kişiler günlük beslenmelerinde düzenli olarak kuru meyve tüketiminin diyet kalitesine ve obezitenin göstergelerine olan etkisi incelenmiştir. Çalışmada, günde minimum 25g kuru meyve tüketen katılımcılar “kuru meyve tüketen”, 25g’ın altında kuru meyve tüketen katılımcılar ise “kuru meyve tüketmeyen” olmak üzere ikiye ayrılmıştır. Diet kalitesi, USDA’nın (U.S. Department of Agriculture) merkezi bir teşkilatı olan Beslenme Politikası ve Bilgilendirme Merkezi (The Center for Nutrition Policy and Promotion - CNPP) tarafından oluşturulan “The Total Healthy Eating Index-2005” parametrelerine göre puanlanmıştır. Araştırma sonuçlarına göre kuru meyve tüketen ve tüketmeyen kişilerde günlük alınan besin öğelerinin ortalaması kıyaslanmıştır. Karşılaştırma sonucunda, kuru meyve tüketen kişilerde tüketmeyenlere göre; diyet lifi (+6,6g/gün), vitamin A (+173 µg retinol aktivite eşdeğeri / gün), vitamin E (+1,5 mg α-tokoferol / gün), vitamin C (+20 mg/gün), vitamin K (+20 mg/gün), kalsiyum (+103 mg/gün), fosfor (+126mg/gün), magnezyum (+72 mg/gün) ve potasyum (+432 mg/gün) alımları belirtilen miktarlarda daha fazla gerçekleşmiştir (P<0,01). Bununla birlikte, toplam diyet kalitesini ifade eden, “The Totoal Healthy Eating Index-2005” skoru da kuru meyve tüketen kişilerde (59,3±0,5) tüketmeyenlere göre (49,4±0,3) önemli düzeyde (P<0,01) yüksek çıkmıştır. Araştırma kapsamında yapılan antropometrik obezite ölçümleri, kuru meyve tüketen kişilerin tüketmeyenlere göre vücut ağırlıkları (tüketenlerde: 78,2 ± 0,6 – tüketmeyenlerde: 80,7 ± 0,3 kg; P<0,01). Araştırma sonucunda tüm veriler değerlendirildiğinde, kuru meyve tüketiminin diyet kalitesinin arttırılmasında ve obezitenin azaltılmasında önemli etkilerinin olduğu bu sebeple kuru meyve tüketimi konusunda tüketicilerin teşvik edilmesinin gerekli olduğu bildirilmiştir (Keast vd, 2011).

Farklı ön işlemlerin ve uygulanan farklı kurutma yöntemlerinin elmada toplam fenol miktarı ve antioksidan aktivite üzerine etkilerinin araştırıldığı bir çalışmada hammadde olarak 2012 ve 2013 yılı hasadından temin edilen *Starking delicious* ve *Lutz golden* türü elmalar Denizli’nin Çivril ilçesinden hasat edilen meyve bahçelerinden elde edilmiştir. Mikrodalga, Liyofilizatör ve Vakumlu kurutucu olmak üzere 3 farklı kurutucu araştırmada kullanılmıştır. Daldırma çözeltileri askorbik asit ve sitrik asit çözeltileriyle hazırlanmıştır. Çalışma sonucunda elde edilen verilere göre en hızlı kurutma Mikrodalga kurutucu ile sağlanmış, ancak fenolik madde ve antioksidan aktivite açısından en iyi kalite

vakum kurutucu kullanımı ile elde edilmiştir. Fenolik maddelerin ve antioksidan aktivite kaybının en az olduğu vakum kurutucuda kuruma hızında diğer iki yöntemle göre kabul edilebilir olması nedeniyle kabuksuz daldırma çözeltisi uygulanmış *Lutz golden* elmalar, cips üretimi için en uygun hammaddeyi oluşturmuştur. Yapılan analizlerde fenolik maddeler ve antioksidan aktiviteye göre en vasat ürünü kabuksuz *Starking delicious* çeşidi ön işlemsiz Mikrodalga kurutma ile elde edilen elma cipsleri oluşturmuştur (Yokuş, 2014).

2.2.1. Kurutma yöntemleri

Meyve ve sebze ürünlerinin hasatıyla başlayan farklı amaçlara yönelik tercihler söz konusudur. Tüketici tercihlerine cevap verme gayesiyle birlikte üretim proseslerinin de bu tercihlere göre planlanması söz konusudur. Gıda endüstrisinin bu taleplerine yönelik süren deneysel çalışmalar sonunda çok değişik tipte farklı amaçlar için kurutma cihazları meydana getirilmiştir. Birbirine çok benzer operasyonlar için ya da aynı sonuca ulaşabilmek için dahi birbirinden oldukça farklı birden fazla cihazın geliştirilmiş olduğunu görmekteyiz. Bu çeşitlilik gelişen gıda sanayinin kurutma sektörünün o endüstri kolunda uzun yıllar boyunca meydana gelmiş alışkanlığının ve arayışlarının sonucudur. Cihazların yapılarındaki bu farklılıklar sınıflandırmayı güçleştirmektedir (Anonim, 2018b).

Kurutma işlemine giren maddelerin şekli esas alınarak yapılan çalışmalarda kurutucular ana gruplara ayrılmıştır: tepsili veya konveyör üzerinde taşınan, yığın veya tabaka halindeki maddelerin kurutulmasında devamsız kurutucular; atmosferik-kompartıman ve vakum-tepsi (tava) kurutucular olarak ikiye ayrılmıştır. Devamlı kurutucular tünel tipinde tanecik halinde gevşek yapılı maddelerin kurutucuları, döner kurutucularda ise; standart tip, roto-louvre, turbo kurutucular ve konveyör kurutucular olarak gruplanmıştır. Süzgeç-kurutucu karışımı sistemler devamlı bir tabaka halindeki maddelerin kurutulmasında; silindir kurutucular, askı kurutucuları, hamur, lapa veya kek teşkil eden kristallerin kurutulma işlemleri yapılmaktadır. Karıştırmalı kurutucular atmosferik ve vakum ortamında olmak üzere ikiye ayrılmıştır. Çözelti halindeki maddelerin kurutulmasında çift silindirli kurutucular atmosferik ve vakumlu olarak ikiye ayrılmaktadır. İnfrared radyasyon, dielektrik ısıtma ve buzdan buharlaştırma yöntemleri ise özel tip gıdalara özgü sınırlı uygulama alanı bulan yöntemlerdir.(Güngör, 2013).

Gıdalar kurutma ortamı bakımından genel olarak güneşte-açık havada ve yapay-kapalı alanda kurutma yapılmak üzere iki şekilde kurutulmaktadır. Bununla birlikte kurutma işleminin farklı uygulama yöntemleri dolayısıyla da gruplandırılması da söz konusudur. Bu gruplandırmalardan birisi kurutulacak maddedeki suyun uzaklaştırılması amacıyla gerekli ısının buraya taşınma yöntemine dayanmaktadır. Taşınma yöntemine göre; “ konveksiyon, kondüksiyon, radyasyon ve dondurarak kurutma” olmak üzere başlıca 4 farklı kurutma yöntemi söz konusudur (Erdem, 2007; Demirel, 2009).

Konveksiyonel (ısı taşınım) yöntemi ile kurutma: Suyun buharlaştırılması için gereken ısı enerjisi bir gaz tarafından genellikle ortam havası tarafından taşınarak suyun uzaklaştırılması sağlanır. Bu uygulama sıcak hava yardımıyla kurutma yöntemi olarak ta bilinmektedir. Sıcak hava kurutulacak gıda hammaddesinin iç kısımlarından ve tüm yüzeylerinden geçirilir bu şekilde ısı ve nem transferi birlikte gerçekleşmektedir. Prensip olarak kurutucu havanın sıcaklığı, ortam nemi, kurutucu havanın hızı ve gıdanın nem içeriği en önemli parametreleri oluşturmaktadır (Çınar, 2014). Bu gıda kurutma yönteminin farklı uygulama tipleri mevcuttur. Bunlar tünel kurutucular, akışkan kurutucular, püskürterek kurutanlar başta olup cihazın seçiminde kurutulacak olan gıda ürününün fiziksel nitelikleri belirleyici olmaktadır (Günerhan 2015).

Kondüksiyon (ısı iletim) yöntemi ile kurutma: Serbest suyun gıda hammaddesinden uzaklaştırmak için gerekli olan ısı enerjisi fiziksel olarak gıdaya temasla taşınmaktadır. Kurutulacak olan materyal hareketli ya da hareketsiz haldeyken ısı üreten kaynağa temas ederek sıcak yüzeyden gıda maddesine ısı taşınmaktadır. Bu şekilde gıda içerisindeki nem buharlaştırılmakta ve gıdanın kuruması sağlanmaktadır. Valsli (silindirik) temaslı kurutucular gıdanın partikül büyüklüğüne göre en fazla kullanılan sistemler olarak karşımıza çıkmaktadır. Süt tozu, patetes püresi tozu gibi üretim türlerinde kullanılmaktadır (Günerhan, 2015).

Radyasyon (ışınım) yöntemi ile kurutma: Radyo aktif ışıklardan yararlanarak yapılan bu işlemde kurutulacak materyale ısının taşınmasında herhangi bir aracıya gerek duyulmaksızın sistemdeki bir radyasyon kaynağı ile ulaştırılmaktadır. Radyasyon ile kurutmada mikrodalga dielektrik veya infrared (IR) gibi elektromanyetik enerji türlerinden yararlanılmaktadır (Arslan, 2012).

Dondurma yöntemi ile kurutma: Dondurarak kurutma (liyofilizasyon) yönteminde uygulama iki aşamada gerçekleşmektedir. Bunlar gıdadaki suyun buz haline dönüşmesi için önce gıdanın dondurulması ardından da su donmuş vaziyetteyken süblimleşme (suyun katı halden gaz haline getirilmesi) olarak bilinen bir işlem ile uzaklaştırılması olarak tanımlanmaktadır. Gıda -20 °C veya -30°C'lere kadar soğutulmakta akabinde soğuk olan vakum kabinlerinde süblimleşerek kurutulmaktadır (Demirel, 2009). Gıdanın içindeki su buz halinden su haline geçmeden direkt olarak su buharı haline getirilmektedir. İhtivasındaki suyun uzalaştırılması halinde yapıcı deforme olan hassas ürünlerin kurutulmasında başvurlan pahalı bir kurutma yöntemi olarak geçmektedir.

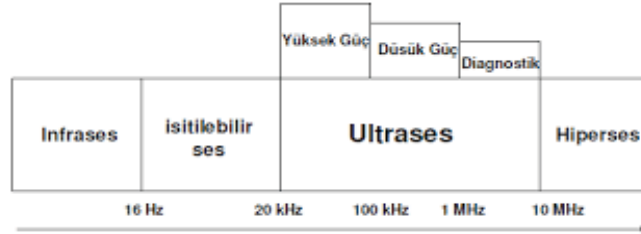
Kurutulmuş meyve sebze bileşenlerine daha az zarar veren, çevre dostu, düşük maliyetli yeni ısısal olmayan yöntemler, kurutma metotlarına entegre edilerek birlikte veya kurutma öncesi ön işlem olarak gerçekleştirilerek gıdaların muhafazasında, işletilmesinde ve ürün kayıplarının önlenmesinde daha yaygın uygulama alanları bulmaktadır (Ulusoy ve Karakaya, 2011). Tüketicilerin taze görünen ve besleyici değeri korunan sağlıklı gıdalara olan taleplerinin artması nedeniyle yeni gıda işleme teknikleri uygulanmaya başlanmıştır (Özlu ve Atasever, 2007). Gıda işleme konusunda yüksek basınç işlemi, ultrafiltrasyon, basınçlı karbondioksit uygulaması, radyo frekansı ve mikrodalga uygulaması, yüksek yoğunluklu darbeli elektrik alan ile pastörizasyon, manyetik alan ısıtma, ohmik ve

indüksiyonlu ısıtma, ultrases uygulamaları, atımlı ışık uygulaması gibi yeni teknolojiler gıda sanayiinin değişik dallarında uygulama alanı bulmaktadır (Kıvanç ve Yılmaz, 2009). Gelişimi süren bu yeni teknolojilerden yapılan bu tez çalışması kapsamında ultrases ile mikrodalga yöntemlerinin uygulanması ve etkinliği üzerinde durulmuştur.

2.2.1.1. Ultrases (ultrason) kurutma

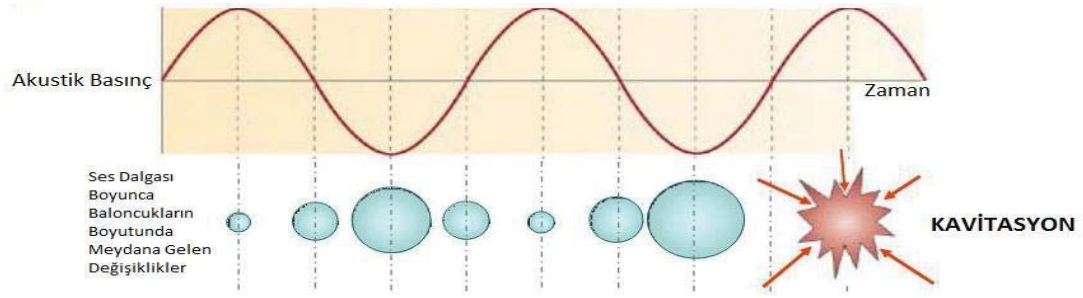
Ultrases işlemleri gıda proseslerinde düşük sıcaklık derecelerinde çalışılması ya da ortaya çıkan sıcaklığı anlık olarak etki ettirmesi sebebiyle ısı kaynaklı kayıplar ile parçalanmaların önüne geçen ısı olmayan ön işlem ve muhafaza yöntemleri içerisinde yer almaktadır. Isı uygulaması içermeyen bu işlemler oda sıcaklığına yakın sıcaklıklarda çalışmaktadır (Ross vd., 2003).

Ultrases (sonikasyon); sözlük anlamı itibariyle, saniyede 20.000 veya daha fazla titreşim gerçekleştiren, titreşim gücü ile katı, sıvı ve gazlardan geçebilen, insan kulağı tarafından algılanamayan ses dalgaları ile enerji meydana getirilmesi olarak ifade edilmektedir. Genellikle, ultrases uygulamalarında 20 kHz' den 10 MHz'e kadar değişen frekanslar kullanılmaktadır (Sayın ve Tamer, 2014). Ultrasesin elektromanyetik dalga boylamı olarak bulunduğu yer insan kulağının işittiği eşğin altındaki seviyelerden başlamaktadır. Şekil 2.1'de ultrases dalgaları MHz yoğunluğu yönünden gösterilmiştir (Mason,1999).



Şekil 2.1. Ultrasesin ses skalasındaki yeri (Mason,1999)

Güçlü ultrases özellikle ısıya duyarlı gıdaların kurutulmasında daha yaygın kullanılan bir yöntem olarak görülmektedir. Ürünler konveksiyonel sıcak hava akımlı kurutucularından daha düşük sıcaklıkta ve daha hızlı sürede kurutulabilmektedir (Sun, 2005). Ultrasesin gıda proseslerinde yarattığı temel etki mekanizması kavitasyon oluşumuna dayanmaktadır. Şekil 2.2'de kavitasyon oluşumu görülmektedir.



Şekil 2.2. Gıdalarda ultrases uygulamasında kavitasyon oluşumu (Docplayer, 2018)

Ultrases uygulamasında kullanılan ses, sürekli dalga-tipi bir salınım hareketi oluşturmaktadır. Simülatif bir dalga oluşturmaya benzetilebilmektedir. Sıvı ya da gaz dolu bir ortama girdiğinde, bu hareketin bir sonucu olarak boylamsal dalgalar oluşturur ve bu durumda ortamdaki partiküller üzerinde bir sıkışma ve genleşme oluşturmaktadır. Uygulanan ses dalgasının büyüklüğü ve kullanılan frekansa bağlı olarak çok çeşitli uygulamalara olanak sağlayan bir seri fiziksel, kimyasal ve biyokimyasal etkiler gerçekleşebilmektedir. Yüksek şiddetli ultrasonikasyon uygulanan sıvıda yüksek basınç ve düşük basınçlı dalgalar oluşturmaktadır (Knorr vd., 2004).

Düşük basınçlı dalga oluşumu ile ultrasonik dalgalar küçük vakum baloncuklar meydana getirirler ve bu baloncuklar daha fazla enerji absorblayamayacak hacme ulaştıklarında, yüksek basınçlı dalga oluşumu ortaya çıkar ve eş zamanlı olarak içe doğru patlarlar. Bu fiziksel olaya kavitasyon denilmektedir. Kavitasyon sonucunda 1000 atm'nin üzerinde basınç ve büyük bir enerji oluşmaktadır. Bu enerji, kabarcıkların oluşturduğu yüzeyi ya da bölgeyi ısıtır ve ultrases işleminde beklenen etkiye neden olmaktadır. Farklı gıda materyallerine yapılan ultrases işleminin amacı farklıdır (Vercet vd., 2001).

24 kHz frekansa sahip ultrases üreticisi prob ile yüksek yoğunluklu ultrases frekanslarına temas eden elma, kereviz, havuç ve patatesin kurutma süreçleri incelenmiştir. 30, 40 ve 50 °C hava sıcaklıkları ve 3.9 m/s hava hızı koşullarında en uygun kurutma koşulları, kereviz için %100 genlik, 1.0 vurum ve 30°C; elma için %100 genlik, 1.0 vurum ve 30°C; havuç için %70 genlik, 1.0 vurum ve 50°C ve patates için %70 genlik, 0.7 vurum ve 50°C olarak belirlenmiştir. Ultrasesin kuruma hızı üzerine etkisinin sırasıyla; elma, kereviz, havuç ,patates sıralamasına göre arttığı; sıralamanın bu şekilde gerçekleşmesinin yapı ve bileşimdeki hava boşluklarının ultrases etkisini artırıcı, şeker ve nişasta varlığının ise etkiyi azaltıcı özelliğe sahip olmasından kaynaklanabileceği bildirilmiştir (Kantaş, 2007).

Yapılan literatür incelemelerinde gıda proseslerine yönelik olarak uygulanan ultrases ile bu uygulamaların sonuçlarına yer verilmiştir (Tavman vd., 2009). Gıda üretim süreçlerinde belli başlı ultrases uygulamaları Çizelge 2.1'de özetlenmiştir.

Çizelge 2.1. Ultrasesin gıda üretim proseslerinde mevcut uygulamaları

Gıdalarda Uygulama Alanları	Elde Edilen Sonuçlar
Şekerlemelerin ve katı yağların kristalizasyonu	Kristalize şekerin akışını artırır şekerleşen yapıda çekirdeklenmenin dağılımını üniformize eder. Yapıda toplanmayı dağıtır. Konsantre olan şekerli gıdaların üretim alanlarında stabilite için uygulanabilir.
Karıştırma, homojenize etme ve emülsifikasyon	Hemen tüm karıştırma işlemlerinde uygulanabilmekle birlikte emülsiyon kırma işleminde de kullanılabilir.
Et prosesleri ve tenderizasyonu	Kürlenmiş veya aromatize edilmiş etlerde miyofibriller proteinlere etki ederek etin olgunlaşmasına destek sağlar.
Hijyen ve yüzey dekontaminasyonu	Temizliği zor olan boruların cidarlarında ve kesimhanelerde kullanılan alet-ekipman temizliğinde ayrıca kimyasal yollu yapılan sanitasyona ilave olarak uygulanabilir.
Enzim inaktivasyonu	Sakkarozun parçalanması (inversiyonu), pepsin, oksidaz inaktivasyonu üzerinde etkilidir. Redüktaz ve amilazlar ultrases uygulamasına karşı oldukça dirençlidir, katalazlar ise sadece düşük konsantrasyonlarda etkilenir.
Canlı hücrelerin aktivasyonunun artırılması	Düşük güçteki ultrases, hücre duvarına zarar vermeksizin hücrelerin etkinliğini artırır. (Süt ürünlerinde Lactobacillus etkinliği, unlu mamüllerde mayaların çalışması gibi)
Ultrases destekli dondurma	Dondurma işlemleri sırasında buz kristal büyüklüğünün kontrolü ve buz kristal oluşum evresinde geçen sürenin kısalması dolayısıyla yapının daha az deformasyonunda etkili olabilir.
Ultrases destekli filtrasyon	Filtrasyon sırasında filtre yüzeyinden birim zamanda süzüntü madde geçişini artırır.
Ultrases destekli kurutma proseslerinde düşük güç uygulamasında ön işlem	Sıcak havayla kurutma işleminde ultrases kombine ya da ön işlem olarak kullanıldığında gıda maddesinin dokularında açılma meydana getirerek kurutma etkinliğini artırır. Daha düşük sıcaklıklarda ve hava hızlarında yüksek verimle kurumayı sağlar. Uygulama verimliliğini artırarak daha hızlı kurutma yapılmasına yardımcı olur.
Mikrobiyal inaktivasyon	Sıcaklık ve basınçla kombine uygulandığı zaman mikrobiyal inaktivasyonu artırır ve aynı kaliteyi sağlamak için gerekli işlem süresini kısaltır.

Muz'un kuruma kinetiğinde ultrasesin etkilerinin araştırıldığı bir çalışmada, örneklerle 30 °C'de su banyosunda 25 kHz frekansta, 10, 20 ve 30 dakikalarda ultrases ön işlemi uygulanmıştır. Hammaddes: su oranı 1:4 olarak ayarlamıştır. Kurutma işlemi, iki farklı sıcaklıkta (50 °C ve 70 °C) ve 3,0 m/s'lik bir hava hızında, sabit yataklı bir kurutucu içinde gerçekleştirilmiştir. Page deneysel modeli, kuruma eğrilerinin en iyi uyumluluğunu vermiştir. Difüzyon modeli, nem transferini ve suyun difüzyon etkisini tanımlamak için kullanılmıştır. Ultrases ve sıcaklık artışıyla bu difüzyon etkisi artarken işlem süresi kısalmıştır (Azoubel vd., 2010).

Schössler vd.,’in 2012 yılında yaptıkları çalışmalarında; elma ve kırmızı dolmalık biberin ultrases destekli sıcak hava ile kurutulmasını incelemiştir. Kurutma işlemi 24 kHz frekansa sahip bir ultrases halkasının 70°C’lik sıcak hava ile kombine edildiği bir sistemde gerçekleştirilmiştir. Ultrases destekli kurutma işlemi ile geleneksel yöntem sonucu elde edilen son ürünün su oranı arasında istatistiksel açıdan anlamlı bir fark bulunmuştur ($p<0.05$). Toplam kuruma süresi kırmızı dolmalık biber için %23 (250’den 204 dakikaya), elma için %27 (313’den 230 dakikaya) oranında azalmıştır

Nowacka vd. (2012) elmanın kurutma öncesi kütle transferini artırma metodu olarak ultrases kullanımı araştırılmıştır. Bunun için 35 kHz frekansta, su banyosunda 10, 20 ve 30 dakikalarda ultrases gücü kullanmışlardır. Elma küpleri 70 °C’de ve 1,5 m/s hava hızında konveksiyon yöntoduyla kurutulmuştur. Kurutma üzerine ultrases ön işleminin etkisi araştırılmıştır. Ultrases ön işlemi uygulanan örneklerin kuruma süresinde, işlem uygulanmamış örneklere göre % 31 oranında azalma gözlemlenmiştir. Ayrıca ultrases uygulanmış elmalarda % 9-10 daha yüksek oranda büzülme, % 6-20 oranında daha düşük yoğunluk ve % 9-14 oranında daha yüksek gözenekli yapı gözlemlenmiştir.

Nowacka vd. (2014) kivi meyvesinin mikro yapısı ve su içeriği üzerinde ultrases ön işleminin ozmotik dehidrasyonu nasıl etkilediğini incelemiştir. Kivi dilimleri (10 mm kalınlığında), 10, 20 ve 30 dakika boyunca 35 kHz frekansta bir su banyosu içinde ultrases dalgalarına maruz bırakılmıştır. İşlem 25 °C’de (oda sıcaklığı) yapılmış, su banyosu için hammadde:su oranı; 1:4 olarak ayarlanmıştır. Daha sonra örnekler % 61,5 sakkaroz çözeltisi içerisinde (25 °C) 0, 10, 20, 30, 60, 120 dak. batırılmıştır. Sonuç olarak 10 dak.’den daha uzun süre US ön işlemi uygulanmış örneklerin US etkisiyle hücreler arası ortalama kesit alanının da artış ve mikrokanaallar meydana gelerek ozmotik dehidrasyon ile kütle transferinde olumlu etki sağladığı tespit edilmiştir.

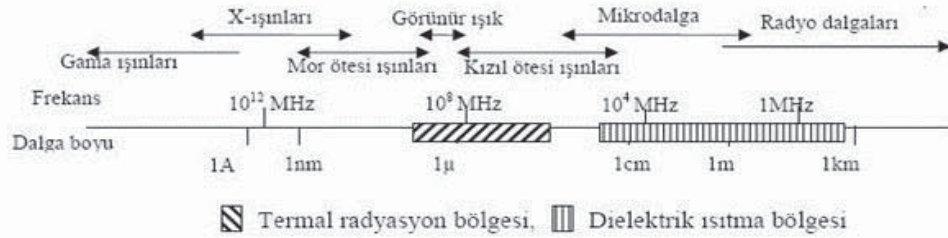
Ultrases’in bazı meyve ve sebzelerin kuruma hızı üzerine etkisinin araştırıldığı tez çalışmasında 24 kHz frekanslı ultrases üretici kullanılmış, genlik ve vurum değerleri, sırasıyla % 40, % 70, % 100 ve 0.4,-0.7,-1.0 olarak seçilmiştir. Kurutma havası sıcaklıkları 30, 40 ve 50 °C olarak belirlenmiş ve havanın hızı 3,9 m/s olarak sabitlenmiştir. Kullanılan örneklerin çapını 13,5 mm ve kalınlığını 5,0 mm olarak belirlemiştir. Ultrases yardımıyla kurutmanın, seçilen meyve ve sebzelerin kuruma hızını, kullanılan tüm kurutma koşullarında, düzeyi örneklerin yapısal özelliklerine bağlı olacak şekilde, artırdığı gözlemlenmiştir. Buna göre, en uygun kurutma koşulları, kereviz için, % 100 genlik, 1.0 vurum ve 30 °C; elma için, % 100 genlik, 1.0 vurum ve 30 °C; havuç için, % 70 genlik, 1.0 vurum ve 50 °C ve patates için % 70 genlik, 0.7 vurum ve 50 °C olarak bulunmuştur (Kantaş, 2007).

Fernandes vd.’nin (2008) ananas (*Ananas comosus*) kurutması üzerine yaptıkları çalışmada kurutma öncesi ananaslara ultrases destekli ozmotik dehidrasyon uygulamış ve kuruma süresine etkisini incelemiştir. Sonuçlar ultrasesin su difüzyonu arttırdığını madde geçişlerini hızlandırdığını ve genel olarak kuruma süresinin % 8 (1 saat üzerinde) oranında kısalttığını göstermiştir.

Bir diğer araştırmada Romero ve Yépez (2015), Andean böğürtlenini (*Rubus glaucus* Benth) ultrases ön işlemleri uygulayarak konvektif kurutmuşlardır. 0 - 90 µm titreşim genliğinde, 10-30 dak. sürelerde uygulanan ultrasesin ve kurutma sıcaklığının (40 °C- 60 °C) meyvenin antioksidan bileşimi ve konvektif kuruma kinetiğine etkisi incelenmiştir. Titreşim genliği ve kurutma sıcaklığı gibi değişkenlerin meyvenin kuruma oranına etkisi daha fazla olmuştur ve meyvede antioksidan aktivitesi titreşim genliği ve ultrases süresi arttıkça azalmıştır. 20 dakika ve 90 µm titreşim genliğinde ultrases ön işlemleri sonrası 60 °C’de kurutulmuş örneklerde kuruma hızı yaklaşık beş kat artmıştır. Araştırmaya göre böğürtlen kurutma prosesinde ultrases ön işleminin uygulanmasıyla konvektif kuruma yönteminde kuruma süresince istenilen nem değerine daha kısa sürede ulaşılabilir.

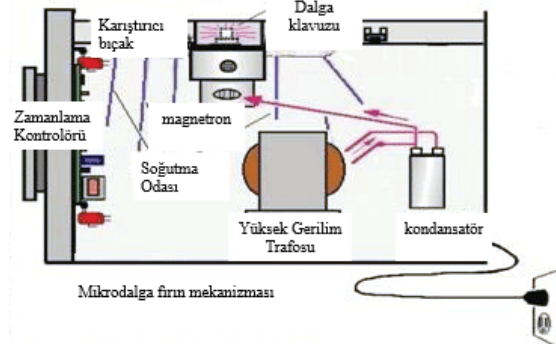
2.2.1.2. Mikrodalga ile kurutma

Mikrodalga sözcüğü elektromanyetik dalga boyunun 1 metreden kısa olduğu anlamına gelmektedir. Mikrodalgalar genellikle 300 ila 300.000 MHz frekans aralığında olan elektromanyetik dalgalar (Nayak, 2013). Bir diğer tanımda ise mikrodalgalar, 1 mm - 1 m dalga boyu ve 300 MHz - 300 GHz frekans aralığında kızıl ötesi ile radyo frekansları arasındaki bölgede bulunan aralıktaki tanımlanmıştır (Kalender, 2013). Gıda proseslerinde değişik sektörlerde farklı uygulama alanlarında yaygın olarak 2450±50 MHz ve 915±13 MHz frekansları kullanılır. Şekil 2.3’te elektromanyetik dalga spektrumu gösterilmektedir (Karcı, 2008).



Şekil 2.3. Elektromanyetik dalga spektrumu

Mikrodalga (MW) ile gıda ısıtmada gıdaların yalıtkanlık özelliğinden yararlanılmaktadır. Elektrik enerjisi, magnetron adı verilen elektron tüpü ile yüksek frekanslı elektromagnetik enerjiye dönüştürülmektedir. Elektromagnetik enerji amplikatör adı verilen mikrodalga fırın içerisindeki bölümden ısıtma yapmakta ve gıda ile etkileşime girerek gıdadaki suyu polarize etmektedir. Suyun polarize olması gıdayı titreşime zorlamakta ve bunun sonucunda elektromagnetik enerji ısıya dönüşerek gıdanın içerisindeki suyun ısınmasına yol açmaktadır. Mikrodalga ortamı gıdanın polarize suyunu önce ısıtma ardından da buharlaştırıcı etkiyle kurutmaktadır (Kıvanç ve Yılmaz, 2009). Mikrodalgaın temel birimleri Şekil 2.4’te gösterilmiştir (Anonim, 2018c).



Şekil 2.4. Mikrodalga fırının temel birimleri

Gıda maddesinin içinde yer alan su molekülleri rast gele dağılmıştır. Gıdada mevcut yapıda bulunan bu serbest su fırın duvarlarından yansıyan mikrodalgaları absorbe ederek, dalgaların elektrik alanına göre düzenli bir yapıya geçme eğilimi göstermektedir. Elektrik alan saniyede milyarlarca (yaklaşık $2,45 \times 10^8$) kez salınarak su moleküllerinin konumlarının değişmesine sebep olmaktadır. Oluşan sürtünmenin etkisiyle gıda maddesinin tüm bölgesi eşit düzeyde ve aynı anda ısınmaktadır. Böylelikle gıdalar, pişirilebilmekte, kavrulmakta, kurutulmakta veya sterilize edilebilmektedir. Mikrodalga ortamında proses uygulayabilmek adına gıda maddesinin dielektrik kaybına sahip olması gerekmektedir. Değişken bir elektromanyetik alan uygulandığında madde içinde dipolar elektrik yüklerinin oluşması gerekmektedir. Su molekülleri dipolar elektrik yükleri oluşturabilmektedir. Serbest su içeren tüm gıdalar mikrodalga ile ısıtmaya uygun halde bulunmaktadır (Anonim, 2018c).

Geleneksel kurutma sistemlerinin aksine mikrodalga ile kurutmada, ısı direkt olarak gıda materyalinin içinde meydana gelir ve gıda materyalinin içinden dışına doğru iletilmektedir. Mikrodalga proseslerinde uygulamanın yapıldığı ortam değil gıda maddesi ısıtılmaktadır. Geleneksel hava akımlı ya da yüzey ısıtımli yöntemlere göre mikrodalga ortamında kurutmada ısıtma hızı ve ürün kalitesi yüksek, işlem süresi kısa olmaktadır (Gölcü ve Şen, 2014). Gıdaların mikrodalga ile ısıtılmasına etki eden faktörler; frekans, mikrodalga gücü ve ısıtma hızı, sıcaklık, gıdanın kütlesi, su içeriği, yoğunluk, fiziksel geometri, termal özellikler, elektriksel iletkenlik gibi bir takım özelliklerdir (Konak vd., 2009).

Mikrodalga ile işlem gören gıdalarda ısı uygulamalara hassasiyet gösteren antioksidantlar, vitamin ve mineral kayıplarının daha az olduğu belirtilmiştir. Bunlara ek olarak ekipmanın az yer kaplaması, kolay temizlenebilmesi ve proses sırasında enerjiden tasarruf sağlanması diğer avantajlı yönleri olmaktadır. Enerji tasarrufu mikrodalgaların ısıya dönüşüm verimi ile ilgili olmaktadır. Isı verimi mikrodalga fırınlarda %40'a kadar çıkarken geleneksel fırınlarda bu verim %7-14 arasında değişmektedir. Mikrodalga ısıtma ortamında gıdanın içinden ısınma meydana geldiği için sıcaklık dağılımı daha homojendir ve yüzeyin aşırı ısınması önlenebilmektedir. Bu sayede üründe oluşabilecek yüzey sertleşmesi, kabuk oluşumu gibi bazı olumsuz durumlar önlenebilmektedir (Konak vd., 2009).

Diğer ısıtma ya da kurutma yöntemlerinde de olduğu gibi mikrodalganın avantajlarının yanı sıra bazı dezavantajları da bulunmaktadır. Mikrodalga fırınlarda kullanılan magnetronlar geleneksel kurutma elemanlarına göre pahalıdır. İnsan sağlığı açısından radyasyon sızıntısı tehlikesine karşı tamamen kapalı sistem olması gerekmektedir. Sızıntıların tamamen önüne geçilmiş olunmalıdır. Köşe ve kenarlarda kalabilen gıda bileşenlerinin bulunması ve aşırı ısınması sonucunda yanmalar meydana gelmektedir. Geniş parçalı gıda maddelerinin merkezinde pişme ya da kuruma tam gerçekleşmeyebilmektedir. Kullanılacak ısıtma malzemelerinin mikrodalgaya uygun olması gerekmektedir (Anonim, 2018c). Çizelge 2.2’de bazı gıda proseslerinde mikrodalga uygulamaları verilmiştir.

Çizelge 2.2. Gıda proseslerinde mikrodalga uygulamaları (Konak vd., 2009).

Uygulama	Frekans (MHz)	Güç (kW)	Ürün
Temperleme ve Kütleme Kesikli Sürekli	915	30-70	Kırmızı et, balık eti, kümes hayvanları etinde kütleme ve dokunun homojenize edilmesi proseslerinde, emülsifiye et ürünleri uygulamalarında
Kurutma Vakumlu Dondurarak	915/2450	30-50	Makarnaların yüzey olgunlaştırılması ve renk oluşumunun stabilitesinde, soğan halkası dondurma, çerez gıdalar, meyve sularının filtrasyonundan önce
Ön ısıtma	915	50-240	Domuz pastırması, köfte, kümes hayvanları eti, sucuk, sosis, sardalya gibi paketlenen ürünlerde ön ısıtma işlem uygulamasında
Pastörizasyon / Sterilizasyon	2450	10-30	Taze makarna, hazır yemekler, poşet ambalajlı gıdalar, yarı katı gıdalar, süt, dilim ekmek gibi kimyasal sanitasyon yapılamayan koşullarda
Fırında Pişirme	915	2-10	Ekmek, donat (donut) fermantasyonunu başlatarak ürün olgunlaştırma aşamasında kullanım alanı bulunmaktadır.

Ren ve Chen, 1998, Amerikan Ginseng köklerini mikrodalga-sıcak hava akımı yöntemiyle kurutmuştur. Amerikan Ginseng kökleri, modifiye edilmiş bir mikrodalga fırında kurutulmuştur. Yöntem olarak 100g ginseng kökü, hava sıcaklığı 40°C ve hava akım hızı 60 L/dak. olarak almışlardır. Mikrodalga sıcak hava kombinasyonu için kullanılan mikrodalga gücü 60 W olarak seçilmiştir. Ürünler %10 neme ulaşınca kadar kurutulmuştur. Mikrodalgada 2450 MHz’de çalıştırılmış ve enerji tüketimleri ölçülerek mukayese edilmiştir. Sıcak hava akımı-mikrodalga kombini ile kurutulan ürünlerde, kurutma süresi azalırken (%28.7-55.2), ürün kalitesinde ve renginde küçük bir negatif etki görülmüştür.

Funebo ve Ohlsson tarafından (1998)'de mikrodalga ve sıcak hava kombinasyonu ile elma ve mantarların su içeriğinin azaltılması konulu bir çalışma yapılmıştır. İşlemler esnasında elma meyveleri bütün olarak 4 °C' de en fazla bir hafta süreyle ve mantarlar ise üç gün süreyle depolanmıştır. Elmalar ve mantarlar kurutulmadan önce 5 mm eninde doğranmıştır. Elmalar soyulmadan ve çekirdekleri çıkarılmadan kurutulmuştur. Mikrodalga ve sıcak hava kombinasyonlu uygulamada nem içeriğinin azaltılmasında mikrodalga gücü olarak düşük güç seviyesi seçilmiştir. Çalışma, mikrodalga ile sıcak hava akımı kombinasyonunun sıcak havayla karşılaştırılması olarak yürütülmüştür. Rehidrasyon kapasitesi, kurutma işlemleri sonrası renk parametreleri ve kurutma işlemleri öncesindeki elma ve mantarların yoğunlukları alınmıştır. Bu kalite parametrelerine göre yüksek hava hızının yanmalara ve kahverengileşmeye (esmerleşme reaksiyonları) neden olması sebebiyle en düşük hava hızı 10 m/s olarak uygulanmıştır. Çok fonksiyonlu mikrodalga fırınla uygulanan kurutma işleminde rehidrasyon kapasitesinin %20–25 oranında daha iyi olduğu görülmüştür. Kurutma neticesinde en iyi kalite ürünlerinin mikrodalga ile kurutulan ürünler olduğu sonucuna varılmıştır.

Andres vd., 2004, Granny Smith çeşidi elmayı sıcak hava akımı entegreli mikrodalga fırın kurutucuda, 25, 30 40 ve 50 °C sıcaklıklarda kurutmuştur. Kurutma sıcaklığı ve mikrodalga gücüne bağlı bir deneysel model önermiştir.

Asma yapraklarının ince tabaka kurutma kinetiğinin belirlenmesi, deneysel olarak elde edilen kurutma verilerinin, literatürde daha önce tanımlanmış olan 7 farklı ince tabaka kurutma modeline göre deneysel verilere en yakın sonuçları veren en iyi matematiksel modelin seçilmesinin hedeflendiği ayrıca kurutulan örneklerin renk ve askorbik asit içeriğinin taze ürünlerle karşılaştırılması ve kalite parametreleri açısından en uygun mikrodalga kurutma seviyesinin tespit edilmesinin araştırıldığı bir çalışma yapılmıştır. Bu çalışmaya göre ilk nem seviyesi yaş baza göre %75.35 (± 0.02) olan 50 (± 0.05) g ağırlığındaki asma (*Vitis vinifera* L.) yaprakları yaş baza göre nem seviyesi %9.13 (± 0.12) oluncaya dek 17, 15 ve 13 W g-1 mikrodalga güç yoğunluk seviyelerinde kurutulmuştur. Kurutma işlemleri 3 farklı güç yoğunluğunda gerçekleştirilmiş ve kurutma süresi güç yoğunluğuna bağlı olarak 210 – 270 s sürmüştür. Bu çalışmada, 7 farklı ince tabaka kurutma modelinin yanı sıra Midilli vd.'nin eşitliğinden türetilmiş olan ve Alibas yaklaşımı olarak adlandırılmış yeni bir kurutma yaklaşımı ile deneysel olarak elde edilen veriler modellenmiştir. Buna göre çalışmada kullanılan üç farklı mikrodalga güç yoğunluğunda da elde edilen deneysel verilere en yakın sonuçları veren model Alibas modeli olarak belirlenmiştir. Çalışmada ayrıca mikrodalga ışınlarla kurutulan asma yapraklarının renk ve askorbik asit değerleri taze asma yapraklarının renk ve askorbik asit değerleri ile karşılaştırılmıştır. Buna göre taze ürüne en yakın renk ve askorbik asit değerinin 15 W g-1 güç yoğunluğundaki mikrodalga kurutma sırasında elde edildiği anlaşılmıştır (Alibaş, 2012).

Mikrodalga ve sıcak hava akımı kurutma uygulamalarının birlikte uygulandığı çalışmada, kayısı ve kiraz meyveleri kurutulmuştur. Meyvelerin çekirdekleri uzaklaştırılarak bütünsel olarak kurutulmuştur. Denenen kurutma işlemleri sonunda ürünlerin renk, koku, tat gibi tüketici beğenisine hitap eden niteliklerini kaybetmediklerini belirtilmiştir. Kurutulan meyvelerde renk değişimlerinin

geliştirilmeye ihtiyaç duyduğu daha iyileştirilmesi yönünde çalışmalar yapılarak nihai üründe kalitenin arttırılabileceği sonucuna varılmıştır (Özkan ve Işık, 2001).

Ultrason-mikrodalga uygulaması ile ultrason-konvektif kurutmaya dayalı hibrit kurutmanın etkinliği üzerine yapılan çalışmada yeşil biberlerin kurutma kinetiği, enerji tüketimi ile bunun yanı sıra yeşil biberlerin kalite yönü analiz edilmiştir. Ultrason ön işlemiyle birlikte uygulanan kurutma yöntemlerinin kuruma sürelerini önemli ölçüde kısalttığı gösterilmiştir. Kuruma süresi, enerji tüketimini azaltmakta ve kalite faktörlerini olumlu yönde etkilemektedir (Szadzinska vd., 2016).

2.3. 3688 Sayılı T.S.E Standardına Göre Kurutulmuş Elma

Türk Standartları Enstitüsü (TSE), her türlü madde ve mamüller ile usul ve hizmet standartlarını yapmak amacıyla 18.11.1960 tarih ve 132 sayılı Kanunla kurulmuştur. Üretilen gıdalarda dahil olmak üzere Ulusal çapta standardizasyonla üretim verilerini bilimsel olarak sınıflandırmak belli başlı görevleri arasındadır (TSE, 2018). Kurutulmuş elma 3688 sayılı TSE standardında incelenmiştir. Bu standart, elma ağacının *Mallus communis* (L.) meyvelerinden, meyvelerin dilimlenerek veya elmanın yuvarlak kesilmesi (enine) ile elde edilen ve insan tüketimi için uygun-kabul edilebilir limitlerde olan kurutulmuş elmaları ve bunların deney metotlarını kapsamaktadır.

Standarta göre kurutulmuş elmalar, *Mallus communis* (L) türüne giren olgun, sağlam elmaların güneşte doğal yöntemiyle veya kurutucu sistemlerde yapay olarak kurutulmuş formları olup, bunlar meyve kabuğunun soyulması, çekirdek evinin çıkarılması ile dilimlere ayrılması veya halkalar halinde kesilmesiyle elde edilmeli ve kurutulmuş elmalar sağlam ve temiz olmalıdır.

Kurutulmuş elma dilimlerinin kalite parametreleri tat-koku, küf, böcek zararı arılığı, yabancı madde, bozuk-çürük olarak kurutulma, renk, rutubet muhtevası, kükürt dioksit muhtevası ve asitte çözünmeyen kül içeriği gibi niteliklerinin kabul edilebilir limitleri Türk Standartları Enstitüsü Kurumunca saptanmıştır. Bu öğeler temel sınıflandırma ve kalite parametreleri olarak kabul edilmiştir. Bu sınıflandırma parametreleri Çizelge 2.3.'de tanımlandığı gibidir.

TSE'ye göre kurutulmuş elmanın sınıflandırılması renkteki üniform dağılım, dilim çapının hasarsızlığı, çekirdek evi kusurları, esmerleşme değerleri başta olmak üzere temel kalite kriterlerine göre 3 sınıfta yapılmaktadır. Bunlar en üstün niteliklikten başlamak üzere; ekstra sınıf, I. sınıf ve II. sınıf olmak üzere 3 sınıfta tasniflenmektedir. Bu sınıftaki kurutulmuş elmalar için izin verilebilen bütünselliğini koruyamayan kurutulmuş dilimlerde kusur oranları, Çizelge 2.3.'de verilen değerleri geçmemelidir. TSE'ye göre büyüklük tayini çap büyüklüğüne göre yapılmaktadır. Kurutulmuş elma dilimlerinde %90 'ından fazlasında çap, 10 mm- 25 mm arasında olmalıdır. Halka dilimlilerde en büyük halkanın (ekvatorial) çapı, en az 30 mm olmalıdır (TSE, 2002).

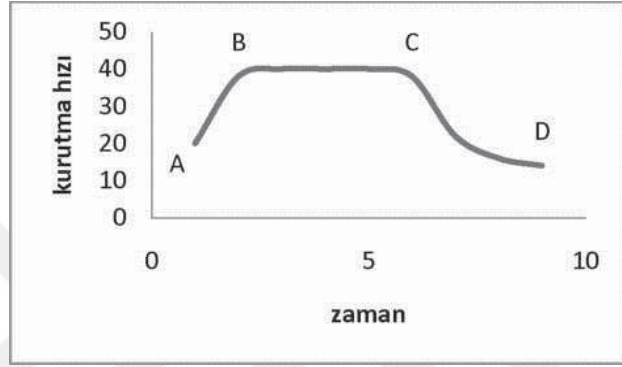
Çizelge 2.3. Kurutulmuş elma standardı (TSE 3688)

Sınıf	Böcek zararlı kurutulmuş elma, % (m/m) (en çok)	Bozuk kurutulmuş elma, % (m/m) (en çok)	Kırık kurutulmuş elma parçaları, % (m/m) (en çok)	Elma kırıntıları, % (m/m) (en çok)	Elma çekirdek evi ile bunun kabuğu, % (m/m) (en çok)	Sap veya tohumlar, % (m/m) (adet)	Kükürt dioksit SO ₂ kalıntısı, % (m/m) (en çok)	Renk	Renkten sapma, % (m/m) (en çok)	Yabancı madde, % (m/m) (en çok)
Ekstra	1	2	5	1	5	2	0,10	Dilimlerin kesim yerinde açık ve varyetenin karakteristik özelliklerini gösterir hafif kahverengileşme	2	0,5
Sınıf I.	2	3	10	2	10	5	0,15	Dilimlerin kesim yerinde açık ve varyetenin karakteristik özelliklerini gösterir hafif kahverengileşme	5	1,0
Sınıf II.	3	4	15	4	15	7	0,20	Açık kahverengi	10	1,5
Elmanın çekirdek evi ile birlikte çapı 12 mm 'yi geçen çember şeklindedir. Sap ve/veya tohumlara bağlı elma parçası.										

2.4. Kuruma Kinetiği ve Matematiksel Modelleme

Kurutulan gıda maddesindeki nemin geçişi; sıvı difüzyonu, buhar difüzyonu ve basınç farkıyla gerçekleşir. Oluşabilecek bu ana unsurların dışındaki şartlarda düşük sıcaklık ve basınç değerlerinde yapılan çalışmalarda Knudsen Difüzyonu da oluşmaktadır. Kurutma proseslerinde ısı ve kütle transferi birbirinden ayrılmaz bir süreç izleyerek bir arada gerçekleşir. Gıdalarda kurutma üç temel aşamada gerçekleşmektedir. İlk aşaması olan (A-B) bölgesinde (Şekil 2.5) gıda ile üzerinden geçen hava arasındaki sıcaklık farkı sebebiyle, havadan ürün yüzeyine taşınım ile duyulur ısı akımı oluşmaktadır. Bu ısı enerjisi gizli ısıya dönüşmekte ve gıdanın yüzey alanından buharlaşmayı sağlamaktadır. Enerjinin büyük çoğunluğu kurumayı değil gıdanın sıcaklığını arttırmak amacıyla kullanılır. İkinci aşamada ürün içindeki nem iç kısımlardan difüzyon veya kapiler kuvvetle yüzeye gelerek, yüzeyin doymuş kalmasını sağlamaktadır. İkinci aşamada kurutma işlemi sabit hızla gerçekleşmektedir. Bu aşama grafikte (B-C) dönemi olarak ifade edilmektedir. Kurutma yüzeyi sürekli olarak iç bölgelerden gelen nemle doymuş olmuştur. Bu aşamanın süre ile olan ilişkisi gıdanın yüzey alanlarına ya da kısacası kurutma öncesi şekline bağlıdır. Nem miktarı yüksek olan gıda maddesinde kurutma süreci uzun süre devam edebilmektedir. Gıda maddesinin içinden yüzeye nakledilen nem miktarı kuruma yüzeyinden buharlaşan nem miktarından daha düşük bir seviyede kalmaktadır. (C-D) alanı olarak gösterilen bu alanda yüzey kurduğundan, nemli iç yüzeyle arasında bir katman oluşmaktadır. Bu süreçten itibaren

nemin maddeden uzaklaşmasını engellemektedir. Gıdanın su verebilme kabiliyeti, nem kesri oranının düşmesi ile havanın nem tutabilme kapasitesinden aşağıya düşmektedir. Dolayısıyla kurutma hızı azalmaktadır (Çelen, 2010). Gıda maddelerinde geline bu seviyedeki nem içeriğine kritik nem içeriği değeri denmektedir. Temel olarak su içeriği yüksek olan tüm gıdalarda dahil olmak üzere kuruma yavaşlamakta ve azalan hızda kuruma aşamasına geçilmektedir. Azalan hızda kurutma aşaması kritik nem kesri ile başlar ve eğer kurutma süresince nem kesri bu kritik değere düşmüyorsa, tüm kurutma sabit hız periyodunda gerçekleşmektedir. Kurutma başlangıcında maddenin nem kesri kritik nem kesrinin altında ise kurutma yalnızca azalan hız periyodunda gerçekleşmektedir. Gıdalarda genel kurutma grafiği Şekil 2.5 'te gösterilmektedir.



Şekil 2.5. Gıdalarda temel kurutma aşamalarını gösteren genel grafik

Sabit hızlı kuruma periyodunda kurumayı; kurutma havası sıcaklığı, hava hızı, nemi, akış yönü, basınç, ürünün fiziksel formu gibi özellikler belirlemektedir. Yüzey difüzyonu yani gıdanın direkt temas alanlarından yapılan nem difüzyonu ana unsur olmaktadır. Kurutma hızının türevi kurutma debisini vermektedir. (Bingöl, 2008). Meyve sebze kurutma proseslerinde sabit hız periyodu ya hiç görülmez veya çok kısa bir devre olarak gözlemlenmektedir (Hebbbar, 2004). Isı ve kütle aktarım katsayıları, kurutulacak maddenin yüzeyi, hava ve madde yüzeyi arasındaki sıcaklık ve nem kesri farklılıkları, maddenin öz ısısı, ısı iletkenliği, yoğunluğu; ısı geçirgenliği tarafından etkilenmektedir.

İnce tabaka kurutma işlemlerinde kurutulacak gıdalar kurutma yüzey alanına tek tabaka olacak şekilde yerleştirilmelidir. İnce tabaka kurutma kuramını tanımlayan pek çok deneysel, yarı deneysel ve teorik model bulunmaktadır (Özdemir ve Devres, 1999; Midilli ve Küçük, 2003).

Sözcük anlamı ile gıdaların tabaka halinde kurutulması demek olan ince tabaka kurutma işlemi için kullanılan teorik modeller nem transferinin iç direnç mekanizmaları ile kontrolünü baz alırken, diğer modeller ise dış kütleli dirençleri temel almaktadır (Bingöl ve Devres, 2010b). Fick'in ikinci difüzyon kanunu teorik ve yarı-teorik modellerin çözümü ile elde edilmektedir. Yarı teorik olarak tanımlanan modeller ise Newton'un soğuma kanunundan da türetilabilmektedir. Ampirik modeller ise nem içeriği ve zaman arasındaki istatistiksel ilişkilerden oluşturulabilmektedir (Kutlu vd., 2015). Literatürde sıklıkla kullanılan ince tabaka kurutma modelleri ve gıdalarda en iyi uyum sağlayan ince tabaka kurutma modelleri ile D_{eff} değerleri Çizelge 2.4.'de verilmiştir.

Çizelge 2.4. Literatürde sıklıkla kullanılan ince tabaka kurutma modelleri (Kavak vd.,2006)

Model adı	Model
Newton	$MR = \exp(-kt)$
Page	$MR = \exp(-kt^n)$
Modifiye Page I	$MR = \exp[-(kt)^n]$
Modifiye Page II	$MR = \exp[-(kt)^n]$
Henderson ve Pabis	$MR = a \exp(-kt)$
Logaritmik	$MR = a \exp(-kt) + c$
Çift Terimli	$MR = a \exp(-k_0 t) + b \exp(-k_1 t)$
Çift Terimli Exponansiyel	$MR = a \exp(-kt) + (1-a) \exp(-kat)$
Wang ve Sing	$MR = 1 + at + bt^2$
Modifiye Henderson ve Pabis	$MR = a \exp(-kt) + b \exp(-gt) + c \exp(-ht)$
Midilli-Küçük	$MR = a \exp(-kt^n) + bt$
Verma ve ark.	$MR = a \exp(-kt) + (1-a) \exp(-gt)$
Difüzyon yaklaşım	$MR = a \exp(-kt) + (1-a) \exp(-kbt)$

3. MATERİYAL VE YÖNTEM

3.1. Materyal

Kurutma materyali olarak *Starking delicious* cinsi elma Isparta-Eğirdir yöresinde ticari faaliyet gösteren Gülbudak Firmasından kurutma çalışmaları ile analizlerin yapılacağı Ocak-Şubat aylarında temin edilmiştir. Tedarik edilen meyveler aynı bahçeden aynı anda hasat edilmiş meyveler olarak hasat edilmiş olması koşuluyla aynı anda çalışma ve analizler yapılmıştır. Meyvelerin ulaşımı esnasında hava baloncuklu koruyuculara sarılı vaziyette ezilmeye maruz kalmadan ulaşmalarına özen gösterilmiştir. Çalışma süresince elmalar oda tipi ve gömme laboratuvar tipi buzdolabı sıcaklığında (0-1 °C) ve kontrollü nem ortamında (%90-93) muhafaza edilmiştir (EBKAE, 2018). Yapılan deney ve analizlerden önce fotoğraflanan hammadde Şekil 3.1’de gösterilmiştir.



(a)



(b)

Şekil 3.1. Olgunlaşmış *Starking delicious* meyvesi (a), Ticari firmadan tedarik edilen mukavva karton ambalajlı meyve kutuları (b)

3.2. Yöntem

3.2.1. Ön denemeler ve uygulama

Elma (*Mallus communis L.*) meyveleri yıkanmış, durulama sonrası homojen olarak dilimleme makinası kullanılarak (Arisco, İzmir-Türkiye) 5 mm kalınlığında dilimlenmiştir (Şekil 3.2). Kurutma sıcaklığı olarak 60 ve 70 °C sıcaklık denemeleri esnasında yapılan duyu analizi sonucu renk, görünüş, aroma gibi özellikler bakımından önemli fark gözlemlenmediği görülmüştür. 60 °C’de kuruma süresinin uzun olması, yapılan literatür incelemelerinde benzer elma cinsleri üzerinde uygulanan kurutma tipi işlemlerin incelendiği çalışmalarda 65 °C uygulama sıcaklığının başarıyla uygulandığına rastlanması bakımından (Ertekin, 2015) uygun kurutma sıcaklığı 65 °C olarak belirlenmiştir. Mikrodalga kurutma işlemi için dört farklı güç modu (90W-180W-360W-600W-900W) denenmiştir. 90W gücünde işlemin çok uzun sürmesi aynı zamanda mikrodalga fırın iç nemliliğinin kurutmaya engel koşulları daha fazla kurutma işlemine yansıtması (kondense olan su damlacıklarının sürekli birikmesi gibi) diğer yandan 900W gücünde kurutma işleminde ise üründe yanma reaksiyonlarının meydana gelmesi sebebiyle literatürle de uyumlu olarak 180W, 360W ve 600W kurutma güçleri olarak tercih edilmiştir.

Çalışmada yıkanıp kurularak elma dilimleme makinasında 5 mm kalınlığında dilimlenen elmalar vakit kaybetmeden kurutma deneme desenine göre ön işlem uygulamasına ya da kurutma işlemine tabii tutulmuştur. Dilimleme işlemleri uygulamalardan hemen önce tamamlanıp karama reaksiyonlarının azami önüne geçilmeye çalışılmıştır. Ultrases ön işlem uygulaması 40 kHz frekansta, deney tipine göre 15 ve 30 dak. sürelerince ultrasonik su banyosunda (WiseClean WUC-A06H, Kore) uygulama sıcaklığı kontrol altında tutulmak suretiyle bekletilmiştir. Yapılan dilimleme işlemi Şekil 3.2’de; ultrases uygulaması Şekil 3.3’te gösterilmiştir.



Şekil 3.2. Paslanmaz çelikten imal edilmiş meyve dilimleme makinesi

Ultrases ön işlemi için hammadde:su oranı 1:4 olarak belirlenmiştir (Nowacka vd., 2012). İşlem sonrası meyveler hafifçe kurulanmış ve tartılarak 65 °C’ de sabit hava hızında 0,83 m/s ağırlık değişimi gözlenebilen terazi entegreli kurutma fırınında kurutulup (Mikrotest MSD 2.50D, Ankara, Türkiye) nihai ağırlığı ölçülerek (KERN KB 3600-2N Balingen, Almanya) sabit tartım ağırlığına gelene kadar beklenmiştir.

Kurutma işlemi esnasında elma meyvesinin ağırlık kaybının non-lineer tip olmasından dolayı cihaza bağlı tepsi tip kurutucuda süre ile çelişen ağırlık tartımları neticesinde terazi entegreli kurutucu fırında kurutma işleminden vazgeçilmiştir.

Bu uygulama yerine kurutma deneylerinin hava akımlı fırın koşullarında kurutulması uygulamalarına aynı prensiple çalışan bir başka laboratuvar tipi kurutma fırınına geçilerek devam edilmiştir. 65 °C’ de, % 12 bağıl nemli 1,5 m/s hava hızında uygulanan kurutma işlemi esnasında her 30 dak. zaman aralığında otomatik tartım sonucunu dijital ekranında gösteren (Eksis, TK LAB, Ankara, Türkiye) konveksiyonel tip hava akımlı kurutma fırınında kurutulmuştur (Şekil 3.4). Konveksiyonel tip kurutucuda kurutma işlemleri 65 °C sıcaklıkta kontrol grubu (ön işlemsiz), 15 ve 30 dak. US ön işlemli olmak üzere 3 farklı deney tipi takip edilerek tamamlanmıştır.



(a)



(b)



(c)



(d)

Şekil 3.3. Ultrasonik su banyosu (a), US uygulaması (b), US uygulamasının sabit sıcaklık kontrolü (c), US suyu ortam °briks ölçümü (d)



(a)



(b)



(c)



(d)

Şekil 3.4. Sıcak hava sirkülasyonlu kurutma fırını (a), meyvelerin kurutucu tepsisinde yerleşim biçimi (b), örneğin %5 nemin altına kadar kurutulmuş hali (c), kurutulan son ürünün vakumlanarak poşetlenmesi (d)

Deneyin diğ er bölümünde mikrodalga ortamında (mutfak tipi Bosch 5870 GH, Almanya) kurutulacak Starking cinsi elma meyvesi dilimleri deneyin hava akımlı fırınında kurutulması aşamalarında olduğu gibi aynı şekilde yıkanıp kurulanmıştır. Meyve dilimleme makinasında 5 mm kalınlığında dilimlenmiştir. US uygulamasız grubu (kontrol)  n işlemsiz olarak ayrılarak diğ er gruplara 15 ve 30 dak. US  n işlem uygulamalı grupların her birine 180W, 360W, 600W gücünde mikrodalga kurutma işlemi uygulanmıştır.  n işlemsiz olarak kurutulacak olan elma dilimleri aynı gücü modları uygulanarak kurutulmuştur. Ultrases işleminde 15 ve 30 dak. US uygulaması hammadde:su oranı 1:4 olacak şekilde 40 kHz frekansta sıcaklık oda koşullarında sabit olmak üzere su sıcaklığı kontrollü tutularak yapılmıştır. İşlem sonrası meyveler hafifçe kurularak ilk tartımları yapılmış ardından mikrodalgada kurutulmuştur. Yapılan uygulama şekil 3.5'te gösterilmiştir.



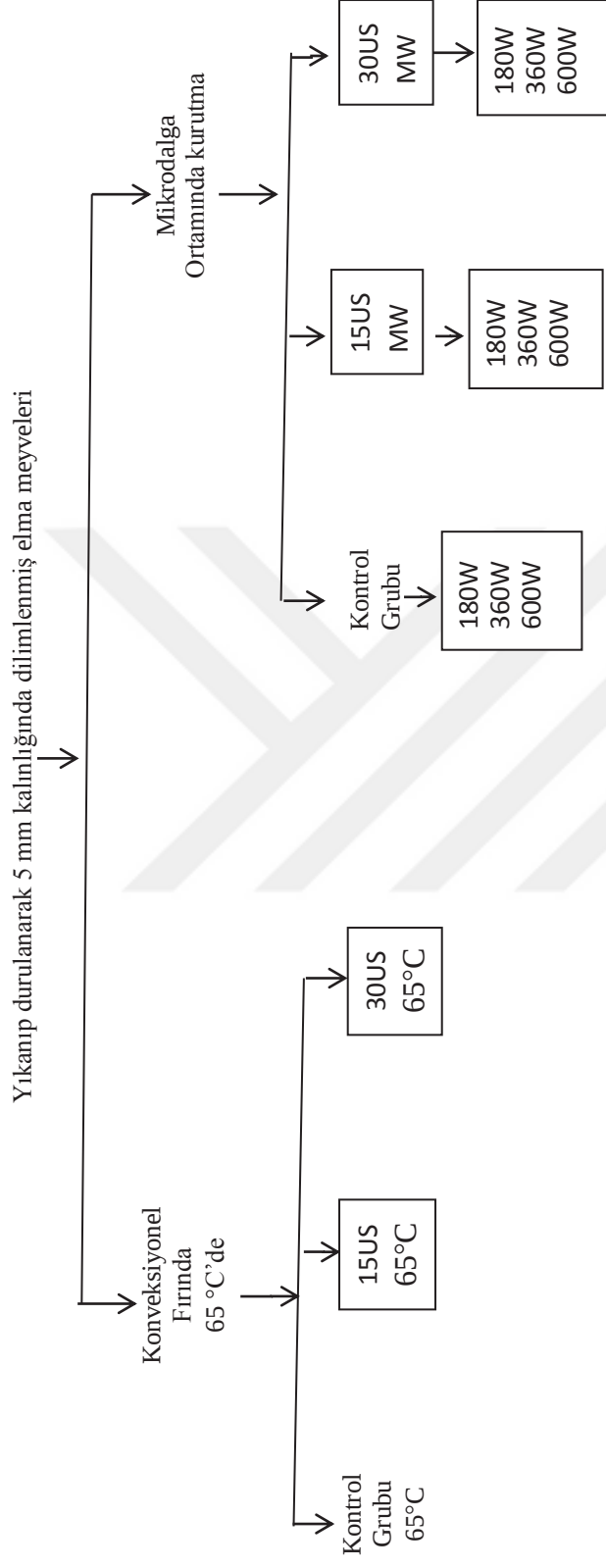
(a)



(b)

şekil 3.5. Mikrodalga fırını (a) elma dilimlerinin mikrodalga tepsisinde yerleşimi (b)

US  n işlemi sırasında oda sıcaklığında saf su kullanılmış ve işlem sırasında suyun sıcaklığının max + 10  C artmasına izin verilmiştir. İşlem  ncesi ve sonrası ultrasonik su banyosunun sıcaklık ve  briks değerleri ölçülmüştür. Kuruma süresince belirli aralıklarla ürünlerin ağırlık kayıpları ölçülüp kaydedilmiş ve  r nek alımı yapılmıştır.  alışmalar 2 tekerrürlü 2 paralel olarak yürütülmüştür. Kurutulan materyaller, kuruma süreleri ve işlem sırasında kaydedilen parametreler  izelge 3.1'de gösterilmiştir. Kurutma sonrası ürünler kısa bir süre soğumaları için bekletildikten sonra renk, rehidrasyon kapasitesi ile büzüşme ölçümleri yapılmıştır. Ağzı sıkıca kapanabilen vakumlu poşetlere alınarak duysal ve kimyasal analizler için -18  C'de sandık tipi derin dondurucu ortamında muhafaza edilmiştir. Kurutma akım şeması şekil 3.6'da verilmiştir.



Şekil 3.6. Elma meyvesi kurutma akım şeması

Çizelge 3.1. Konveksiyonel ve MW yöntemleri ile yapılan elma dilimi kurutma proseslerinde elde edilen kuruma parametreleri

STARKİNG DELİCIOUS CİNSİ ELMANIN % 5 kuru madde oranı altına kadar kurutulması		MİKRODALGA UYGULAMALI FIRIN						KONVEKSİYON EL TİP KURUTUCU 65 °C	
KONTROL GRUBU (US UYGULAMASIZ)	Kuruma Süresi (dak.):	180W		360W		600W		1.Grup	2.Grup
		1.Grup	2.Grup	1.Grup	2.Grup	1.Grup	2.Grup		
		110	110	40	40	21	21	180	180
15 DAK. ULTRASES UYGULAMALI GRUP	Kuruma Süresi (dak.)	100	110	37	35	20	23	120	120
	US uygulama suyu °Briksi (3 değerın Ortalaması)	0,4	0,6	0,3	0,4	0,5	0,3	0,6	0,4
	US uygulama suyu sıcaklığı (İlk ve son Sıcaklık °C)	24,5 33,7	24,5 30	24,5 32	24,5 32,7	24,5 32,5	24,5 34	24,5 29,5	24,5 32
30 DAK. ULTRASES UYGULAMALI GRUP	Kuruma Süresi (dak.)	100	100	35	37	20	21	120	120
	US uygulama suyu °Briksi (3 değerın ortalaması)	0,6	0,7	0,4	0,6	0,7	0,7	0,8	0,7
	US uygulama suyu sıcaklığı (İlk ve son Sıcaklık °C)	24,5 33	24,5 32	24,5 33,5	24,5 34	24,5 34	24,5 35	24,5 33	24,5 33,5

3.2.2. Analiz metotları

3.2.2.1. Briks tayini

°Briks, toplam kuru maddenin içinde mevcut olan suda çözünen kuru madde miktarını göstermektedir. Kurutma öncesi ultrases ön işleminin etkisini belirlemek için ortam °briks ölçümü yapılmıştır. Ultrases uygulamasından sonra başlangıçtaki taze meyvelerin °Briks değerleri Cemeroğlu (2010)'na göre belirlenmiştir. Ultrases uygulaması esnasında suya geçen kuru maddenin analizinde dijital refraktometre (HANNA HI 96801, Romanya) kullanılmıştır. Hammaddenin °Briks ölçümü meyve homojen hale getirilip süzme kağıdından geçirilmesiyle tespit edilmiştir. Hammaddenin °Briks analizinde 4 farklı numune 2'şer tekerremlü olarak çalışılmıştır. Analiz sonuçlarında ortalama değerleri alınmış ve hata payları ilave edilerek hammadde başlangıç değerleri tablosunda verilmiştir. Hammadde °briks değerleri ölçüm cihazı (Abbemat 3200, Almanya) ile ölçülmüştür.

3.2.2.2. Toplam kuru madde (nem) tayini

Kurutma öncesi ve kurutma sonrası örneklerde toplam kuru madde analizi Cemeroğlu (2010)'na göre gerçekleştirilmiştir. Kurutulmuş elmalar daha önce 105 °C'de etüvde (Wiseven WOF-155, Kore) kurutulup desikatörde oda sıcaklığına getirilerek darası alınmış kurutma kaplarına 2-3g arasında örnek tartılarak 65 °C'de vakumlu etüvde (Wiseven WOV-30, Kore) 1 bar vakum altında örnekler sabit tartıma gelene kadar kurutulmuştur. Sonuçlar yüzde (%) kuru madde olarak hesaplanmıştır. Hammadde de kurumadde miktarı elmanın püre formuna getirildikten sonra cihazın (HR73-Hallogen Moisture Analyzer, Switzerland) özel haznesindeki plakalı okuyucuya ince tabaka halinde serilerek analiz neticesi cihaz ekranından kaydedilerek elde edilmiştir. Hammaddenin toplam kuru madde analizinde 4 farklı elma numunesinde 2 tekerrürlü olarak işlem sürdürülmüştür. Sonuçların ortalama değerleri alınıp hata payları ilave edilmiştir. Ham maddede yapılan analiz Şekil 3.7.'de gösterilmiştir.



(a)



(b)

Şekil 3.7. Rutubet ölçüm cihazı (a) Hammaddenin homojen hale getirilmiş formu (b)

3.2.2.3. pH ölçümü

Hammadde de pH ölçüm işlemleri meyvenin olgunluk, bozulmaya yakınlık-uzaklık, esmerleşme gibi kimyasal sistemlerinin önemli bir göstergesi olması bakımından kurutma işlemlerine başlamadan önce hammaddenin uygunluğu araştırılmıştır. Taze örneklerin pH'sı Cemeroğlu (2010)' na göre gerçekleştirilmiştir. Hammaddenin pH analizinde 4 farklı elma numunesinde 2 tekerrürlü olarak işlem sürdürülmüştür. Sonuçların ortalama değerleri alınıp hata payları ilave edilmiştir. Analizde InoLab pH Level 1 (Weilheim, Almanya) ile Metter Toledo (S-40,China) marka pH metreler kullanılmıştır.

3.2.2.4. Organik asitlerin tayini

Hammadde ve kurutulmuş elma dilimlerinin sitrik, malik, tartarik ve okzalik asit miktarları (JCA 2002)'ye göre yapılmıştır.

Organik asit tayininde Yüksek Basıncılı Sıvı Kromatografisi (HPLC) (Shimadzu Nexera X2, Japan) ile cihaz DAD dedektörü (Intert Sustain C18 5 um, 4.6x250 mm, 2015 Japan) ve kolon (ODS-4, 5µm (4,6x250 mm) kullanılmıştır.

Analiz prensip olarak kurutulmuş elma dilimlerinde dedektörlü, ters faz HPLC kullanılarak sırasıyla çözdürülmüş sulu örneğin hazırlanması, santrifüj edilmesi, süzülmesi ve HPLC'de tanımlama ve miktar tespitinin yapılmasıdır. Kromatogramdaki pik alanı ve konsantrasyonu bilinen standartların verilen numunenin bilinmeyen konsantrasyon ve pik alanlarının karşılaştırılması esasına dayanarak hesaplamaları yapılmıştır.

Analiz esnasında metanol (Sigma-Aldrich, St.Louis, Mo.,U.S.A.) HPLC saflığında (CAS-No.67-56-1) yıkama için, mobil faz olarak su-glacial sülfürik asit (Glacial-H₂SO₄) pH: 2,5 olarak ve standart çözeltiler organik asit standartları stok çözeltisi (Merck KGaA, 64271 Darmstadt, Germany) mobil faz ile hazırlanmıştır. 5 farklı konsantrasyonda mobil faz ile seyreltilmiştir. Çözeltiler günlük hazırlanarak kullanılmıştır. Standart madde 4-8 °C'de saklanmıştır.

Uygulamamanın yapılması esnasında kromatik şartlar ölçüm için hazır koşullara getirilmiştir. Kolon yıkama suyu ile temizlenmiştir. Mobil faz:su pH 2,5 olarak H₂SO₄ (Merck KGaA, Darmstadt, Germany) ile HPLC uygulamasına özel taze olarak hazırlanmıştır. Kromatografik şartlar; akış hızı 0,5 mL/dak., dalga boyu 210 nm, enjeksiyon hacmi 20 µL ve kolon sıcaklığı 40 °C olarak ayarlanmıştır. Yapılan çalışma Şekil 3.8.'de gösterilmiştir.



(a)



(b)



(c)



(d)

Şekil 3.8. Kurutulmuş elma dilimlerine öğütme işlemi (a) Cam viallere 5 gr numunenin hassas tartımı (b) Saf su ilave edilerek karıştırılan örnekler (c) Yüksek Yoğunluklu Sıvı Kromatografisi (HPLC) cihazı ve monitör (d)

Kurutulmuş elma dilimlerinin analizi için en az 12 adet kurutulmuş elma dilimi blendardan geçirilip yeterince karıştırılarak homojen hale getirilerek santrifüj tüpüne 5g tartılmıştır (Precisa XB 220A, Swiss). Üzeri 20 mL saf su ilave edilerek 15 dak. 3000 rpm hızla santrifüj (NÜVE NF 400, Germany) edilmiştir. Üst faz 0.45 mikrometrelik selüloz filtreden (Olimpeak, TR-200445 Syringe Filters R.Cellulose 0,45 µm, Spain) geçirilerek vialle alınmıştır. Şartlanmış HPLC sistemine enjekte edilmiştir. Sonuçlar seyreltme faktörü göz önüne alınarak çalışma standartlarının kalibrasyon eğrisine göre hesaplanmıştır. Organik asit miktarı her biri için ayrı ayrı g/kg cinsinden aşağıdaki denklik kullanılarak cihaz tarafından hesaplanmıştır.

$$C_{\text{organik asit}} = (A_N/A_C) \times C_1 \times \text{seyreltme oranı}$$

A_N : Deney Çözeltilisinin verdiği pikin alanı

A_C : Standart çözeltinin verdiği pikin alanı

C_1 : Standart çözeltinin konsantrasyonu g/kg

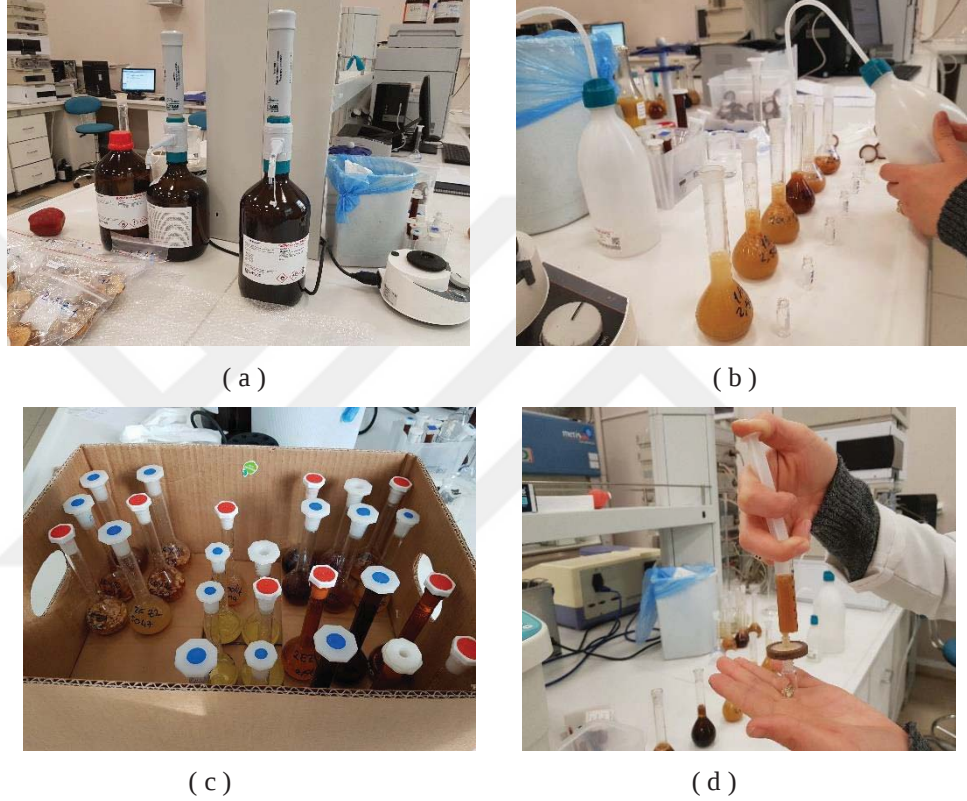
Seyreltme Oranı = Alınan numune (g) / Deney Numunesi ağırlığı (kg)

3.2.2.5. Fenolik madde tayini

Kurutulmuş elma dilimlerinin fenolik madde içeriğinde bulunan klorojenik asit ve kafeik asit miktarları Agric, 2009' a göre Yüksek Basıncılı Sıvı Kromatografisi (Shimadzu Nexara X2, Japan) ile

cihaza entegreli DAD dedektörü (Intert Sustain C18 5 um, 4.6x250 mm, 2015, Japan) kullanılarak hesaplanmıştır.

Yüksek basınçlı Sıvı Kromatografisinin mobil fazı Gradient elüsyon programına göre 19:1 'lık %5 'lık formik asit (Sigma-Aldrich, St.Louis, Mo.,U.S.A.) ile metanolden (Sigma-Aldrich, St.Louis, Mo.,U.S.A.) oluşmuştur. Mobil faz cihaza verilmeden 1 gün önce hazırlanmıştır. Kafeik asit ve klorogenik asit standardı (Merck KGaA, 64271 Darmstadt, Germany) hazırlanıp cihaza verilip alan oluşumları kontrol edilmiştir. Yapılan işlemler Şekil 3.9.'da gösterilmiştir.



Şekil 3.9. Fenolik Madde Tayini Aşamaları; Metanol çözeltisi (a) Örneklerin saf su ile 25 ml'ye tamamlanması (b) Ön hazırlıkları yapılan numunelerin en az 12 saat buzdolabı koşullarında (+4 °C kontrollü sıcaklıkta) dinlendirilmek üzere kaldırılması (c) 0,45 mikrolitrelik selüloz filtrelerden süzdürme işlemleri (d)

Kurutulmuş elma dilimlerinin analizi için en az 12 adet kurutulmuş elma dilimi blendardan geçirilip 50 mL'lik balon jojelerde 0.001 g hassasiyetle 5 g (Precisa XB 220A, 2002, Swiss) tartılmıştır. Tartımlara 25 ml metanol ilave edilip metanolle (Sigm-Aldrich, St.Louis, Mo.,U.S.A.) karıştırılan örnekler en az 12 saat süre ile 4-6 °C'lık buzdolabı koşullarında bekletilmiştir. Bekleme süresini tamamlayan örnekler saf su ile 50 ml'ye tamamlanmıştır. Hammadde analizlerinde her analiz için 3 adet ham elma blendardan geçirilip 10 g elma püresi 0.001 g hassasiyetle tartılarak (Precisa XB 220A, Swiss) üzerine ayrıştırıcı olarak 25 ml metanol ilave edilmiştir.

Metanol ile karıştırılan örnekler en az 12 saat süre ile 4-6 °C'lık buzdolabı koşullarında bekletilmiştir. Bekleme süresini tamamlayan hammadde elma örnekleri saf suyla 50 ml'ye tamamlanmıştır. Üst faz

0.45 mikrometrelik selüloz filtreden (Olimpeak, TR-200445 Syringe Filters R.Cellulose 0,45 µm, Spain) geçirilerek vialle alınmıştır. Şartlanmış HPLC sistemine enjekte edilmiştir. Sonuçlar seyreltme faktörü göz önüne alınarak çalışma standartlarının kalibrasyon eğrisine göre hesaplanmıştır.

3.2.2.6. HMF (5-hidroksimetil-2-furfural) tayini

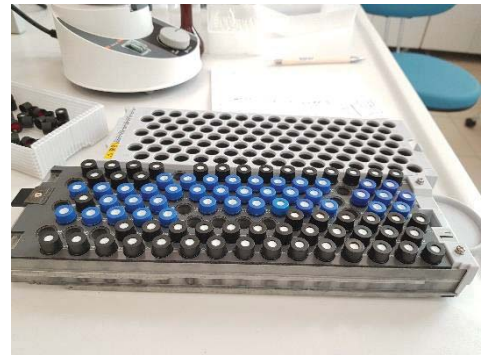
International Honey Commission'ın 2009 HMF analiz talimatı gıda maddelerinin içinde HMF miktarının tayinini kapsamaktadır. Analizde kurutulmuş elma dilimlerinin HMF miktarı tespiti IHC 2009 (International Honey Commission)' a göre Yüksek Basınçlı Sıvı Kromatografisi (Agilent Technologies 1200S, Japan) ile cihaza entegreli DAD dedektörü ve kolon (Intert Sustain, C18 5 µm, 4.6x250 mm, Japan) kullanılarak yapılmıştır.

HMF tayini prensip olarak UV dedektörlü ters faz Yüksek Basınçlı Sıvı Kromatografisi (HPLC) kullanarak, sırasıyla sulu örneğin hazırlanması, süzme ve HPLC'de tanımlama ve miktar tespiti işlemleri ile tayin edilmektedir. Kromatogramdaki pik alanı bilinen konsantrasyondaki standartların pik alanı ile karşılaştırılarak HMF miktarının elde edilmesi işlemi olarak tanımlanmaktadır.

Analiz esnasında kromatografi mobil fazı 90-10 (su-metanol) oranında HPLC saflığında (CAS-No.67-56-1), standart çözelti 5-hidroksimetil-2-furfural (CAS-No.67-47-0) 0-10 ppm aralığında 7 farklı konsantrasyonda standart HMF çözeltisi saf su içinde hazırlanmıştır. Çözeltiler günlük olarak hazırlanıp kullanılmıştır. Hazırlanan bu standart çözeltilerin her biri en az 3 paralel olmak üzere HPLC'de oluşturulan sonuçlardan cihaz yazılımının verilerine göre kalibrasyon tablosu oluşturulmuştur. Hmf analizinin süzdürme aşamasının bitirilip viallere konması ve viallerin HPLC tepsisine alınış aşamaları Şekil 3.10.'da gösterilmiştir.



(a)



(b)

Şekil 3.10. HPLC cihazına özel vialler (a) Robotik kolla otomatik vial alımı yapan HPLC tepsisi

Kurutulmuş elma dilimlerinin analizi için en az 12 adet kurutulmuş elma dilimi blendardan geçirilip homojen hale getirildikten sonra 5 g örnek 0,001 g hassasiyetle 100 mL'lik balon jojeye tartılıp (Precisa XB 220A, Swiss) saf su ile çözündürülerek tamamlanmıştır. Çözelti 0.45 mikrometrelik selüloz filtreden geçirilerek vialle alınmıştır. Şartlanmış durumda olan, 1 mL/dak. akış hızlı, 285 nm dalga boyunda, Yüksek Basınçlı Sıvı Kromatografisine oda sıcaklığında enjekte edilmiştir. Sonuçların

hesabında seyreltme faktörü göz önünde bulundurularak çalışma standartlarının kalibrasyon eğrisine göre değerlendirilmiştir. Numunedeki HMF miktarı standart ve numune çözeltilerinin pik alanlarının birbirlerine göre oranları ve gerekli seyreltmeler dikkate alınarak hesaplanmıştır. Sonuçlar virgülden sonra 1 basamak biçiminde mg/kg olarak elde edilmiştir. HMF miktarı mg/kg olarak aşağıdaki prensibe göre cihaz tarafından hesaplanmıştır.

$$C_{HMF} = (A_N/A_C) \times C_1 \times \text{seyreltme oranı}$$

A_N : Deney Çözeltilisinin verdiği HMF pikinin alanı

A_C : Standart HMF çözeltilisinin verdiği HMF pikinin alanı

C_1 : Standart HMF çözeltilinin konsantrasyonu mg/kg

Seyreltme Oranı = Alınan numune (mg) / Deney Numunesi Ağırlığı (kg)

3.2.2.7. Şeker bileşenleri tayini:

AOAC-Analysis of Honey' e göre uygulanan metot gıda maddelerinde fruktoz, glukoz, sukroz ve maltoz tayinini kapsamaktadır. Kurutulmuş elma dilimlerinin şeker türü ve miktarı tespitinde (AOAC,1997) metot talimatına göre Yüksek Basınçlı Sıvı Kromatografisi (Shimadzu Nexera X2, 2009 Japan) ile cihaza entegreli RID dedektörü (Intert Sustain C18 5 μ m, 4.6x250 mm, 2015 Japan) ve NH_2 kolon (Amin kolon) (4,60 mm, 250 mm uzunlukta, 5-7 μ m partikül büyüklüğü olan amin modifiye silica jel) kullanılarak yapılmıştır.

Yapılan analiz prensip olarak şeker içeriği tayin edilecek örneğin belli oranda su ve metanol ilavesi ile seyreltilerek amino kolonlu RID (refraktif indeks dedektörü) dedektörlü HPLC cihazında tayin yapılmasına dayanmaktadır. Sonuçlar bilinen konsantrasyondaki standartla karşılaştırılarak numunenin şeker içeriği hesaplanmaktadır.

Analiz esnasında metanol (Sigm-Aldrich, St.Louis, Mo.,USA.), asetone (Sigm-Aldrich, St.Louis, Mo.,USA.), bidistile su HPLC kalitesinde kullanılmıştır. Mobil faz- asetone (Sigm-Aldrich, St.Louis, Mo.,USA.), (80:20, v/v) oranlarında hazırlanarak kullanmadan önce degaze edilmiştir. Çalıştığımız matrislerin şeker limitlerini karşılayacak şekilde Fruktoz, glukoz, sukroz şeker standartları hazırlanarak HPLC cihazına 7 farklı çözelti konsantrasyonunda enjeksiyonu yapılarak kalibrasyon eğrisi çizdirilmiştir. Cihaz her açıldığında şeker standardı verilerek kontrol kartına işlenerek piklerin yeri kontrol edilmiştir. Kolon sıcaklığı 30 C°'de, akış hızı 1,300 ml/dak., enjeksiyon volümü 10,00 ml, mobil faz (80/20 asetone/su) şartlarında çalışılmıştır.

Kurutulmuş elma dilimlerinin analizi için en az 12 adet kurutulmuş elma dilimi blendardan geçirilip 0,001 g hassasiyetle en az 2 g tartılarak (Precisa XB 220A, Swiss) sıcak su ile çözündürüldükten sonra 5 ml metanol eklenmiştir. Üzeri saf su ile tamamlanıp karıştırılmıştır. 0.45 'lik selüloz filtreden geçirilerek vialer alınmıştır. Her örnek grubu 2 paralel ve 2 tekerrürlü olarak çalışılmıştır. Sonuçlar

seyreltme faktörü göz önünde bulundurularak çalışma standartlarının kalibrasyon eğrisine göre hesaplanmıştır.

3.2.2.8. Kuruma davranışları ve kuruma hızının hesaplanması

Kuruma davranışları gıda maddesinin kuruma esnasında içeriğindeki nem geçişi ile hızının zaman skalasında nasıl değişim gösterdiğinin bir görünümü olarak kabul edilmektedir (Geankoplis, 2003). Kurutma sürecine bağlı kuruma eğrileri gıda hammaddesinin nem içeriğinin zamana karşı grafiğe geçirilmesiyle elde edilmiştir. Belirli bir t anındaki nem miktarının gıda maddesinin kuru madde miktarına bölünmesiyle elde edilen ve eşitlikte X ile sembolize edilen değer kullanılarak hesaplanmıştır. Hesaplama Eşitlik (3.1) kullanılmıştır (Geankoplis, 2003).

$$\text{Kuruma hızı (DR)} = \frac{L_s}{A} \times \frac{\Delta X}{\Delta t} \quad (3.1)$$

Burada L_s gıdanın içeriğindeki kurutma öncesi mevcut olan kuru madde miktarını (g), A kurutma yüzey alanını (m^2) temsil etmektedir. Kurutma işlemi hava akımlı konveksiyonel tepsili kurutucu sistemde yapılmasından dolayı tepsi alanı baz alınmıştır. Kurutma işleminde tepsinin yüzeyi delikli olmasından dolayı kuruma iki yüzeyden gerçekleşmiştir. Bu nedenle kuruma yüzey alanı tepsi yüzey alanının iki katı alınmıştır. Kuruma hızı elde edilen kurutulmuş elma dilimlerinde serbest nem-zaman, kuruma hızı-serbest nem ve kuruma hızı-zaman grafikleri oluşturulmuştur. Kuruma davranışının ortak ön işlem, ortak kurutma yöntemi ya da kurutma gücü farklılığında nasıl davranış gösterdikleri kaydedilmiştir.

3.2.2.9. Etkin difüzyon katsayısının hesaplanması

Meyve ve sebzelerin kurutma proseslerinde difüzyon (transfer) yapının içindeki kılcallarda ve boşluklarda oluşmaktadır. Isı enerjisinin etkisi ile gıdanın içinden yüzeye doğru taşınıp dolaşan hava akımı ile yüzeyden uzaklaştırılmaktadır (Çelen, 2010). Meyve ve sebze ürünlerinin kurutma süreçleri ürünün cins ve çeşidine, ortam koşullarının sıcaklık, nem değerlerine ayrıca kurutma yönteminin etkinliğine bağlı olarak değişim göstermektedir (Erentürk vd., 2006).

Yüzey alandan yapılan difüzyon koşullarını ifade eden Fick Yasalarından ikincisi, gıda hammaddelerinin su buharı difüzyon sürecini tanımlamak için kullanılmaktadır. Bu Yasa formül (3.2)'de verilmiştir (Azoubel vd., 2010).

$$\frac{\partial C}{\partial t} = D_{eff} \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} \quad (3.2)$$

Eşitlikte D_{eff} difüzyon katsayısını (m^2/s), C kuru maddede bulunan nem içeriğini (g su/g km), t zamanı (s), x boyut koordinatını (m) temsil etmektedir.

Gıdaların difüzyon tipi kurutulmasında kurutma hızı katı materyal içindeki difüzyon yeteneği tarafından kontrol edilmektedir. Yapılan çalışmalarda gıda yüzeyindeki nem içeriğinin denge nem değerine (m_e) eşit olduğunu göstermektedir. Kurutma işlemleri sonucunda gıda yüzeyinde hesaplanan serbest nem içeriği sıfır bulunmaktadır (Geankoplis, 2011).

Meyve sebze ürünlerinin genelinde %60 civarlarına varan toplam büzülme oranı difüzyon katsayısı hesaplarının uygulanabilirliğinde ihmal edilmiştir. Hesaplamalarda kurutma proseslerindeki meyvelerin sabit kalınlıkta kesilmiş, sonsuz bir levha olduğu kuramı yer almıştır. Kondüksiyonla ortaya çıkan ısı transfer katsayısı, özgül ısı kapasitesi, yoğunluk gibi gıdaya bağlı olan fiziksel özelliklerin tüm dilim içerisinde aynı ve süreç boyunca sabit olduğu kabul edilmiştir. Bu şartlarda oluşturulan denklemler eşitlikte verilmiştir. Kuruma başlangıç ve sınır koşullarına göre denklem iletirilebilir eşitlik (3.3) elde edilmektedir.

$$\begin{aligned} t = 0, \quad -L < x < L, \quad M &= M_0 \\ t > 0, \quad x = 0, \quad dM/dx &= 0 \\ t > 0, \quad x = L, \quad M &= M_e \end{aligned}$$

$$\frac{M - M_e}{M_0 - M_e} = \frac{8}{\pi^2} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{1}{(2n+1)^2} \exp \left(-(2n+1)^2 \pi^2 D_{eff} \left(\frac{1}{4L^2} \right) \right) \quad (3.3)$$

Eşitlikte L gıdanın yarı kalınlığını (m), M_e denge nem ihtivasını (g su/g km), M_0 başlangıç nem ihtivasını (g su/g km) ifade etmektedir (Azoubel vd., 2010). Gıdaların kuruma prosesi seçilen kurutma yöntemine göre değişken ve nihayetinde uzun bir süreç olduğundan anlık bir difüzyon işlem gibi hareket edip serinin ilk terimini alarak hesap yapmak hata ile sonuç vermektedir. Hesaplama eşitlik 3.4'deki duruma getirilmelidir (Goyal vd., 2006).

$$\frac{M - M_e}{M_0 - M_e} = \frac{8}{\pi^2} \exp \left(-\frac{\pi^2 D_{eff} t}{4L^2} \right) \quad (3.4)$$

Etkin difüzyon katsayısı her bir kurutulmuş gıda ürünü için hesaplanabilen ayrılabilir nem oranı (ANO) değerlerinin doğal logaritması alınarak (LN) zamana karşı çizilen grafiğin eğimi alınarak (3.5) nolu eşitlik kullanılarak hesaplamalarımızda belirlenmiştir.

$$D_{eff} = \frac{-\text{eğim}}{(2,4674/L^2)} \quad (3.5)$$

3.2.2.10. Su aktivitesinin (a_w) belirlenmesi

Hammadde ile kurutulmuş elma dilimlerine ait su aktivitesi tayini Novasina marka (LabSwift, Lachen, İsviçre) su aktivitesi ölçüm cihazı kullanılarak yapılmıştır. Örnekler cihazın özel kabına konulmuştur ve oda sıcaklığında ortam ile dengeye gelen örneğin su aktivite değeri cihaz ekranından

okunarak kaydedilmiştir. İşlemlerde ölçümler 2 paralel 2 tekerrür olacak şekilde sürdürülüp elde edilen verilerin ortalamaları alınmıştır. Alınan ortalamalara hata payları ilave edilmiştir.

3.2.2.11. Kurutmanın Matematiksel Modellenmesi

Kurutma kinetiğinin modellenmesinde kullanılan ve ANO olarak ifade edilen ayrılabilir nem oranı Eşitlik (3.6) ile verilmiştir (Kutlu vd., 2015).

$$ANO = \frac{m - m_e}{m_0 - m_e} \quad (3.6)$$

Eşitliğe göre m gıdanın belirli bir t anındaki nem içeriğini ($g\ su/g\ km$), m_e denge nem içeriğini, m_0 gıdanın başlangıç nem içeriğini temsil etmektedir. m_e değeri diğer terimlerle karşılaştırıldığında çok küçüktür. Bu sebeple ihmal edilmektedir.

Bu tezde yer aldığı gibi gıdaların ince tabaka halinde kurutulmasında kurutma modelleri teorik, yarı teorik ve ampirik modeller olarak sınıflandırılmaktadır (Kutlu vd., 2015). Yapılan bu tez çalışmasında da meyve sebzelerin kurutma proseslerinde literatürde sıklıkla kullanılan matematiksel modeller kullanılmıştır. Bu kurutma modelleri Çizelge 3.2’de özetlenmiştir (Mengeş vd., 2005).

Çizelge 3.2. İnce tabaka kurutma modelleri

Model	Denklem
Newton	$ANO = \exp(-kt)$
Page	$ANO = \exp(-kt^n)$
Modifiye Page	$ANO = \exp[-(kt)^n]$
Midilli-Küçük	$ANO = a \exp(-kt^n) + bt$
Henderson and Pabis	$ANO = a \exp(-kt)$
Logaritmik	$ANO = a \exp(-kt) + c$
Çift Terimli	$ANO = a \exp(-k_0 t) + b \exp(-k_1 t)$

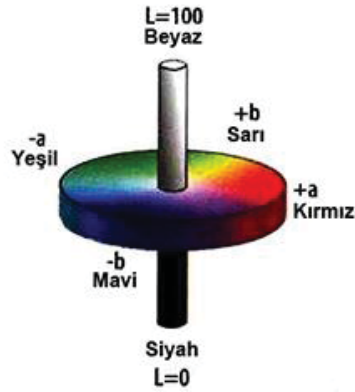
Çizelgeye göre gıdanın kuruma süresince ağırlık ölçüm süresini, a , b , c , k_0 , k_1 , k , n model sabitlerini temsil etmektedir.

Elma dilimlerinin deneysel kuruma eğrileri ile uyumu doğrusal olmayan regresyon analizi ile MATLAB 2017b kullanılarak belirlenmiştir. Uyumlulukta R^2 ’nin (uyumluluğu belirleme katsayısı) 1’e yakın olması ve tahmini standart hatanın (RMSE/Root Mean Square Error) düşük olması dikkate alınmıştır.

3.2.2.12. Renk değerleri hesaplamaları

Kuruma evresi öncesi ve sonunda elma dilimlerinin farklı noktalarından alınan ölçüm verileri analizleri Mohammadi vd. (2008)'ne göre yapılmıştır. Renk ölçümü Minolta CR 400 model (Osaka, Japan) ile yapılmıştır. Ölçümler kuruma öncesinde ve kuruma sonrasında aynı örneklerde ve elma dilim yüzeylerinde olmak üzere seçilen 5 farklı elma diliminin 3 farklı noktasından Hunter renk sistemine göre (L, a, b) yapılmıştır. Ham veriler EK B.2'de tablo değerleri halinde sunulmuştur. Renk ölçümlerinden önce cihaz kalibrasyonu beyaz seramik plaka (L=97,47 a=-5,44 b=7,26) üzerinde yapılmıştır. Örneklerin cihaz ekranından okunan Hunter L (parlaklık), a (kırmızılık-yeşillik) ve b (sarılık-mavilik) değerleri kaydedilmiştir.

Renk değerlerini belirten L, a, b değerleri gıda prosesleri uygulamaları sırasındaki renk değişim süreçlerini belirten toplam renk değişimi (ΔE) ile ifade edilmektedir. Toplam renk değişimi L, a ve b değerlerinin eşitlik 3.7'de yerine konmasıyla bulunmuştur. Şekil 3.11.'de Hunter renk skalasında L, a ve b değerlerinin 3 boyutlu skalada yerleri gösterilmiştir.



Şekil 3.11 Hunter renk skalası (PCE, 2017).

Renk skalası; L değeri [(0) Siyah – (100) Beyaz], a değeri [(-60) Yeşil – (+60) Kırmızı], b değeri [(-60) Mavi – (+60) Sarı] şeklinde belirtilmiştir (Şekil 3.9). Ürünlerin ΔE (kuruma sırasında başlangıç ürüne göre meyvedeki renk değişimini), Chroma (C) (renksel parlaklık) ve Hue açısı değerleri Eşitlik (3.7), (3.8) ve (3.9)' a göre hesaplanmıştır.

$$\Delta E = [(L_0 - L)^2 + (a_0 - a)^2 + (b_0 - b)^2]^{1/2} \quad (3.7)$$

$$\text{Chroma} = (a^2 + b^2)^{1/2} \quad (3.8)$$

$$\text{Hue Angle} = \tan^{-1}(b/a) \quad (3.9)$$



(a)



(b)

Şekil 3.12. Renk ölçüm cihazı (a), tüm deneylerin renk ölçüm çalışması (b)

3.2.2.13. Esmerleşme indeksi (BI)

Elma dilimlerinin kuruma evresi sonunda farklı noktalarından alınan değerler kuruma evresi öncesinde alınan değerlerle arada oluşan fark prensibine dayalı olarak yapılan hesaplamalar Mohammadi vd. (2008)'ne göre yapılmıştır. Bulunan değerler aşağıda verilen eşitliklerde (3.10) ve (3.11) yerlerine konularak hesaplanmıştır.

$$BI = \frac{[100(x - 0,31)]}{0,17} \quad (3.10)$$

$$x = \frac{a + 1,75L}{(5,645L + a - 3,012b)} \quad (3.11)$$

3.2.2.14. Hacimsel yüzde (%) olarak büzülme testi hesaplamaları

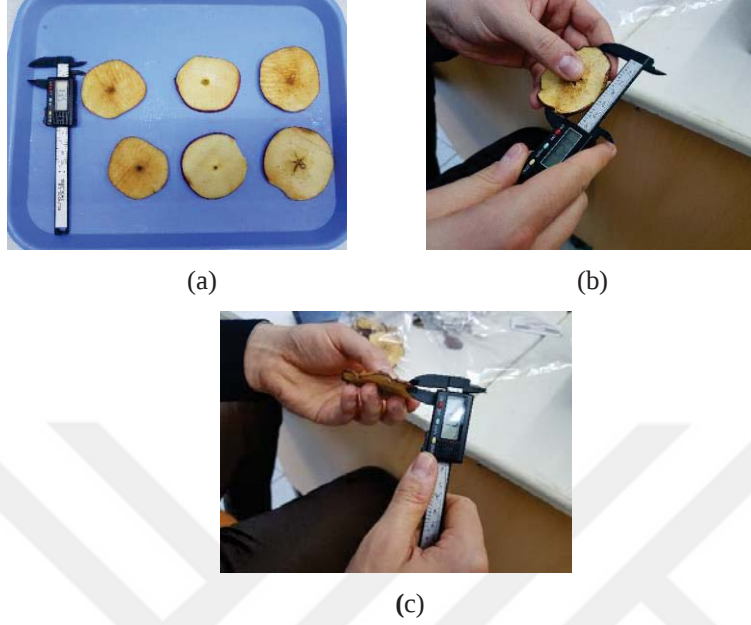
Kuruma evresi başlangıcında kalınlığı 5 mm olarak ayarlanmış paslanmaz çelikten imal edilen elma dilimleme makinasından geçirilen elmaların kalınlığı sabit bir değerde dilimlenmiştir. Dilimler kurutma süreci sonunda başlangıçta sabit alınan kalınlık değerleri ile işaretli elma dilimlerinin kurutma işlemi sonucunda farklı noktalarından ölçülen çap değerlerinin mm olarak değerlerinin % olarak hesaplanması sonucunda aradaki fark elde edilmiştir. Ayrı ayrı % 'lik değişimleri hesaplanan çap ve kalınlık değişimlerinin ortalama verilerinden hacim hesabına gidilmiştir. Hesaplamalarda 3.12. no'lu eşitlik kullanılmıştır.

$$(\%) = \frac{(W_t - W_d)}{W_d} \times 100 \quad (3.12)$$

Wt: Kurutma neticesinde elde edilen hacim

Wd: Kurutma öncesi ilk hacim

Ölçümler elma dilimi eni ve kalınlığı üzerinden iki farklı boyut üzerinden yapılmıştır. Sonuçlar ayrı boyutlarınkini kendi içinde ortalama değer olarak ve her bir kurutma parametrelerini temsil eden örnekler üzerinden verilmiştir. Yapılan ölçüm işlemleri Şekil 3.13.'te verilmiştir.



Şekil 3.13. Kurutma öncesi işaretlenen elmalar (a), kurutma sonrası çap ölçümü (boy mm) (b), kurutma sonrası kalınlık (en) ölçümü mm (c)

3.2.2.15. Rehidrasyon (geri su alma) kapasitesi tayini

Rehidrasyon kapasitesi kurutulmuş gıda maddesinin düşen nem değerinin ve bu nem değeri stabilitesinin önemli bir ölçütü kabul edilmesi bakımından farklı kurutma parametrelerine göre yapılan kurutulmuş elma dilimi numunelerinde hesaplanmıştır. Hesaplamalarda 65 °C hava akımlı fırında ve mikrodalgada kurutulmuş elma dilimleri 50 °C'deki saf suda sabit tartıma gelene kadar oda sıcaklığında bekletilmiştir. Sabit tartıma gelen numuneler elek üzerinde 30 saniye bekletildikten sonra hafifçe kurulanarak nihai tartıma alınmıştır. 3 paralel olarak çalışılmış ve sonuçlar % olarak (3.13) no'lu eşitlik kullanılarak hesaplanmıştır (Maskan, 2001a). Şekil 3.14'te rehidrasyon aşaması deneyi gösterilmiştir.

$$(\%) = \frac{(W_t - W_d)}{W_d} \times 100 \quad (3.13)$$

Eşitliğe göre W_t herhangi bir zamandaki ürün ağırlığını (g), W_d kuru ürün ağırlığını (g) temsil etmektedir.



Şekil. 3.14. Kurutulmuş elma dilimlerinde geri su alma testi

3.2.2.16. Duyusal analiz

Farklı parametrelere göre kurutulan elma dilimlerinin duyusal analizi puanlama testi (Ek A) kullanılarak, 8 kişilik Ankara Gıda Kontrol Laboratuvar Müdürlüğü Kimyasal Analiz Laboratuvarı analistleri içinden, yaşları 35-55 arasında değişen, konusunda eğitilmiş panelist grubu tarafından yapılmıştır. Kurutulmuş elma dilimleri, renk (taze elma rengine yakınlık), koku (doğal elmanın kokusu), tekstür (elle kırılarak bakılan), şekil (geometrik yapının korunması), ağız hissi (sertlik), çiğnenebilirlik, yapışkanlık, karamelize tat, genel beğeni ve lezzet özellikleri bakımından 1 ile 5 puan aralığında değerlendirmeye tabi tutulmuştur (Altuğ ve Elmacı, 2005). Sayılan 10 farklı kalite parametresine göre yapılan değerlendirmenin daha nesnel analizi bakımından elma dilimlerinin kurutma metotları gizlenmiş ve örneklerle 2 haneli rastgele seçilmiş harf kodları verilmiştir. Duyusal analiz formu Ek A'da sunulmuştur.

3.2.2.17. İstatistiksel analiz

Elma dilimi deneylerinin analizleri ön denemeler sonrası iki tekerrüre ait iki paralel olarak yapılmıştır. Gruplar arası farklılığın belirlenmesinde Tukey ($p < 0.05$) testi kullanılmış, istatistikî analizler Minitab16 istatistik programı ile gerçekleştirilmiştir.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI

4.1. Kurutma İşlemlerinin Elma Meyvelerinin Başlangıç Değerleri Üzerine Etkileri

4.1.1 Elma meyvesinin (Starking delicious) bazı fiziksel özellikleri

Hammade üzerinde yapılan ölçümlerde ortalama değerler olarak $66\pm0,02$ mm boy, $74\pm0,17$ mm en $173\pm0,04$ g ağırlık, $2,8\pm1,05$ mm sap kalınlığı, $14\pm1,23$ mm sap uzunluğu, %16 suda çözünür kuru madde değerleri ölçülmüştür. Elma çeşitlerinin kalite parametreleri üzerine yapılan bir araştırma çerçevesinde Starking delicious çeşidinin bazı pomolojik özellikleri Çizelge 4.1.'de verilmiştir. Yaklaşık değerler olarak 65 mm boy, 73 mm en, 170 g ağırlık, 3 mm sap kalınlığı, 19 mm sap uzunluğu, % 14 suda çözünen kuru madde miktarı ile 17 libre meyve eti sertliği bildirilmiştir (Coşkun ve Aşkın, 2016). Çeşidin kendine has özelliklerinin literatürle uyumluluk içinde olduğu görülmüştür. Hammaddeye ait ölçülen fiziksel özellikleri Çizelge 4.1.'de verilmiştir.

Çizelge 4.1 Starking delicious çeşiti elmanın bazı pomolojik özellikleri

Pomolojik özellikler	M.B (mm)	M.E (mm)	M.A (g)	S.K (mm)	S.U (mm)	SÇKM (%)	M.E.S (Libre)
Starking delicious	64,70 $\pm 0,9$	72,098 $\pm 1,0$	169,557 $\pm 5,6$	2,89 $\pm 0,1$	18,48 $\pm 0,8$	13,290 $\pm 0,2$	16,674 $\pm 0,3$

MB: Meyve boyu, ME: Meyve eni, MA: Meyve ağırlığı, SK: Sap kalınlığı, SU: Sap uzunluğu, SÇKM: Suda çözülebilir kuru madde, MES: Meyve eti sertliği,

4.1.2. Elma (Starking delicious) meyvesinin başlangıç değerleri

Hammade üzerinde yapılan başlangıç analizleri Çizelge 4.2.'de özetlenmiştir.

Çizelge 4.2. Elmanın başlangıç değerleri

Fiziksel Özelliklere Yönelik Analizler	Ortalaması alınmış sonuçlar
pH	$4,35\pm0,15$
°Briks (suda çözünür kuru madde)	$15,69\pm0,65$
Toplam kuru madde	% $21,38\pm0,24$
Su Aktivitesi	$0,96\pm0,32$

Fiziksel analizlerin ölçümünde her deney için 4 adet elma numunesi kullanılmıştır. Numunelerde yapılan analizler iki tekerrürlü olarak yapılmıştır. Ortalaması alınan sonuçlar üzerinden hata payı hesaplanmıştır. Briks ölçümü kabuğuyla birlikte öğütülmüş elmanın kağıt tipi süzğünden geçirilmesiyle elde edilmiştir. Kuru madde miktarı hesaplamalarında homojen hale getirilmiş meyve bütün olarak öğütülmüştür. Yapmış olduğumuz deneyde elde ettiğimiz sonuçlar referanslara uygunluk göstermektedir. Hammaddede analiz edilen kuru madde, °briks, pH ve su aktivitesi değerlerinin kendi

içinde elde edilen verilerinde istatistiksel olarak anlamlı bir fark bulunmadığı hesaplanmıştır (p >0,05).

Briks derecesi ve pH asitlik değerleri tüketilmeye ve işlenmeye uygun olgunluk seviyesinin göstergesidir. Aşırı olgun meyvenin işlenebilirlik kalitesi yetersiz olacaktır. Yüksek pH da aşırı olgunlaşmanın ve bozulma reaksiyonlarına elverişliliğin göstergesidir (Cemeroğlu, 2007). Meyve ve sebzelerin işlenmeleri sırasında ortaya çıkan enzimatik esmerleşmeler ortamın pH değeri ile yakından ilgilidir. Enzimatik esmerleşmeler ortamın pH değerinin 4.5 in üzerine çıkmasıyla hızla artar ve 5-7 dolaylarında maksimum düzeye erişir. Bu bakımdan meyve ve sebzelerin işlenmelerinde enzimatik esmerleşmeleri önlemek amacıyla ön işlem uygulamalarına (haşlama veya yıkama suyuna % 0.1 düzeyinde sitrik asit ilavesi gibi asitliği düzenleyiciler) başvurulmaktadır (Yaralı, 2017).

Standartlara ve literatüre bakıldığında elmanın °Briks (suda çözünür kuru madde) derecesi; 9,12 ila 16,5 arasında değişmektedir (Nielsen, 2003). pH değerleri ise; 3,39 ila 4,3 değerleri arasında değişmektedir (Tüfekçi ve Fenercioğlu, 2010). Kurutulan küçük meyvelerde nem % 3-8, su aktivitesi 0,70'in altında bulunduğu bildirilmiştir (Barta, 2006).

Genel olarak meyvelerin işlem görmemiş olgun formlarında %80–85 su, % 0,2–1,0 azotlu maddeler, % 0,1–0,3 yağ, % 3–18 karbonhidrat ve % 0,3–0,8 mineral madde bulunduğu bildirilmiştir (Yaralı, 2017).

Elma meyvesinin başlangıç şeker değerleri kuru madde üzerinden HPLC cihazıyla ölçülmüştür. Şeker içeriği incelendiğinde kuru madde üzerinden % 55,17'sinin toplam şekerden oluştuğu görülmüştür. Elma meyvesinde en çok bulunan şeker tür ve oranları Çizelge 4.3.'de verilmiştir.

Çizelge 4.3. Elma hammaddesinin kuru maddesi üzerinden % şeker değerleri

Kurutma Deneyleri	Fruktoz	Glukoz	Sakkaroz	Toplam
Hammadde	26,76±0,63	16,94±0,19	11,37±1,07	55,17±0,89

Literatür üzerinde yapılan incelemelerde Zhao vd.,1995'te taze ve depolanan elmada fruktozun dominant şeker olduğunu ve toplam şekerin % 57'sini oluşturduğunu, Mordoğan ve Ergun, 2002'de Starking elmalarda fruktozu % 27,55- % 36,88 aralığında; sakkarozu % 13,73- % 25,84 aralığında bulduklarını bildirmiştir. Bu bağlamda HPLC ortamında yürüttüğümüz şeker analizlerinin literatürle uyumlu olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Meyvenin bütününde kuru madde miktarı ortalama olarak % 21,38±0,24 olarak belirlenmiş olup US uygulaması sonrası kuru madde miktarının düşüşü istatistiksel olarak önemli bulunmuştur (p<0,05). Aynı şekilde organik asit sonuçlarına bakıldığında US öncesi yaş meyvede g/kg da kuru madde üzerinden Okzalik asit 1,4 tartarik asit 14,3 malik asit 86,8 sitrik asit 33,8 bulunmuştur. Ön işlemlisiz yapılan kurutma işlemleri neticesinde malik, sitrik ve tartarik asit miktarlarında azalmalar

olduğu tespit edilmiş, bu farklılık istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($p<0,05$). Bu durumun uygulanan sıcaklık etmenlerinin etki ediş biçimi ve süresine bağlantılı olduğu ayrıca meyve içerisindeki suda çözünür bileşenlerin (vitaminler, şekerler, organik asitler gibi) ultrasonik su banyosu esnasında uygulanan süreyle orantılı olarak meyveden ortama geçişi sebebiyle bazı deneylerde %1-2 daha fazla kayba sebep olduğu düşünülmektedir. Ön işlemler sonrası US su banyosundaki suyun °Briks'i ölçülmüş ve ortalama değerler olarak 0,4-0,8'lik bir artış olduğu tespit edilmiştir.

Kurutma işlemleri sırasında elma dilimlerine uygulanan kurutma parametrelerinin doğru tercih edilip edilmediğinin benzer şekilde diğer işleme ve depolama koşullarının iyileştirilmesinin önemli bir göstergesi olan HMF (hidroksimetilfurfural) oluşumu tüm deneylerde ve ham elmada HPLC ortamında analiz edilmiştir. Hammaddenin mg/kg olarak hesaplanan HMF ortalama değeri 4,09 bulunurken 65°C'de konveksiyonel fırında kurutma işlemi uygulanan deneylerden kontrol grubunda (ön işlemsiz) 18,52 mg/kg olarak ön işlem gören 15 US ve 30 US 65 °C gruplarında ise sırasıyla mg/kg'da 6,27 ve 5,40 olarak bulunmuştur. Konveksiyonel tip fırın koşullarında uygulanan kurutmanın elma dilimlerinde HMF değerinde artışa sebep olduğu hesaplanırken kurutma işleminin US ön işlemi ile desteklenmesinin HMF miktarının daha az oluşmasına sebep olduğu anlaşılmıştır. MW ortamında yapılan kurutma deneylerinde ise US uygulamasının tüm güç modlarında (180W, 360W, 600W) HMF oluşumunun azaltıcı etkisinin aynı oranda etki etmediği anlaşılmıştır. Deneyler arasındaki HMF oluşum miktarı istatistiki olarak önemli bulunmuştur ($p<0,05$).

Ertekin Filiz'in 2015 yılında farklı elma cinsleri üzerinde kurutma ve depolama araştırmalarını yaptığı çalışmasında Satkin Delicious çeşidi elma hammaddesinde 0,39 - 8,62 mg/100g kuru ağırlıkta HMF miktarının tespit edildiği bildirilmiştir.

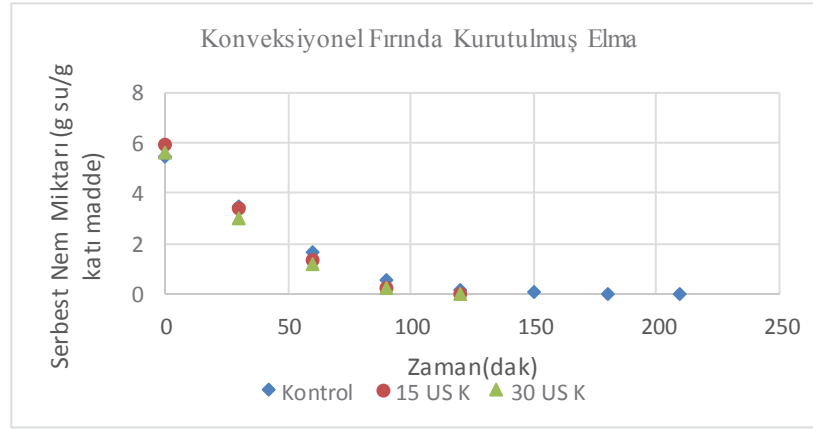
Akyıldız ve Öcal'ın 2006 yılında yaptıkları çalışmalarında 80 °C 4 saat kurutulan Amasya ve Golden Delicious çeşidi elmalarda HMF değeri 12,52-17,22 mg/kg olarak bulunmuştur.

4.2. US Ön İşleminin Elma Dilimlerinin Farklı Koşullarda Kurutulmasına Etkileri

4.2.1. Elma dilimlerinin kuruma davranışları

4.2.1.1. Serbest nem ve zaman grafikleri

Kuruma davranışlarının yapılan deney türleri arasında belirli süre içinde birim katı üründen uzaklaştırılan birim serbest nem miktarlarının kıyaslanabilmesi bakımından incelenmiştir. Ani kaybedilen nem oranı (3.1) 'de verilen eşitlikten yararlanılarak hesaplanmıştır. Konveksiyonel (hava akımlı) fırın koşullarında yapılan kurutma deneylerinin kuruma sürecinde yapıda bulunan nemi zaman içinde kaybetme miktarları Şekil 4.1.'de verilmiştir.



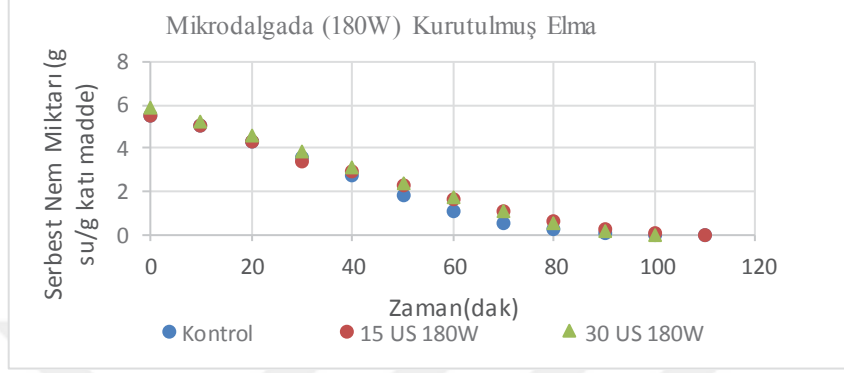
Şekil 4.1. Konveksiyonel fırında farklı ön işlem uygulamalı kurutma deneylerinin davranışları

Yapılan kurutma deneylerinde farklı ön işlem çeşitlerinin elma dilimlerinin belirli kuruma süreleri boyunca muhtevalarındaki nemi nasıl kaybettiklerinin anlaşılabilmesi amacıyla uygulanmıştır. Grafiklerin başlangıç noktalarının aynı olmaması ürünlerin başlangıç nem içeriklerinin farklı olmasından kaynaklanmaktadır. Farklı US ön işlem süreleri meyvelerin kuru madde ve nem içeriklerinde değişime yol açmıştır. Konveksiyonel fırın kullanarak yapılan kurutma işleminde, kontrol denemesi kurutma işlemi, 15 dakika US uygulanarak kurutma işlemi ve 30 dakika US uygulanarak kurutma işlemi olarak üç farklı deneme yapılmıştır. Elma örneklerindeki serbest nem miktarının zamanla değişiminin gözlemlenmesi hedeflenmiştir. Yapılan deneyler sonucunda elde edilen grafikte üç denemenin de serbest nem miktarı üzerinde benzer etkileri olduğu gözlemlenmiştir. Her üç denemede de serbest nem miktarı zamana bağlı olarak azalmaktadır. Ultrases işleminin uygulanması sonucunda kontrol denemesinden farklı olarak kuruma süresinin yaklaşık 60 dak. daha kısa olduğu görülmektedir. Yapılan literatür araştırmalarında ultrases dalgalarının gıda içerisindeki akışı katı ve sıvıların arasında bulunan sınır tabakalarına etkidiğine rastlanmıştır. Rodriguez ve arkadaşlarının ultrasesin meyve ve sebze kurutmadaki etkileri üzerine yaptığı çalışmada gaz kabarcıklarının oluşumu ve ardından patlayarak basınç dalgalanmalarına sebep olan kaviteasyon etkisi, ultrasesin uygulanması durumunda difüzyonu önemli düzeyde artırarak dokudan sıvı ve gaz çıkışını hızlandırdığı yönündeki bulgular vermiş olup deney sonuçlarını destekler niteliktedir (Rodriguez vd, 2017). Bu sonuçlardan yola çıkılarak ultrases ve konveksiyonel kurutma kombinasyonun ve kontrol denemelerinin serbest nem miktarının zamanla değişimi üzerinde çok benzer sonuçlar verdiği görülmektedir.

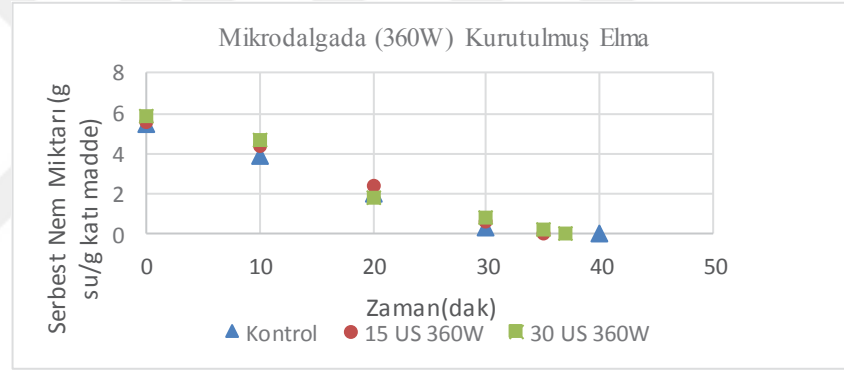
Mikrodalgada yapılan kurutma deneylerinden serbest nem-zaman korelasyonu 180W ve 360W güç modlarında yapılan kurutma deneylerinde incelenmiş olup 600W güç modunda yapılan kurutma deneyinin grafiği ele alınmamıştır. 600W güç modu uygulanan deneylerde ultrases ön işleminin 30 dak. süresince uygulanmasının başlangıç nem değeri miktarlarında meydana getirdiği değişikliğin çok kısa sürelerde yüksek güç uygulamaları sebebiyle serbest nemin eşit sürelerde dağılmadığı incelenmiştir. Bu bağlamda 600W MW güç modunda Mikrodalga fırınlarda daha yüksek güç

uygulanarak kurutma zamanında azalma görülmesi literatürdeki çalışmalarla kanıtlanan bulgular arasındadır (Ashtiani vd., 2017).

180W ve 360W MW deneylerinin farklı ön işlem uygulamalarına tabii tutulan kurutma deneylerinin kurutma süresi içinde kaybettikleri serbest nem miktarının zamana bağlı grafikleri Şekil 4.2 ‘de gösterilmiştir.



(a)



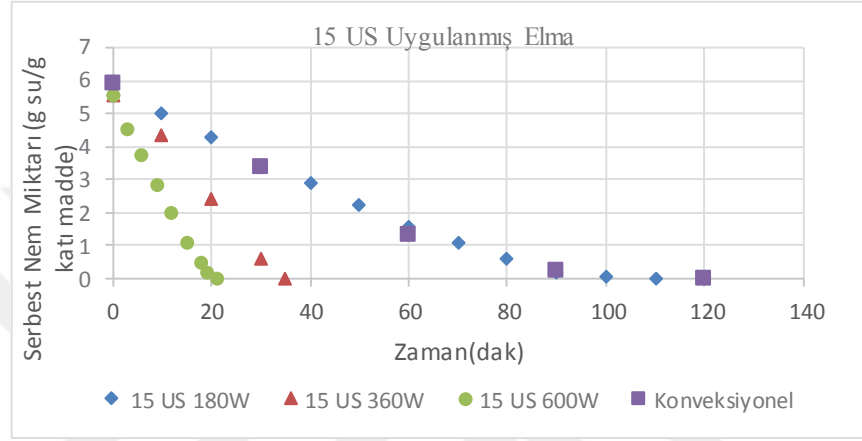
(b)

Şekil 4.2. 180 W MW farklı ön işlemlili deneylerde kuruma davranışları (a), 360 W MW uygulamasında farklı ön işlemlili deneylerde davranışları (b)

Mikrodalga fırın kullanılarak yapılan kurutma işleminde, iki farklı mikrodalga gücü ayarında hem kontrol denemeleri hem de ultras ses kombinasyonu kullanılmıştır. Mikrodalga güç ayarları olarak 180W ve 360W; ultras ses süreleri olarak; 0, 15 ve 30 dakika tercih edilmiş olup her biri için hem kontrol hem ultras ses kombinasyon denemeleri yapılarak elma örneklerindeki serbest nem miktarının zamanla değişiminin gözlemlenmesi hedeflenmiştir. 180W güç kullanılarak yapılan denemeler sonucunda elde edilen grafiklere bakıldığında hepsinde serbest nem miktarının zamana bağlı olarak azaldığı gözlemlenmiştir. Farklı sürelerde ultras ses uygulanmasının mikrodalga ile kombinasyonu ile ortaya çıkan sonuçların kontrol grafikleriyle neredeyse aynı sonuçları verdiği görülmüştür. Bundan yola çıkarak ultras sesin mikrodalga ile birlikte kullanılmasının serbest nem miktarı üzerindeki etkisinin önemsiz olduğu söylenebilmektedir. 360W güç kullanılarak yapılan denemelerde de 180W ile yapılan denemeler ile benzer sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir. Serbest nem miktarı zamana bağlı olarak azalmakta olup ultras ses ön işleminin serbest nem miktarı üzerinde önemli bir etki yaratmadığı

görülmüştür. İlâveten 180W'dan farklı olarak, 360W kullanarak kurutma zamanında belirgin bir azalma olduğu da gözlemlenmiştir.

Mikrodalga sistemlerinde uygulanan kurutma işlemlerinin yapının kondanase olan su buharı ile etkileşerek kuruma seyrinin non-lineer bir profil vermesi bakımından mikrodalga deneylerinde 600W kurutma grubu kendi içinde grafikleştirilmemiştir. Tüm deneylerin birlikte incelenmesi bakımından 15 dak. US ön işlem uygulamalı olarak farklı koşullarda kurutulan elma dilimlerinin incelendiği grafik Şekil 4.3'te verilmiştir.



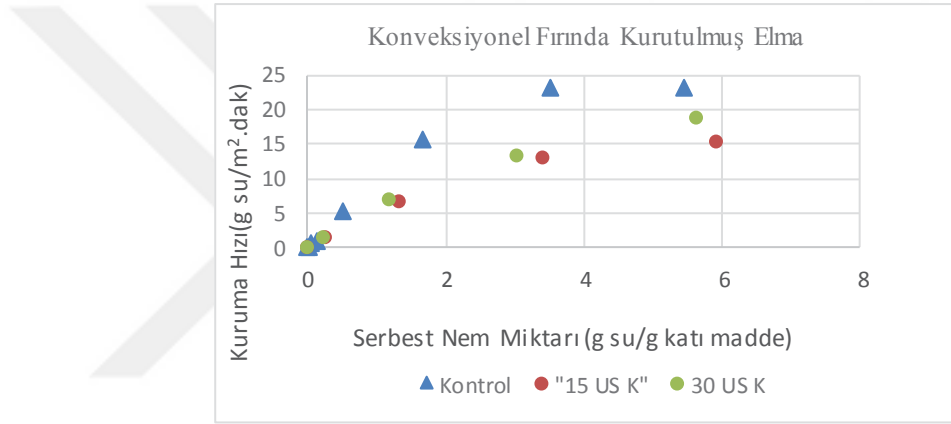
Şekil 4.3. 15 US ön işlemi ardından kurutulan deneylerin serbest nem-zaman garfikleri

Başlangıç nem miktarları farklı kuruma süreleri seyreden kurutma denemelerinde uygulanan US ön işlemine bağlantılı olarak değışen değerlerde olduğu görülmüştür. Grafiğin zaman dilimleri 20'şer dak.'lık dilimlerden oluşması sebebiyle grafikte her bir deneyin bu 20 dak.'lık nem değışim miktarının görünümü bu şekliyle elde edilmiştir. 15 ve 30 dak. US ön işlemi uygulanan 180W MW kuruma deneyi ile aynı ön işlem uygulaması yapılan hava akımlı fırında kurutulan örneklerin çok benzer davranışları gösterdiği ve birbirine yakın sürelerde kurudukları görülmüştür. 15 dak. US ön işlemli uygulamada 600W güç kullanılarak yapılan denemelerde 360W ile yapılan denemeler ile benzer sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir. Serbest nem miktarı zamana bağlı olarak azalmakta olup ultrasnes uygulamasının serbest nem miktarı üzerinde önemli bir etki yaratmadığı görülmüştür. İlâveten 180W ve 360W'dan farklı olarak, 600W kullanılarak en kısa kurutma süresi elde edildiği görülmüştür. Kurutma işlemine 65 °C'de kurutulan ürünlerde, ürün sabit tartım ağırlığına gelene kadar devam edilmiştir. Mikrodalgada kurutulan örneklerde ise üründe kabuk ve iç kısımlarında nokta şeklinde yanmalar meydana gelmiş ve bu durumun ürünün duysusal özelliklerini (renk, tat, koku, görünüş gibi) olumsuz yönde etkilememesi açısından kurutma işlemi ürün sabit tartıma gelmesi ve % 5 kuru madde ağırlığına yaklaşıması göz önüne alınarak sonlandırılmıştır.

4.2.1.2. Kuruma hızı ve serbest nem miktarı grafikleri

Kurutma deneylerinin kuruma hızları eşitlik (3.1)'den yararlanılarak yapılmıştır. Serbest nem miktarları birim katı maddedeki birim suyun oranlanması ile elde edilerek hesaplanmıştır. Kuruma hızlarının serbest nemle olan ilişkisini incelemek amacıyla farklı kurutma koşullarında kurutulan deneylerde kendi içlerinde mukayese yapılma yoluna gidilmiştir.

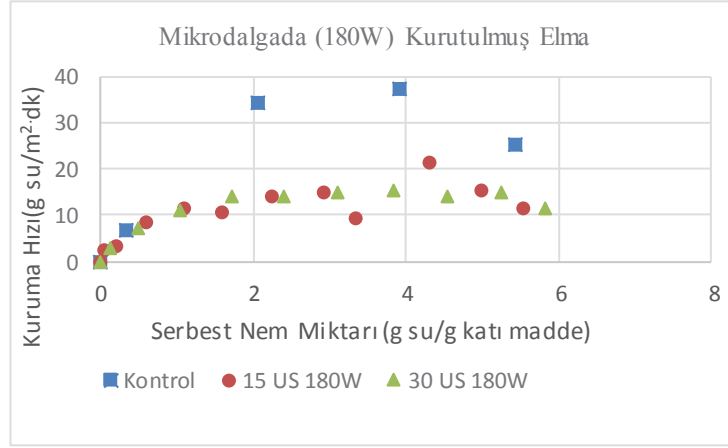
Konveksiyonel fırın kullanarak yapılan kurutma işleminde, kontrol denemesi kurutma işlemi, 15 ve 30 dak. ultrases ön işlemlili kurutma işlemleri olmak üzere üç farklı deney türü ile kuruma hızı-serbest nem miktarı grafikleri oluşturulmuştur. Elma örneklerindeki kuruma hızının serbest nem miktarı ile olan ilişkisinin gözlemlenmesi hedeflenmiştir. Parametrelere göre oluşturulan grafik Şekil 4.4.'te verilmiştir.



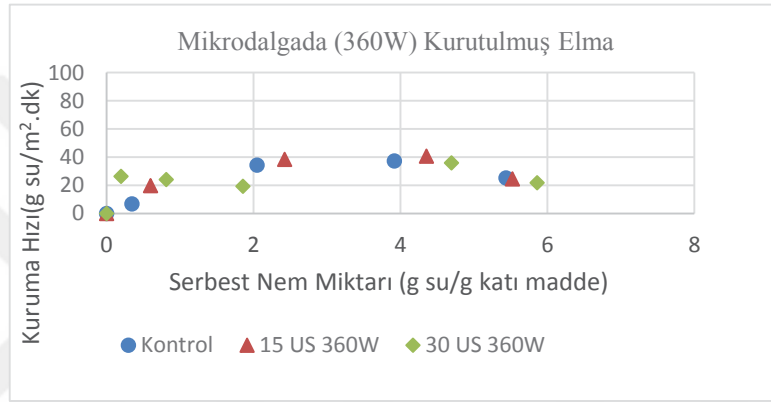
Şekil 4.4. Konveksiyonel fırın koşullarında kurutulan deneylerin kuruma hızı- serbest nem miktarı grafiği

Konveksiyonel hava akımlı kurutma koşullarında yapılan bütün işlemlerde en yüksek kurutma hızının en yüksek serbest nem miktarı değerlerinde gerçekleştiği kuruma eğrilerinde gözlemlenmiştir. Literatür araştırmalarında rastlanan bulgularda bu durum kurutulan ürünlerin belirli bir nem düzeyine eriştikten sonra (kritik nem) kurumalarının gittikçe zorlaştığı ve kuruma sürelerinin uzadığı yönünde olmuştur. Farklı sürelerde uygulanan ultrasesin kuruma deneylerinin kuruma hızlarında farklılıklar meydana getirdiği hesaplanmasına rağmen kuruma eğrilerinde fark edilir değişiklikler yaratmadığı ve benzer sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir.

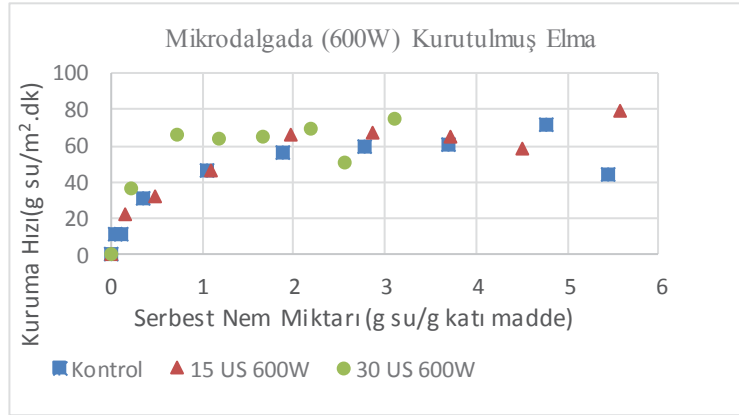
Mikrodalga fırın kullanılarak yapılan kurutma işleminde kuruma hızının serbest nem ile olan ilişkisinin incelenmesi amacıyla üç farklı mikrodalga gücü ayarında hem kontrol denemeleri hem de ultrases kombinasyonu kullanılmıştır. Mikrodalga fırında uygulanana Watt enerjisi arttıkça kurutma işleminde stabilitenin ultrases ön işlemine bağlı olarak değişimi ifade edilmektedir. Şekil 4.5.'te yapılan grafikler (a), (b), (c) harfleriyle belirtilerek verilmiştir.



(a)



(b)

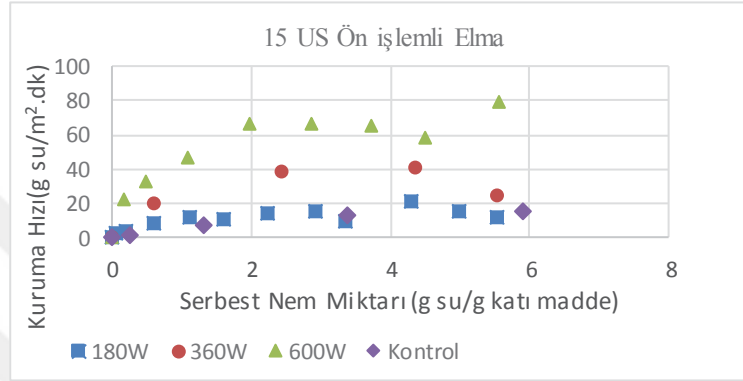


(c)

Şekil 4.5. Kuruma hızı ile serbest nem miktarının MW ortamında kurutulan 180W (a), 360W (b), ve 600W (c) üç farklı güç modundaki görüntüleri

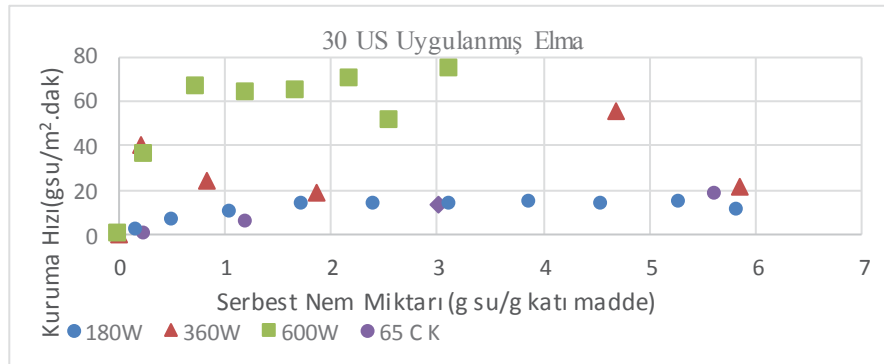
Mikrodalga güç ayarları olarak 180W, 360W ve 600W; ultrases ayarları 0 (kontrol), 15 dakika ve 30 dakika tercih edilmiş olup her biri için hem kontrol hem ultrasesle kombinasyonu denemeleri yapılarak elma örneklerindeki kuruma hızının serbest nem miktarına karşılık değişimi belirlenmiştir. Herhangi bir nem transferine entegreli olmayan mikrodalga fırın koşullarında uygulanan kurutma işlemleri esnasında özellikle yüksek güç uygulamalarının analizleri sırasında fırın içi kondanse olan

suyun kurutma işlemlerinde deneysel hatalar oluşturma ihtimali söz konusu olmuştur. Kurutma akım şemasının verileriyle uyumlu olarak deneysel sayılabilecek koşullardan ötürü bütün eğrilerde dalgalanmalara rastlanmıştır. Bu husus göz önüne alınmakla birlikte en yüksek kuruma hızına en yüksek serbest nem miktarlarında rastlandığı bulgusuna varılmıştır. Deneyin konveksiyonel fırında kurutulan diğer numunelerinde olduğu gibi mikrodalgada kurutulan ürünlerin belirli bir nem düzeyine eriştikten sonra (kritik nem) kurumalarının gittikçe zorlaştığı ve kuruma sürelerinin uzadığı tespit edilmiştir. Mikrodalga fırın ortamında yapılan kurutma işlemlerinde kuruma hızlarının serbest nem miktarı üzerindeki etkisi Şekil 4.6 ve 4.7’de verilmiştir.



Şekil 4.6. Elma dilimlerinin 15 dak. US ön işlemlili farklı kurutma koşulları altında (Konveksiyonel tip, 180W, 360W, 600W MW) kuruma hızlarının zamana karşı grafiği

Mikrodalga ve konveksiyonel kurutmalarda kuruma eğrilerinde ortak bir lineer yapının oluşmadığı ancak genel olarak 360W güç modunda mikrodalgada yapılan kurutma eğrilerinin 15 ve 30 dak.’lık ön işlem uygulamalarının her ikisinde de konveksiyonel fırın ile 180W MW kurutma garfiklerinden farklılıklar gösterdiği tespit edilmiştir. Ultrases ön işleminin gözenekli yapının daha genleşmesine sebebiyet vermesi bakımından deneylerde kuruma hızının non-lineer tip kuruma hızı göstererek değişen zaman dilimlerinde farklı hızlarda nem transferi oluşturduğu gözlemlenmiştir.

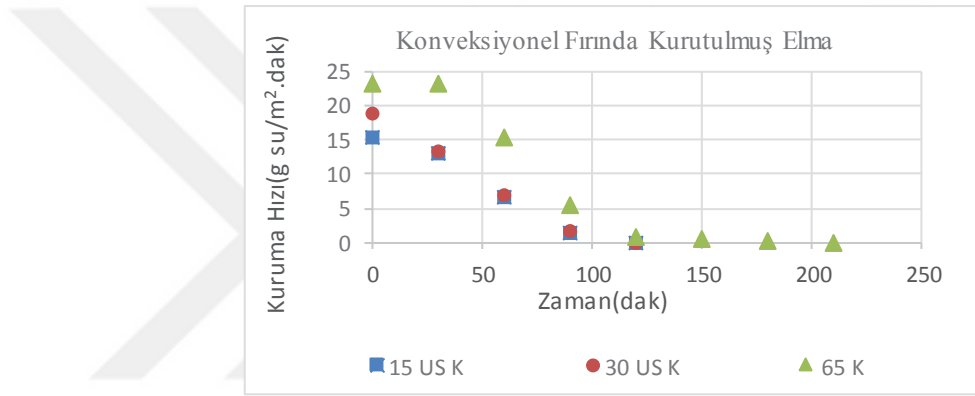


Şekil 4.7. Elma dilimlerinin 30 dak. US ön işlemlili farklı kurutma koşulları altında (Konveksiyonel tip, 180W, 360W, 600W MW) kuruma hızlarının zamana karşı grafiği

Genel bir kıyaslama yapmak adına hem 15 dakika hem de 30 dakika ultrases uygulanmasının farklı kurutma denemelerinin kuruma hızı ve serbest nem miktarı grafikleri çizilmiştir. Bu bağlamda hem 15 dakika hem 30 dakika ultrases sürelerinde konveksiyonel ve 180W mikrodalga kullanımının çok benzer davranışlar sergilediği ve birbirleri yerine tercih edilebilecekleri görülmüştür.

4.2.1.3. Kuruma hızı ve zaman grafikleri

Yapılan kurutma deneylerinde farklı kurutma koşullarının zaman içinde kuruma hızı üzerine olan etkilerinin incelenmesi amacıyla konveksiyonel-hava akımında kurutma ve mikrodalga ortamında yapılan kurutma deneyleri kendi içlerinde farklı ön işlemleri olanları birarada mukayese etmek adına grafiğe aktarılmıştır. Konveksiyonel fırında yapılan kurutma deneylerinin kuruma hızı-zaman grafiği Şekil 4.8. 'de verilmiştir.

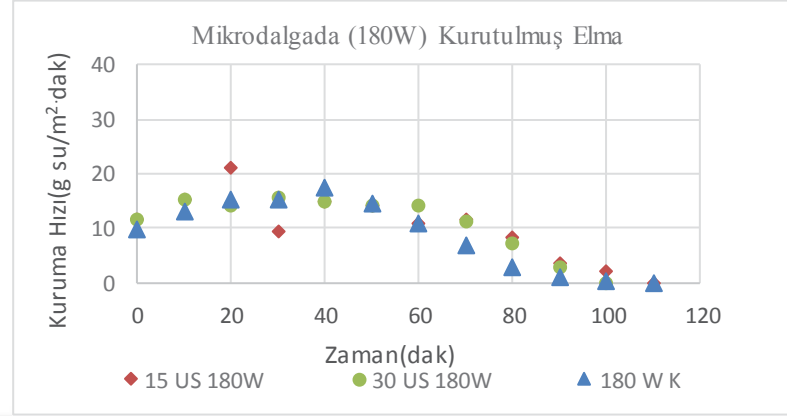


Şekil 4.8. Konveksiyonel fırın koşullarında kontrol, 15 ve 30 dak. US ön işlem uygulanmış elmaların kuruma hızlarının zamana karşı grafiği

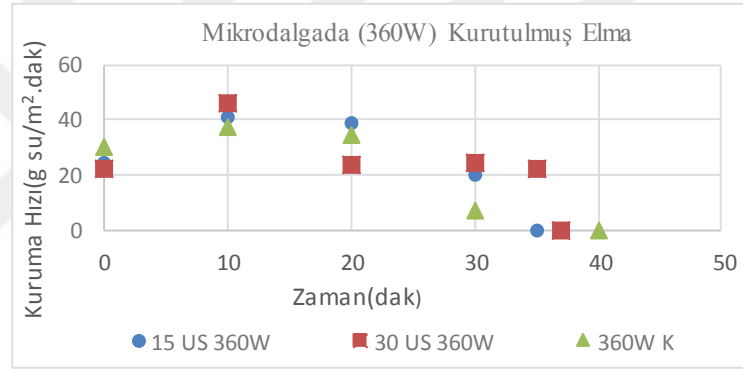
Şekil 4.3 ve Şekil 4.4'te konveksiyonel 65 °C'de ve mikrodalgada kurutulmuş elma dilimlerine ait nem içeriğine karşı kuruma hızı değişimleri görülmektedir. Kuruma hızı eşitlik (3.1)'den yararlanılarak g su/dak.m² olarak hesaplanmıştır. Şekil 4.3 incelendiğinde kuruma hızının sabit ve azalan hız periyodunda devam ettiği gözlemlenmektedir. Mikrodalgada kurutulan ürünlerde ise kuruma hızının artan, sabit ve azalan hız periyotlarına daha çok uyum gösterdiği görülmektedir (Şekil 4.4).

Konveksiyonel fırın kullanarak yapılan kurutma işleminde, kontrol, 15 ve 30 dak. US ön işlemleri üç farklı kurutma işlemi yapılmıştır. Elma örneklerindeki kuruma hızının zamana bağlı olarak değişiminin gözlemlenmesi hedeflenmiştir. Kontrol denemesi hız eğrisi incelendiğinde kısa bir ısınma süresinin ardından; sabit hızda kuruma periyodu ve azalan hızda kuruma periyodu olmak üzere iki farklı kuruma periyodu gözlemlenmiştir. Literatür araştırmalarına bakıldığında konveksiyonel meyve kurutma işlemlerinde kuruma hızının genel olarak bu davranışı sergilediği görülmektedir (Shishir ve Chen, 2017). Genel olarak tüm grafiklerde farklı sürelerde ultrasesin ön işlem olarak uygulanmasının kuruma hızı grafiklerinde daha farklı başlangıçlar sergilediği görülmektedir. Eğrilerin başlangıç

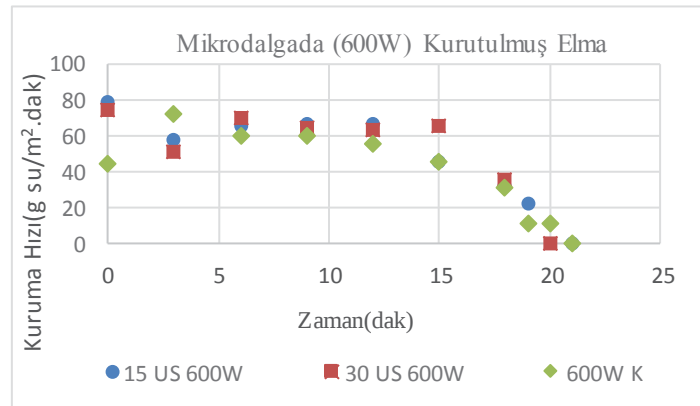
noktalarının farklı olmasının sebebi ultrases ön işleminde örneklerin bünyelerine farklı oranlarda su almalarından kaynaklanmıştır. Şekil 4.9'da mikrodalgada fırında yapılan kurutma denemelerinde kuruma hızının zamanla olan ilişkisi gösterilmiştir.



(a)



(b)



(c)

Şekil 4.9. MW 180W kontrol, 15, 30 US ön işlemlili kurutma hızlarının zamana karşı grafiği (a), MW 360W Kontrol, 15, 30 US ön işlemlili kurutma hızlarının zamana karşı grafiği (b), MW 600W Kontrol, 15 dak. US ve 30 dak. US ön işlemlili kurutma hızlarının zamana karşı grafiği (c),

Mikrodalga fırın kullanılarak yapılan kurutma işleminde, üç farklı mikrodalga gücü ayarında hem kontrol denemeleri hem de ultrases kombinasyonu kullanılmıştır. Mikrodalga güç ayarları olarak 180W, 360W ve 600W; ultrases uygulama süreleri 15 ve 30 dak. tercih edilmiş olup her biri için hem kontrol hem ultrasesle ön işlem kombinasyonu denemeleri yapılarak elma örneklerindeki kuruma hızının zamanla değişiminin gözlemlenmesi hedeflenmiştir. Mikrodalgada kurutulan elmalarda kuruma hızının önce artan, daha sonra sabit ve azalan hız periyotlarına daha çok uyum gösterdiği görülmektedir. 180W, 360W ve 600W güç kullanılarak yapılan kontrol denemelerinin hepsinde benzer sonucun elde edildiği kuruma eğrilerinde görülmektedir. Mikrodalga fırında meyve kurutulması ile ilgili yapılan literatür çalışmalarında kuruma hızının önce arttığı daha sonra bir süre sabit kaldıktan sonra azaldığı bulgularına rastlanmıştır (Shishir ve Chen, 2017). Çalışmalarında mikrodalga meyve kurutulmasında bu durumun beklendik bir sonuç olduğunu kanıtlamıştır. Bu bağlamda kuruma hızı kurutulan ürünün cinsine ve kurutma işlemine göre değiştiği gerçeği de göz önünde bulundurulmalıdır (Musielak vd., 2016).

Herhangi bir ön işlem uygulanmadan dörde kesilerek 0,2 m/s hava hızında, 60, 70, 80, 90 ve 100 °C hava sıcaklıkları kullanılarak kurutulan domateslerin kuruma hız eğrisi incelendiğinde kısa bir ısınma süresinin ardından; sabit hızda kuruma periyodu ve azalan hızda kuruma periyodu olmak üzere iki farklı kuruma periyodu gözlemlenmiştir (Demiray, 2009).

Contreras vd. (2008)'nin yaptığı çalışmada konvektif hava ve mikrodalga destekli konvektif hava ile kurutulan elma ve çilek örneklerinin kuruma hız eğrisi incelendiğinde sadece konvektif hava ile kurutulan örneklerde azalan hız evresi görülürken mikrodalga destekli kurutmada sabit ve azalan hız evresi gözlemlenmiştir.

Kuruma hızı kurutulan ürünün cinsine ve kurutma işlemine göre değişmektedir (Gürses, 1986). Katı materyallerin kuruması sırasında kurumanın genellikle artan hız bölgesi, sabit hız bölgesi ve azalan hız bölgesi olmak üzere üç kısımda gerçekleştiği gözlenir ancak artan hız bölgesi her kurutma işleminde gözlenmez ve ihmal edilebilir. Meyve ve sebze kurutma çalışmalarının çoğunda azalan hız periyodu gözlenmektedir. Kuruma sırasında ürünlerin büzülmesi, boyutlarının küçülmesi sonucu üründen birim zamanda daha az su transferi olmakta böylelikle kuruma hızında azalma meydana gelmektedir (Ertekin Filiz, 2015).

Kivi meyvesinin 60 °C sıcaklık ve farklı hava hızlarında (0,5-1,0-1,5-2,0 m/s) kurutulması sırasında kuruma hızı incelenmiş ve azalan hız evresinin meydana geldiği gözlenmiştir (Darıcı ve Şen, 2012). Benzer şekilde havuç küplerinin farklı sıcaklıklarda (60, 70, 80, 90 °C) konvektif kurutulması sırasında kuruma hızı eğrisinde azalan hız periyodu gözlenmiştir (Zielinska ve Markowski, 2010). Elma küplerinin 35 kHz frekansta 10, 20, 30 dak. US destekli kurutulmasında kuruma hız eğrisinin azalan hız periyodunda olduğu görülmüştür (Nowacka vd., 2012).

Velic vd. (2004) yaptıkları meyve kurutma çalışmasında dikdörtgen şeklinde kesilen elma dilimlerini 60 °C sıcaklık ve farklı hava hızlarında (0,64-1,00-1,50-2,00-2,50-2,75 m/s) kurutmuştur. Kuruma hızlarını farklı hava hızı muamelesi şartları altında incelemiştir. Çalışma sonucunda düşük hava hızlarında çok kısa olarak sabit hızlı kuruma evresinin gözlenebileceği yüksek hava akımı uygulamalarında gözlenmediği belirtilmiştir.

4.2.2. Elma dilimlerinin etkin difüzyon katsayısı

Etkin difüzyon katsayısı her bir kurutulmuş ürün için hesaplanan ayrılabilir nem oranı (ANO) değerlerinin doğal logaritması alınarak (ln) zamana karşı çizilen grafiğin eğimi hesaplanarak belirlenmiştir. Hesaplamalarda sırasıyla (3.2), (3.3), (3.4) ve (3.5) nolu eşitliklerden yararlanılmıştır. Yapılan kurutma deneylerinin ortalama verilerinin standart sapma değerleri ilave edilerek gösterilen durumları Çizelge 4.4'te verilmiştir.

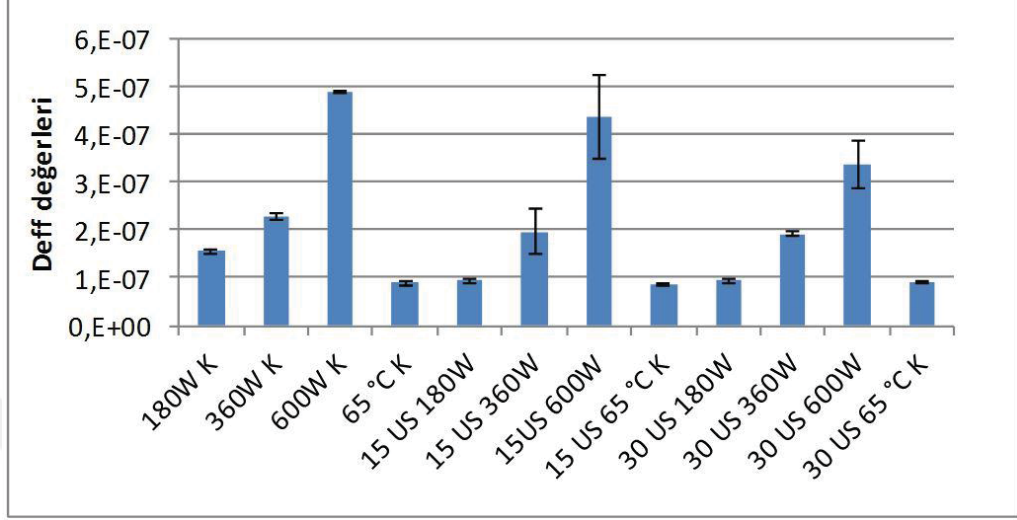
Çizelge 4.4. Etkin difüzyon katsayıları

Kurutma Deneyleri	Ortalama D_{eff}
180W Mikrodalgada Kurutulmuş Elma-Kontrol	$1,55 \times 10^{-7} \pm 6,46 \times 10^{-9cd}$
360W Mikrodalgada Kurutulmuş Elma-Kontrol	$2,26 \times 10^{-7} \pm 7,35 \times 10^{-9c}$
600W Mikrodalgada Kurutulmuş Elma-Kontrol	$4,90 \times 10^{-7} \pm 1,77 \times 10^{-9a}$
Konveksiyonel Fırında Kurutulmuş Elma-Kontrol	$8,84 \times 10^{-8} \pm 3,04 \times 10^{-9d}$
15 US 180W Mikrodalgada Kurutulmuş Elma	$9,42 \times 10^{-8} \pm 5,31 \times 10^{-9d}$
15 US 360W Mikrodalgada Kurutulmuş Elma	$1,96 \times 10^{-7} \pm 4,76 \times 10^{-8c}$
15 US 600W Mikrodalgada Kurutulmuş Elma	$4,37 \times 10^{-7} \pm 8,61 \times 10^{-8a}$
15 US Konveksiyonel Fırında Kurutulmuş Elma	$8,76 \times 10^{-8} \pm 2,66 \times 10^{-9d}$
30 US 180W Mikrodalgada Kurutulmuş Elma	$9,37 \times 10^{-8} \pm 5,82 \times 10^{-9d}$
30 US 360W Mikrodalgada Kurutulmuş Elma	$1,92 \times 10^{-7} \pm 2,91 \times 10^{-9c}$
30 US 600W Mikrodalgada Kurutulmuş Elma	$3,39 \times 10^{-7} \pm 4,98 \times 10^{-8b}$
30 US Konveksiyonel Fırında Kurutulmuş Elma	$9,14 \times 10^{-8} \pm 4,98 \times 10^{-9d}$

Aynı sütunda aynı harfle gösterilen ortalamalar arasında istatistiksel fark yoktur ($p > 0,05$).

Etkin difüzyon katsayısı gıdaların kurutulması sırasında meydana gelen kütle transferini (nemin hareketini) tanımlamak için kullanılır. Temel olarak gıda maddesinin kuruma hızı ile difüzyon katsayısı arasında doğrusal bir orantı bulunduğu görülmektedir. Gıda maddesinin kuruma hızı yavaşladıkça daha düşük bir etkin difüzyon katsayısı değerine sahip olduğu görülmüştür. Difüzyon katsayısı yüksek çıkan sıcaklık değerlerinde ürün içerisindeki nemin, daha kolay buharlaşması ve kuruma hızının artmasıyla da açıklanabilmektedir. Yüksek sıcaklıkta, suyun kinetik enerjisindeki artışa paralel olarak meyve içindeki su molekülleri, daha hızlı hareket etmekte ve yüzeye daha hızlı çıkabilmektedir. Buna bağlı olarak etkin difüzyon katsayısı artmaktadır. Bu bağlamda kurutma havası sıcaklığının ya da kurutma ısıma gücünün artmasıyla birlikte etkin difüzyon katsayısı değerlerinin arttığı hesaplanmıştır. Yapılan hesaplamalar sonucunda en yüksek etkin difüzyon katsayısı 600W mikrodalgada kurutulmuş elma-kontrol kurutmasında görülmüştür. Bu deneyi takiben yaklaşık değerler olarak 15 ve 30 dakika ultrases uygulanmış 600W mikrodalga kurutmaları en yüksek etkin

difüzyon katsayısı sonuçlarını vermiştir. Yapılan kurutma deneylerinin hesaplanan D_{eff} değerlerinin $4,90 \times 10^{-7} \pm 1,77 \times 10^{-9}$ ile $8,76 \times 10^{-8} \pm 2,66 \times 10^{-9}$ arasında değiştiği belirlenmiştir. Deneyler arasındaki fark istatistiki olarak önemli bulunmuştur ($p < 0,05$). Kurutma deneylerinde elde edilen D_{eff} miktarlarının deney türlerine göre değişimi Şekil 4.10.'da verilmiştir.



Şekil 4.10. Kurutma deneylerinde saptanan D_{eff} değerlerinin standart hata payı ile gösterimi

Literatür araştırmaları doğrultusunda ultrasesin etkin difüzyon katsayısını arttırdığı sonucuna ulaşılırken, yüksek ısıtma gücü ya da doğrudan ısı enerjisi verilen kurutma deneylerinin etkin difüzyon katsayısının diğer uygulamalara göre arttırdığı sonucuna varılmıştır.

70 °C'de kurutulmuş elma dilimlerinin difüzyon katsayıları $2,50 \times 10^{-10}$ - $2,59 \times 10^{-10}$ aralığında belirlendiği bildirilmiştir (Ertekin Filiz, 2015). 25 kHz frekansta 10-20-30 dak. US ön işlemi uygulanan muz dilimleri 70 °C'de 3,0 m/s hava hızında kurutulmuş ve etkin difüzyon katsayıları $1,275 \times 10^{-9}$ - $1,833 \times 10^{-9}$ aralığında bulunmuş olup US ön işlemi örneklerin difüzyon katsayısını artırmıştır (Azoubel vd., 2010).

30-40-50 °C'lerde 24 kHz frekansta US ön işlemi uygulanarak kurutulmuş elmaların etkin nem difüzyon katsayıları hesaplanmış ve US ön işleminin örneklerin difüzyon katsayısını artırdığı görülmüştür. 50 °C'de $3,92 \times 10^{-9}$ - $13,19 \times 10^{-9}$ aralığında olduğu bulunmuştur (Kantaş, 2007).

4.2.3. Su aktivitesi (a_w)

Aynı sıcaklıkta gıda maddesinin içindeki serbest su ile saf suyun buhar basıncının birbirine oranını ifade eden su aktivitesi, kurutma işlemleri neticesinde kontrol altında tutulması gereken önemli bir kalite parametresi olması bakımından kurutma öncesi ve sonrasında hesaplanmıştır. Kurutma işlemiyle ürünlerin nem içeriği azalmış ve tüm uygulamalar için su aktivite (a_w) değerleri düşmüştür. Meyvelerin başlangıç a_w değeri ortalama $0,967 \pm 0,02$ olarak tespit edilmiştir. Kurutma sonrası meyvelerin a_w değerleri 65 °C'de konveksiyonel tip kurutucuda kontrol, 15 US ve 30 US ön işlemlerle

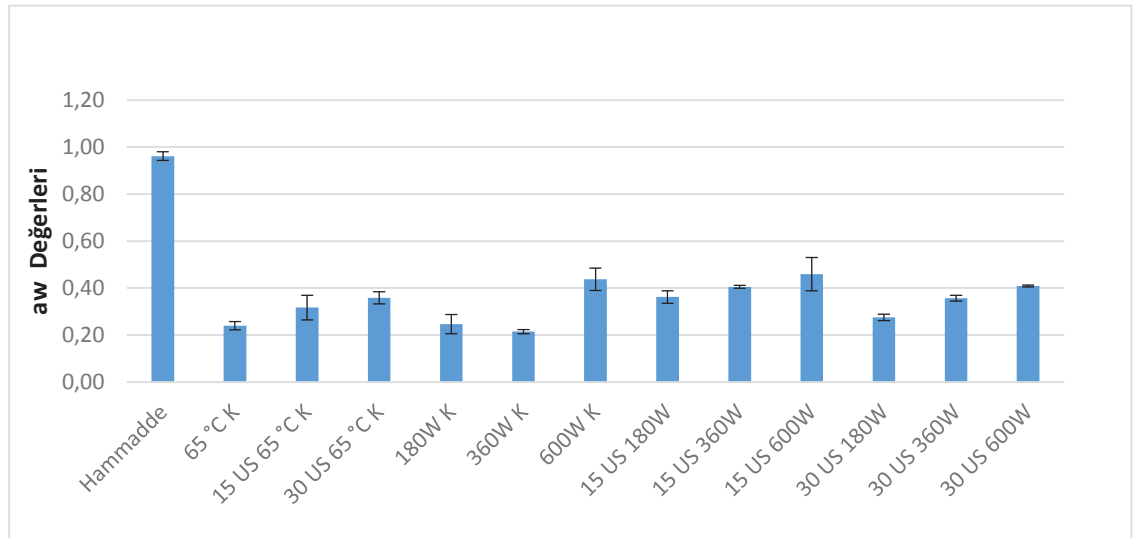
kurutma sonrasında sırasıyla; 0,24-0,32-0,36 MW (180W, 360W, 600W) kontrol, 15US ön işlemlili MW (180W, 360W, 600W) ve 30US ön işlemlili MW (180W, 360W, 600W) kurutma grupları için ortalama değerler olarak sırasıyla; 0,25-0,21-0,44-0,36-0,41-0,46-0,27-0,36-0,41 olarak belirlenmiştir. Kuruma sonrası örneklerin a_w değerleri arasındaki fark istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($p<0,05$). Analiz sonucunda bulunan değerler Çizelge 4.5.'te verilmiştir.

Çizelge 4.5. Kurutma işlemi öncesi ve sonrası su aktivitesi (a_w) değerleri

Deney Türleri	Su Aktivitesi
Hammadde	0,96±0,02 ^g
180W M-Kontrol	0,25±0,02 ^{ef}
360W M-Kontrol	0,21±0,05 ^f
600W M-Kontrol	0,44±0,03 ^{ab}
Konveksiyonel-Kontrol	0,24±0,04 ^{ef}
15 US180W	0,36±0,01 ^{bc}
15 US 360W	0,41±0,05 ^{ab}
15 US 600W	0,46±0,03 ^a
15 US Konveksiyonel	0,32±0,01 ^{cde}
30 US 180W	0,27±0,07 ^{def}
30 US 360W	0,36±0,01 ^{bcd}
30 US 600W	0,41±0,01 ^{ab}
30 US Konveksiyonel	0,36±0,004 ^{bcd}

Aynı sütunda aynı harfle gösterilen ortalamalar arasında istatistiksel fark yoktur ($p>0,05$).

Başlangıç değerlerine göre tüm kurutma deneylerinde azalan a_w değerleri Şekil 4.11.'de gösterilmiştir. Deneylerin tamamında ultrases ön işleminin a_w değerlerini ön işlemsizlere göre arttırdığı gözlenmiştir.



Şekil 4.11. Kurutma öncesinde ve kurutma işlemleri sonrasında bulunan a_w değerleri

35 kHz frekansta 10, 20, 30 dak. US ön işlemleri uygulanarak 70 °C’de kurutulan elmaların a_w değerleri, kontrol, 10, 20, 30 dak. US grupları için sırasıyla 0,25-0,29-0,34-0,39 olarak tespit edilmiştir (Nowacka vd., 2012).

4.2.4. Toplam kuru madde (nem) tayini

Gıda maddeleri içerik olarak su ve kuru madde olarak belirtilen iki kısımdan oluşmaktadır. Gıda maddesinden su uzaklaştırıldığında kurutma ortamında kuru madde kalmaktadır. Geride kalan bu kısma yazılı kaynaklarda sıkça rastlandığı gibi toplam kuru madde denmektedir. Brüt bir ifade kullanılmasının nedeni toplam kuru maddenin iki ayrı bileşenin toplamı olmasından kaynaklanmaktadır. Toplam kuru madde; suda çözünmeyen nitelikteki maddeler ile suda çözünabilen nitelikteki maddelerden oluşmaktadır. Toplam kuru maddenin suda çözünen kısmına suda çözünür kuru madde, °briks ya da refraktometre değeri denmektedir. Tez çalışmamız kapsamında suda çözünen kuru madde miktarına US ön işlem uygulamasından sonra uygulama suyunun °briks değerleri yönüyle bakılmıştır. Suda çözünmesi muhtemel olan bileşiklerin analiz sonuçlarında suda çözünme durumları göz önüne alınmıştır.

Toplam kuru madde değeri olarak suda çözünabilen kuru madde miktarı hesaplanmıştır. Meyve ürünlerinde suda çözünabilen toplam kuru maddeyi fruktoz, glukoz gibi şekerler ve sitrik asit, malik asit, tartarik asit gibi organik asitler oluşturmaktadır (MEGEP, 2011). Toplam kuru madde miktarları % değerleriyle Çizelge 4.6.’da belirtilmiştir.

Çizelge 4.6. Hammadde ve kuru örneklerde toplam kuru madde yüzdeleri

Örnekler	Ortalama % Kuru Madde Miktarı
Hammadde	21,38±0,24 ^h
65 °C Kontrol	2,56±0,17 ^{fg}
15 US 65 °C Kon.	3,16±0,39 ^{efg}
30 US 65 °C Kon.	5,71±1,55 ^{bc}
180W Kontrol	2,96±0,68 ^g
360W Kontrol	2,40±0,66 ^{efg}
600W Kontrol	3,50±0,35 ^{de}
15 US 180W	5,21±0,37 ^{cd}
15 US 360W	4,95±0,47 ^{bc}
15 US 600W	5,91±1,39 ^a
30 US 180W	3,33±0,18 ^{ef}
30 US 360W	4,59±0,26 ^{de}
30 US 600W	5,19±0,80 ^{ab}

Aynı sütunda aynı harfle gösterilen ortalamalar arasında istatistiksel fark yoktur ($p>0,05$).

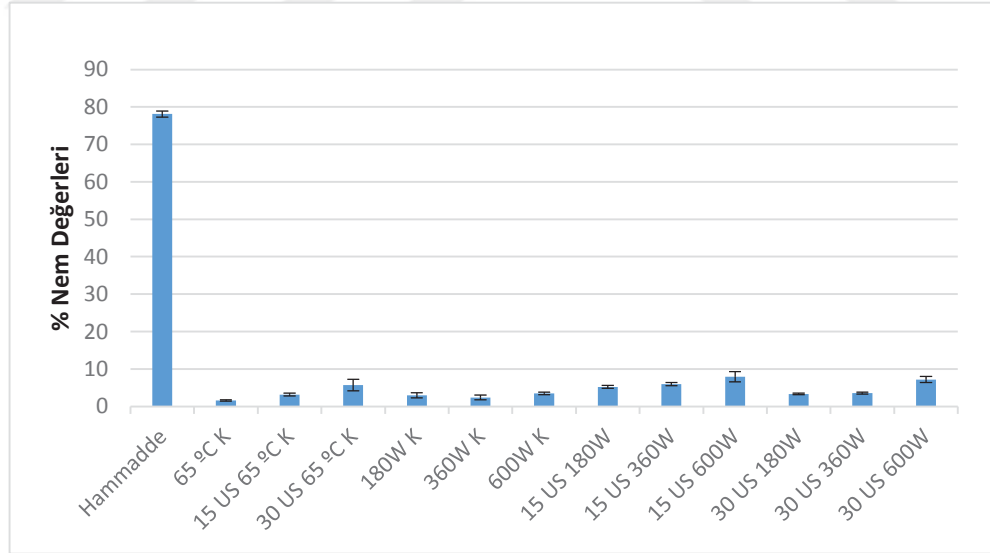
Kurutma işlemleri öncesinde hammadde de % 21,38±0,24 olarak belirlenen toplam km miktarı, kurutma deneylerinden sonraki örneklerde % 2,5-% 5,7 arasında tespit edilmiştir.

Elmaların kurutma işleminin ardından su oranı 0,18 g su/g kuru madde (%18)'dir. Bu şekilde bazı toksijenik küflerin faaliyetleri ve toksin üretebilmeleri için gerekli minimum su aktivitesi (a_w) değerinin altına düşmüş olmaktadır (Cemeroğlu vd, 2003).

TSE'ye göre kurutma işleminde 70 ± 1 °C' de sabit tutulan bir kurutma sisteminde belirli aralıklarla elma dilimi tartılarak kurutulur, birbirini takip eden 2 ölçüm neticesinde ağırlığın %1'den az olması durumunda elmalar tam kuru sayılır. Kurutulmuş elmanın rutubet muhtevası, her sınıf için % 25'i (m/m) geçmemelidir (TS 3688, 2002).

Elmaların ısı pompalı kurutma odasında kurutulan dilimlerinin yaş ve kuru esasa göre su oranlarının incelendiği bir araştırmada Isı pompalı kurutma odasında elmalardaki su oranı 3,5 saatte 0,18 g su/g kuru madde değerine düşürülmüştür. Tam kuru haldeki su oranı kuru esasa göre 4.8 g su/g kuru madde (% 4.88) olarak bulunmuştur. Elmaların tam kuru haldeki su oranı yaş esasa göre 0,83 g su/g yaş ağırlık (%83) olarak bulunmuştur (Ceylan vd.,2005).

Hammadde ile kurtulmuş ürünlerde hesaplanan % nem (rutubet) miktarları Şekil 4.12.'de gösterilmiştir.



Şekil 4.12. Örneklerde elde edilen % nem değerleri

4.2.5. Kurutma prosesinin matematiksel olarak modellenmesi

Elma meyvelerinin kuruma davranışını açıklayacak en uygun modeli belirleyebilmek amacıyla literatürde yoğun olarak kullanılan ince tabaka kurutma modelleri araştırılmış ve elde edilen bulgular Çizelge 2.4'te verilmiştir. Kuruttuğumuz elma meyvelerinin kuruma davranışını açıklayacak en uygun modeli belirlemek için Çizelge 3.2'de verilmiş olan ince tabaka kurutma modelleri denenmiştir.

Bu amaçla elma dilimi örnekleri için (konveksiyonel kontrol, 15 dakika ve 30 dakika ultrases kullanılarak konveksiyonel ve mikrodalga kontrol, 180W mikrodalga, 360W mikrodalga ve 600W mikrodalga kurutma denemeleri) ANOVA değerlerinin zamana karşı grafiğe aktararak belirtilen matematiksel modeller ile uyumu MATLAB 2017b programında modellenmiştir. Minitab 16 programları kullanılarak istatistiksel olarak belirlenmiştir. Yapılan modelleme sonuçları kıyaslanarak kuruma davranışına en uygun modeli seçmek hedeflenmiştir. Bu bağlamda en uygun modeller en düşük RMSE ve en yüksek R^2 değerleri göz önünde bulundurularak seçilmiştir. Ön işlemsiz olarak kurutulan deneylerin modelleme denklemlerinin sonuçları Çizelge 4.7.'de verilmiştir.

Konveksiyonel hava akımlı fırında kurutulmuş elmaların ön işlemsiz kontrol grubu için kıyaslama yapıldığında Page ve Modifiye Page modellerinin RMSE ve R^2 sonuçları bakımından aynı değerleri verdiği görülmüştür. Bu bağlamda her iki model de kuruma davranışına uymakta olup birbirleri yerine kullanılabilecekleri söylenebilmektedir. 180W ve 600W mikrodalgada ön işlemsiz olarak kurutulmuş kontrol gruplarında kıyaslama yapıldığında Midilli modelinin en düşük RMSE ve en yüksek R^2 değerlerini verdiği görülmüştür. Bu bağlamda kurutma davranışı için en uygun model olduğu söylenebilmektedir. Midilli kuruma modeli MW ortamında ön işlemsiz olarak yapılan her iki kuruma davranışına uymakta olup birbirleri yerine tercih edilebilirliği saptanmıştır. 360W kontrol grubu kurutma deneylerinin ise Page ve Modifiye Page modellerine uyumlu olduğu görülmüştür. Literatür araştırması yapıldığında Goyal ve arkadaşları 2006'da, elma kurutması üzerinde yaptıkları çalışmalarında Page ve Modifiye Page modellerinin elmaların kuruma deneylerine elverişli olduğunu belirtmiştir.

Kamkat meyvesinin dilimlenmiş örneklerinin kuruma davranışlarının incelendiği çalışmada, Midilli-Küçük, page ve logaritmik kuruma modellerinin kuruma davranışlarını en yeterli modelleyen modeller olarak bulunmuştur (Uslu, 2015).

Ön işlemsiz-kontrol grubu kurutma deneylerinin kuruma tiplerinin modellenmesi Çizelge 4.7.'de verildiği gibi hesaplanmıştır.

Çizelge 4.7. Elma dilimlerinin ön işlemsiz olarak farklı kurutma yöntemleriyle (Konveksiyonel fırında, 180W, 360W, 600W MW) kuruma modellemesi

Kurutma Modeli-Ön İşlemsiz (Kontrol)		RMSE	R ²
Konveksiyonel Fırında 65 °C’de kurutma	Model: Newton	0,05531	0,9782
	Model: Page	0,008009	0,9996
	Model: Modifiye Page	0,008009	0,9996
	Model: Midilli	0,009631	0,9996
	Model: Henderson ve Pabis	0,05742	0,9798
	Model: Logaritmik	0,05109	0,9867
	Model: Çift terimli	0,073	0,9783
180W MW	Model: Newton	0,1133	0,9119
	Model: Page	0,02449	0,9963
	Model: Modifiye Page	0,02449	0,9963
	Model: Midilli	0,02211	0,9976
	Model: Henderson ve Pabis	0,1255	0,9353
	Model: Logaritmik	0,06767	0,9743
	Model: Çift terimli	0,09225	0,9575
360W MW	Model: Newton	0,1129	0,9302
	Model: Page	0,03475	0,995
	Model: Modifiye Page	0,03475	0,995
	Model: Midilli	0,03996	0,9978
	Model: Henderson ve Pabis	0,1255	0,9353
	Model: Logaritmik	0,07695	0,9838
	Model: Çift terimli	0,1373	0,9742
600W MW	Model: Newton	0,1051	0,9227
	Model: Page	0,03306	0,9933
	Model: Modifiye Page	0,03306	0,9933
	Model: Midilli	0,009701	0,9996
	Model: Henderson ve Pabis	0,102	0,9363
	Model: Logaritmik	0,02751	0,996
	Model: Çift terimli	0,05963	0,9844

15 dak. US ön işlemi uygulamasının ardından kurutulan deneylerin kuruma tiplerinin modellemesi Çizelge 4.8’de verildiği gibi hesaplanmıştır.

Çizelge 4.8. Elma dilimlerinin 15 dak US ön işlemleri farklı kurutma yöntemleriyle (Konveksiyonel fırında, 180W, 360W, 600W MW) kuruma modellemesi

Kurutma Modeli-15 dak. US Ön İşlemleri		RMSE	R ²
Konveksiyonel Fırında 65 °C’de	Model: Newton	0,07264	0,9704
	Model: Page	0,01271	0,9997
	Model: Modifiye Page	0,01271	0,9997
	Model: Midilli	0,01357	0,9996
	Model: Henderson ve Pabis	0,08168	0,9719
	Model: Logaritmik	0,05434	0,9917
	Model: Çift terimli	0,04605	0,997
180W MW	Model: Newton	0,0877	0,9396
	Model: Page	0,0311	0,9931
	Model: Modifiye Page	0,0311	0,9931
	Model: Midilli	0,02089	0,9975
	Model: Henderson ve Pabis	0,08112	0,953
	Model: Logaritmik	0,03252	0,9932
	Model: Çift terimli	0,05931	0,9799
360W MW	Model: Newton	0,1424	0,8896
	Model: Page	0,03782	0,9942
	Model: Modifiye Page	0,03782	0,9942
	Model: Midilli	0,02089	0,9999
	Model: Henderson ve Pabis	0,1574	0,8988
	Model: Logaritmik	0,05353	0,9922
	Model: Çift terimli	0,141	0,9729
600W MW	Model: Newton	0,09323	0,9339
	Model: Page	0,04708	0,9853
	Model: Modifiye Page	0,04708	0,9853
	Model: Midilli	0,02103	0,9979
	Model: Henderson ve Pabis	0,09365	0,9416
	Model: Logaritmik	0,01972	0,9978
	Model: Çift terimli	0,06926	0,9772

Yapılan modelleme sonuçları kıyaslanarak kuruma davranışına en uygun modeli seçmek hedeflenmiştir. Bu bağlamda en uygun modeller en düşük RMSE ve en yüksek R² değerleri göz önünde bulundurularak istatistiksel olarak belirlenebilmektedir. 15 dakika US ön işlemi ile konveksiyonel fırında kurutulmuş elma için kıyaslama yapıldığında Page ve Modifiye Page modellerinin RMSE ve R² sonuçları bakımından aynı değerleri verdiği görülmüştür. Bu bağlamda her iki model de kuruma davranışına uymakta olup birbirleri yerine kullanılabilecekleri söylenebilmektedir. 15 dakika ultrases uygulanması, 180W, 360W ve 600W mikrodalgada kurutulmuş elma örnekleri için kıyaslama yapıldığında Midilli modelinin en düşük RMSE ve en yüksek R²

değerlerini verdiği görülmüştür. Bu bağlamda her üç kurutma davranışı için de en uygun model olduğu söylenebilmektedir. Kontrol grubu deneylerin incelenmesi durumunda Page ve Modifiye Page kuruma modellerine dahil olan 360 W MW deneyinin US ön işlem uygulamasının bu deney üzerinde Midilli Kuruma modeline yatkınlığı arttırdığı görülmüştür. Yapılan literatür araştırmaları US uygulamalarının kuruma deneyleri üzerindeki davranışları incelemesi bakımından benzer bulgular vermiş olup deneysel sonuçları destekler niteliktedir (Meisami vd., 2010).

Kurutmada suyun gıdanın içinden taşınımı için gerekli mekanizmalar gözenekli meyve yüzeylerinde yüzey difüzyonu ya da sıvı difüzyonu, nem konsantrasyonu farklılıklarından kaynaklanan sıvı su difüzyonu, su buharı basıncı farklılıklarından kaynaklanan su buharı difüzyonu, gözenekli ve tanecikli gıdalarda yüzey kuvvetlerinden kaynaklanan kapiller hareket, evaporasyon ve kondensasyon olarak tanımlanmaktadır (Erbay ve İçier, 2010).

Bu bağlamda uygulanan kurutma işleminin türünün yanı sıra US gibi kavitasyon etkisi ile özellikle gözenekli yapı üzerinde değişiklik oluşturan uygulamalar kurutma uygulamaları sırasında bu farklı mekanizmaların aynı anda su moleküllerinin taşınmasında rol oynadığı düşünülmektedir. Bu amaçla uygulanan US ön işlemleri ayrı ayrı gruplanarak hesaplanmıştır.

Uygulanan kurutma modellerinden 30 dak. US uygulamalı deneylerde modelleme sonuçları kıyaslanarak kuruma davranışına en uygun modeli seçmek hedeflenmiştir. Bu bağlamda en uygun modeller en düşük RMSE ve en yüksek R^2 değerleri göz önünde bulundurularak istatistiksel olarak belirlenebilmektedir. 30 dakika US ön işlemleri ve konveksiyonel fırında kurutulmuş elma için kıyaslama yapıldığında Page ve Modifiye Page modellerinin RMSE ve R^2 sonuçları bakımından aynı değerleri verdiği görülmüştür. Her iki model de kuruma davranışına uymakta olup birbirleri yerine kullanılabilecekleri anlaşılmaktadır. 30 US ön işlemi, 180W, 360W ve 600W mikrodalgada kurutulmuş elma örnekleri için kıyaslama yapıldığında Midilli modelinin en düşük RMSE ve en yüksek R^2 değerlerini verdiği görülmüştür. Bu sonuca göre her üç kuruma davranışı için de en uygun model olduğu görülmektedir. Genel bir değerlendirme yapmak adına US ön işlem uygulamasının deneyler içinde sadece 360 W MW uygulamasının kuruma modelini etkilediği sonucuna varılmıştır. Yapılan literatür araştırmaları benzer bulgular vermiş olup deneysel sonuçları destekler niteliktedir (Meisami vd., 2010).

30 dak. US ön işlemi uygulamasının ardından kurutulan deneylerin kuruma tiplerinin modellemesi Çizelge 4.9.'da verildiği gibi hesaplanmıştır.

Çizelge 4.9. Elma dilimlerinin 30 dak.US ön işlemlili farklı kurutma yöntemleriyle (Konveksiyonel fırında, 180W,360W,600W MW) kuruma modellemesi

Kurutma Modeli- 30 dak. US Ön İşlemlili		RMSE	R ²
Konveksiyonel Fırında 65 °C’de	Model: Newton	0,05293	0,9839
	Model: Page	0,01513	0,9996
	Model: Modifiye Page	0,01513	0,9996
	Model: Midilli	0,01658	0,9996
	Model: Henderson ve Pabis	0,05992	0,9845
	Model: Logaritmik	0,03539	0,9964
	Model: Çift terimli	0,1153	0,9809
180W MW	Model: Newton	0,09903	0,9239
	Model: Page	0,03292	0,9924
	Model: Modifiye Page	0,03292	0,9924
	Model: Midilli	0,0164	0,9985
	Model: Henderson ve Pabis	0,09304	0,9395
	Model: Logaritmik	0,0302	0,9943
	Model: Çift terimli	0,0542	0,984
360W MW	Model: Newton	0,1294	0,9059
	Model: Page	0,03669	0,9939
	Model: Modifiye Page	0,03669	0,9939
	Model: Midilli	0,03131	0,9941
	Model: Henderson ve Pabis	0,1379	0,9145
	Model: Logaritmik	0,08369	0,9764
	Model: Çift terimli	0,1682	0,9364
600W MW	Model: Newton	0,09778	0,9261
	Model: Page	0,04953	0,9837
	Model: Modifiye Page	0,04953	0,9837
	Model: Midilli	0,02302	0,9977
	Model: Henderson ve Pabis	0,09907	0,935
	Model: Logaritmik	0,02186	0,9974
	Model: Çift terimli	0,07411	0,9757

Elma dilimlerinin kuruma davranışları ile ilgili olarak yapılan tüm kurutma deneylerinin matematiksel modellemelerine ait ortak gösterimi Çizelge 4.10.’da özetlenmiştir.

Çizelge 4.10. Tüm kurutma deneylerinin uyumlu olduğu kuruma modellerini gösteren özet tablo

Kurutma Modeline Uygun Olan Kuruma Modeli Türü	Farklı Kurutma Yöntemleri Uygulanarak Kurutulan Deneyler	
Model: Page ve Modifiye Page Modeli	Kontrol (Ön İşlemsiz)	65°C Konveksiyonel (hava akımlı) ve 360W MW
	15 US (Ön İşlemli)	65 °C Konveksiyonel (hava akımı)
	30 US (Ön İşlemli)	65 °C Konveksiyonel (hava akımı)
Model: Midilli Modeli	Kontrol (Ön işlemsiz)	180W, 600W
	15 US Ön İşlemli	180W, 360W, 600W
	30 US Ön İşlemli	180W, 360W, 600W

Farklı kurutma sıcaklıklarının mandarin meyvesindeki kuruma etkilerinin incelendiği araştırmada 55, 65 ve 75 °C’de kurutulan mandarin örneklerinin kuruma davranışları en çok Logaritmik ve Thompson modeline uyumlu bulunmuştur (Akdaş ve Başlar, 2014).

Mikrodalga sistemlerinde uygulanan kurutma proseslerinin mandarin meyvesindeki kuruma hızlarının incelendiği çalışmada mikrodalgada kurutulan mandarin örnekleri için Çift Terimli ve Page modeline uyumlu kuruma davranışı sergilediği bildirilmiştir (Therdthai vd., 2011).

Elma meyvesinin US destekli kurutulmasında ise kuruma davranışlarının Midilli-Küçük modeline en fazla uyum gösterdiği bildirilmiştir (Nowacka vd., 2012).

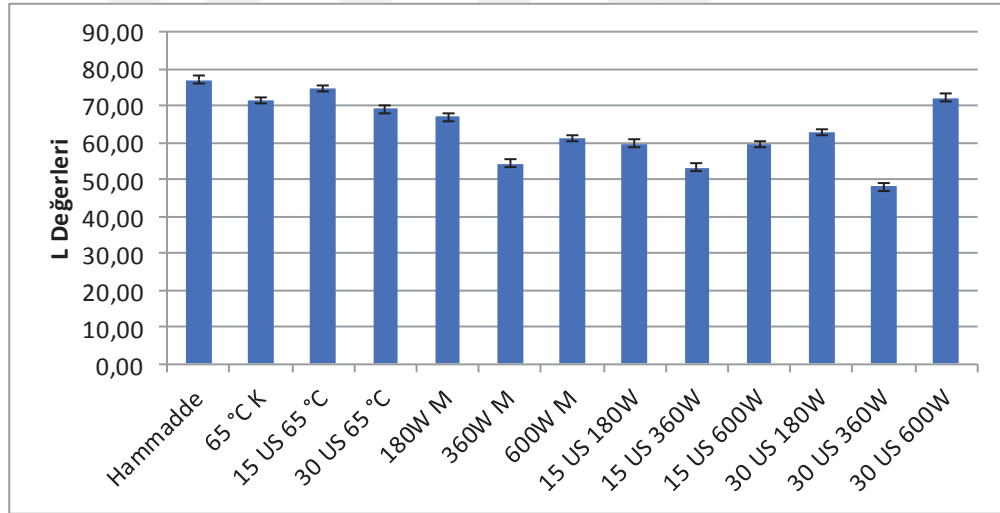
4.2.6. Renk değişimi hesaplamaları

Kurutma evresi öncesi ve sonunda elmalardan alınan örneklerde renk tayini yapılmıştır. Hunter renk sistemi temel alınarak yapılan işlemlere göre L, a ve b değerleri ölçülmüştür. Ölçülen değerler Ek B.2’de sunulmuştur. Literatür incelendiğinde “L” değerleri 0-100 arasında olup siyah ve beyaz arasındaki aydınlık derecelerini ifade ettiği görülmektedir. “a” değerleri kırmızılığı ve yeşilliği ifade ederken “b” değerleri ise gıdanın mavilik sarılık değerlerini gösterir. Ölçülen L, a, b değerlerinin ortalama verileri Çizelge 4.11.’de verilmiştir.

Çizelge 4.11. Hammadde ve kuru örneklerde renk değerleri

Yapılan Deney Türleri	L	a	b
Hammadde	77± 2,23	0,1± 0,02	20,3± 0,43
65 °C K Konveksiyonel	71,5±2,35	9,3±0,35	35,9±0,71
15 US 65 °C Konveksiyonel	74,8±2,59	7,0±0,50	30,3±3,01
30 US 65 °C Konveksiyonel	69,2±6,14	11,8±4,70	36,0±2,53
180W K MW	67,1±6,70	14,9±3,01	37,4±0,35
360W K MW	54,5±1,88	16,4±1,55	32,4±2,27
600W K MW	61,3±1,51	16,0±1,60	34,0±2,94
15 US 180W	59,9±0,81	14,2±1,61	27,3±1,41
15 US 360W	53,4±2,18	16,2±0,51	33,5±1,12
15 US 600W	59,7±1,39	15,0±1,63	31,7±2,26
30 US 180W	62,9±0,13	15,7±0,67	32,5±0,90
30 US 360W	48,1±2,48	14,6±0,54	29,9±1,40
30 US 600W	72,3±2,22	13,3±0,57	32,9±0,67

L değerleri değişimi Şekil 4. 13.'de grafik ortamında verilmiştir.



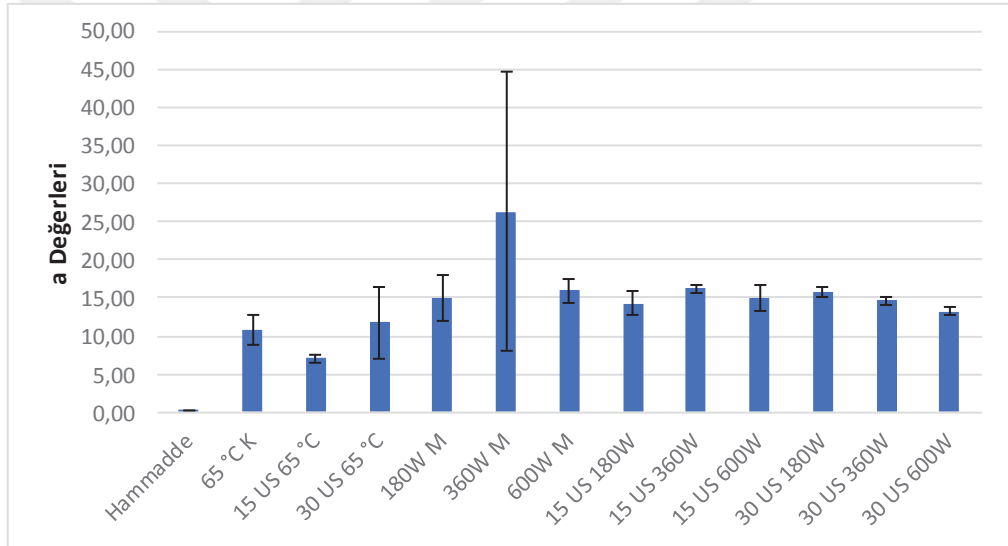
Şekil 4.13. Hammadde ile kuru örneklerde L değerleri

L değerleri ölçüm grafiklerine bakıldığında yapılan bütün işlemlerde hammaddeye kıyasla belirgin bir azalma gözlemlenmemiştir. L değerinin 100'e yaklaştıkça renkte açılma olarak görüldüğü literatürde yer almaktadır. Tam tersi olarak azaldıkça renkte kararırma olduğu da bilinmektedir. Elma dilimlerinin yüzeyinde esmerleşme reaksiyonları ile kurutma işlemleri sırasında ise kısmi karamelizasyon oluşumu beklenen bir değişim olarak tanımlanmaktadır. Sonuçlar incelendiğinde örnekler içersinde en düşük değere 30 US 360W MW uygulamasında rastlanmıştır. Yapılan incelemelerde konveksiyonel kurutmada en düşük L değeri 30 dakika US ön işlemlili hava akımlı kurutma uygulanmasında görülmüştür. Hava akımlı kurutma sistemlerinde US ön işleminin renk koyulaşmasının önüne geçtiği düşünülmektedir. Benzer şekilde US ön işlem uygulamalı diğer MW kurutma deneylerinde de US ön işlem uygulamasının ön işlem uygulamasız deneylere göre daha yüksek L değerleri meydana getirdiği

görülmüştür. Bu bağlamda MW kurutma sistemlerinde US uygulamasının renk koyulaşmasının önüne geçilmesinde fayda sağlayacağı sonucu desteklenmemektedir. US banyosu uygulaması sırasında suyun içinde bulunan O₂ moleküllerinin yüzeydeki enzimatik esmerleşmeyi arttırdığı düşünülmektedir. 180W ve 600W mikrodalga uygulamalarında en düşük L değerleri 15 US ile görülmüştür. 360W mikrodalga uygulamalarında ise 30 US ile en düşük L değerleri gözlemlenmiştir.

2015 yılında havuç dilimlerinin kurutulmasıyla ilgili gerçekleştirilen araştırmada 35kHz frekansta 10-20-30 dak.'lık US ön işlemi uygulanmıştır. 70 °C'de hava akımlı sistemde kurutulması işleminde L değeri değişimi ön işlemsiz, 10 ve 30 dak. US ön işlem uygulamalı gruplarda artmış; 20 dak. US grubunda azalma göstermiştir. a ve b değerlerindeki en az değişim 20-30 dak. US ön işlemi uygulanan örneklerde meydana geldiği bildirilmiştir (Nowacka ve Wedzik, 2015).

Yapılan çalışmada yeşillik-sarılık renk skalasında gösterge kabul edilen a değerleri ölçülerek verilerin ortalamalarıyla oluşturulan grafik Şekil 4.14'te verilmiştir.



Şekil 4.14. Hammaddede ve kuru örneklerde a değerleri

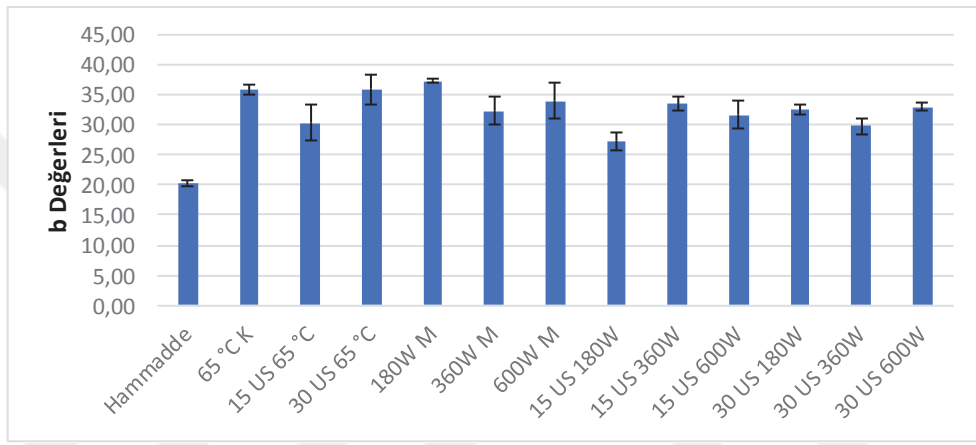
Grafiğe bakıldığında yapılan bütün kurutma işlemlerinde hammaddeye kıyasla belirgin bir artış gözlemlenmiştir. a değerinin artması renkte sarı-kırmızıya yaklaşma olarak görüldüğü literatürde yer almaktadır. Tam tersi olarak azaldıkça renkte yeşillığe yaklaşma olduğu da bilinmektedir. Kurutma deneylerinin elma dilimleri üzerinde kızıllaşma benzeri koyulaşma meydana getirdiği gözle görülmektedir. Duyusal analiz uygulamasında panelistler tarafından rengi en çok puan alan deneyler kontrol grubu uygulamasında 65 °C hava akımlı fırında kurutma, 15 ve 30 dak. US ön işlem uygulamalarında 180W MW uygulaması olarak belirlenmiştir.

Hunter renk skalasına göre ölçülen renk değerlerinde konveksiyonel kurutmada en düşük a değeri 15 dakika US uygulanmasında görülmüştür. MW uygulamalarında kontrol grubunda en düşük a değerini 180W, 15 dakika US ön işlemlili gruptakilerde 180W ve 30 US ön işlem uygulamalı deneylerde en

düşük a değeri 600W MW kurutma işlemli deneylerde görülmüştür. 360W ve 600W mikrodalga uygulamalarında ise en düşük a değeri 30 dakika US uygulanmasında görülmüştür.

Farklı kimyasallar kullanılarak (sodyum metabisülfid, kükürt, etil oleat) farklı koşullarda kurutulan kayısı örneklerinin Hunter L, a, b değerleri benzer şekilde değişim göstermiştir. a değerindeki değişim ön işlemsiz örneklerde azalırken kimyasal uygulanan örneklerde artmıştır (Çelebi, 2011).

Yapılan renk ölçüm çalışmalarında kırmızılık-mavilik renk ölçütlerinde gösterge kabul edilen b değerleri ölçülerek verilerin ortalamalarıyla oluşturulan grafik Şekil 4.15.'te verilmiştir. Ölçümlerin ortalama değerleri Çizelge 4.11.'de verilmiştir.



Şekil 4.15. Hammadde ile kuru örneklerde b değerleri

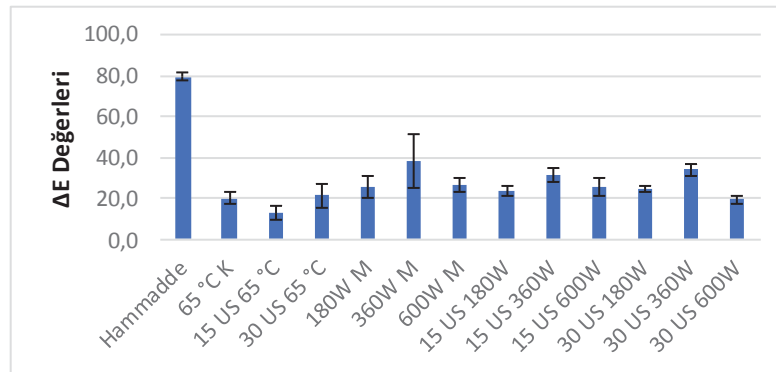
b değerleri ölçüm grafiklerine bakıldığında yapılan bütün işlemlerde hammaddeye kıyasla belirgin bir artış gözlemlenmiştir. b değerinin artması renkte sarıya yaklaşma olarak görüldüğü literatürde yer almaktadır. Tam tersi olarak azaldıkça renkte maviliğe yaklaşma olduğu da bilinmektedir. Bu bağlamda konveksiyonel kurutmada en yüksek b değeri 30 dakika US ön işlemli kurutma uygulamasında görülmüştür. Mikrodalga ortamında kurutma işlemlerinde ön işlemsiz kontrol grubunda en yüksek b değeri 180 W uygulamasında, 15 dak. US ön işlemli MW uygulamasında 360 W MW uygulamasında, 30 dak. US ön işlemli MW kurutmasında en yüksek b değerleri 600 W MW kurutma işleminin sonucunda ölçülmüştür. Yapılan deneylerin genelinde değişen b değerinin US ön işlem uygulamasından karakteristik ölçüde etkilenmediği genel olarak uzun süreli sıcaklık uygulamasının ardından daha fazla artış göstererek kurutulan üründe kısmi kahverengileşme ve sararma meydana gelmesinin göstergesi olduğu düşünülmektedir.

Bulunan renk değerleri kullanılarak işleme ve depolama sırasında meydana gelen renk değişim eğilimini belirten “Toplam Renk Değişimi” (ΔE), “Chroma” (C) renksel parlaklık, “Hue Açısı” renkte duruluk-şeffaflık ve “Esmerleşme İndeksi” (BI) değerleri renkteki kararma unsurları olarak L, a, b verileri (3.7), (3.8), (3.9), (3.10) ve (3.11) numaralı eşitlikler kullanılarak hesaplanmıştır. Yapılan hesaplamalar Çizelge 4.12.’de verilmiştir.

Çizelge 4.12. Toplam renk değişimi (ΔE), chroma (C), esmerleşme indeksi (BI) ve renksel parlaklık (Hue Açısı) değerleri

Deney Türleri	ΔE	Chroma	BI	Hue
Hammadde	79,7 $\pm$ 2,17	20,3 $\pm$ 0,43	30,0 $\pm$ 00	1,56 $\pm$ 00
65 °C Kontrol Konveksiyonel	19,9 $\pm$ 2,98	37,4 $\pm$ 1,28	78,4 $\pm$ 0,01	1,30 $\pm$ 0,06
15 US 65 °C Konveksiyonel	12,8 $\pm$ 3,82	31,5 $\pm$ 2,69	59,0 $\pm$ 0,02	1,34 $\pm$ 0,01
30 US 65 °C Konveksiyonel	21,3 $\pm$ 6,11	37,9 $\pm$ 2,64	83,6 $\pm$ 0,03	1,36 $\pm$ 0,06
180W Kontrol MW	25,4 $\pm$ 5,64	36,2 $\pm$ 7,31	85,3 $\pm$ 0,05	1,18 $\pm$ 0,08
360W Kontrol MW	28,3 $\pm$ 13,30	35,1 $\pm$ 2,98	103,4 $\pm$ 0,02	1,11 $\pm$ 0,01
600W Kontrol MW	26,4 $\pm$ 3,72	36,7 $\pm$ 3,82	94,5 $\pm$ 0,03	1,14 $\pm$ 0,01
15 US 180W	23,4 $\pm$ 2,41	30,6 $\pm$ 2,06	76,3 $\pm$ 0,01	1,11 $\pm$ 0,03
15 US 360W	31,6 $\pm$ 3,15	36,3 $\pm$ 2,08	111,8 $\pm$ 0,02	1,11 $\pm$ 0,02
15 US 600W	25,6 $\pm$ 4,07	31,5 $\pm$ 2,69	93,2 $\pm$ 0,02	1,12 $\pm$ 0,03
30 US 180W	24,4 $\pm$ 1,12	35,4 $\pm$ 2,64	89,0 $\pm$ 00	1,12 $\pm$ 0,02
30 US 360W	33,8 $\pm$ 2,81	36,2 $\pm$ 0,84	109,9 $\pm$ 0,01	1,10 $\pm$ 0,01
30 US 600W	19,2 $\pm$ 1,57	32,5 $\pm$ 1,13	69,4 $\pm$ 0,01	1,19 $\pm$ 0,07

(3.7) nolu eşitlik kullanılarak hesaplanan ΔE değerleri değişimi Şekil 4.16.'da verilmiştir.

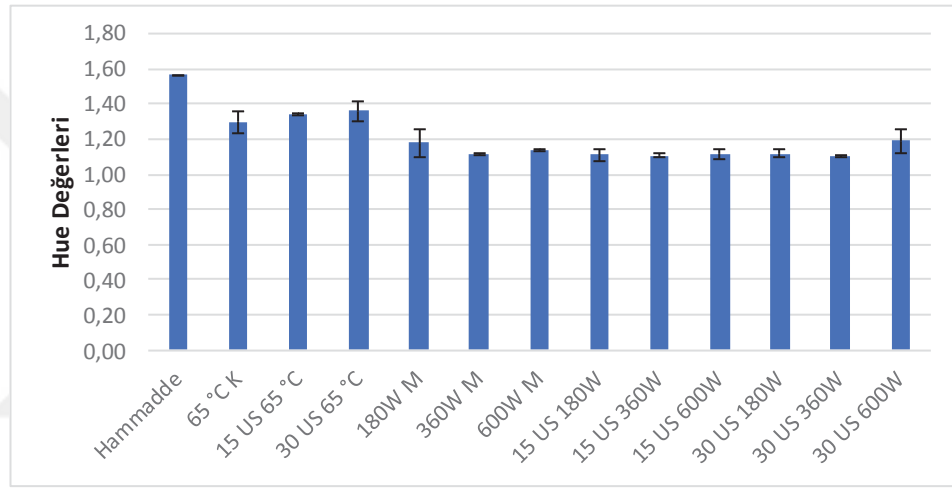


Şekil 4.16. Hammadde ve kuru örneklerde ΔE değerleri

Literatüre bakıldığında ΔE değeri toplam renk değişimini ifade etmek için kullanılmaktadır. Bu bağlamda, elde edilen veriler, Çizelge 4.16. değerlendirildiğinde en yüksek ΔE değeri 360W mikrodalga kontrol ve 360W mikrodalga 30 dakika US ön işlem uygulamalı kurutma deneylerinde görülmüştür. Bulunan değerlerin ham elmaya ne kadar yakın olduğu kurutma işleminin elmanın fiziksel özelliklerini ne kadar değiştirdiği ile anlaşılabilir. Konveksiyonel-hava akımlı fırında

yapılan kurutma deneylerinin ardından US ön işlem uygulanmış kurutma işleminin diğer konveksiyonel kurutma gruplarına kıyasla daha fazla renk değişimine sebep olduğu görülmektedir. Hava akımlı kurutma koşullarında ön işlem süresinin artmasının ΔE değerlerini arttırdığı görülmektedir. MW ortamında kontrol grubunun toplam renk değişim verilerinin birbirine çok seyrettiği görülmüştür. MW gücü arttırılmasına rağmen uygulama süresi kısaltıkça değişimin artmış olması bakımından kurutma şiddetinin renk değişimi parametresi üzerinde uygulama süresinden daha etkin bir parametre olduğu sonucunu desteklemektedir. Toplam renk değişimi değerlerinin istatistiki analizinde sonuçlarla korelasyonlu olarak istatistiki açıdan önemli bulunmuştur ($p < 0,05$).

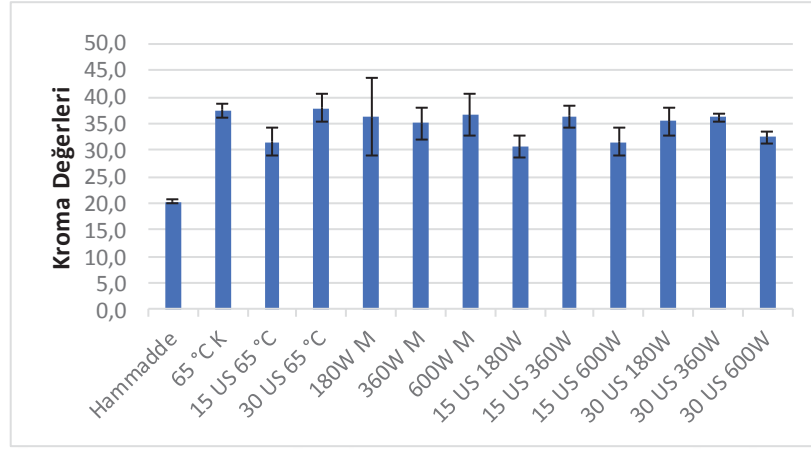
Şekil 4.17.'de Çizelge 4.11.'de belirtilen verilerle (3.9)'da belirtilen eşitlik kullanılarak hesaplanmış hue açısı parametreleri değişimleri gösterilmiştir.



Şekil 4.17. Hammadde ve kuru örneklerde hue açısı değerleri

Hue rengin temel yapısıdır ve rengin adı olarak da ifade edilmektedir (yeşil, sarı, kırmızı vs.). Bu doğrultuda Hue açısı bir rengin diğerinden ayrılması için kullanılmaktadır. Gıda endüstrisinde müşteri beğenisi ve tercihinin sağlamak adına ham hale en çok benzerlik aranmaktadır. Bu sebeple gelen talepler doğrultusunda ham hale en yakın sonuçları veren uygulamaların tercih edilebileceği düşünülmektedir. Kurutma işlemi sırasında enzimatik ya da enzimatik olmayan esmerleşme reaksiyonları sonucu üründe renk değişimi meydana gelmektedir (Yaralı, 2014). Materyal rengi, karatenoidlerin ve melanoidlerin okside olması, indirgen şekerler, aminoasitler ve proteinlerin siyah ve esmer renk pigmentleri, melanoidinler ve diğer aromatik bileşenlere dönüşümü, fenolik bileşiklerin esmer ve siyah polimerlere dönüşmesi gibi nedenlerden dolayı değişime uğramaktadır (İçier ve Sabancı, 2013). Eşitlik (3.9)'dan faydalanılarak hesaplanan hue açısı değerlerinin incelenmesinden anlaşılabileceği gibi elmanın kendine has karakteristik rengine en yakın değeri alan kurutma deneyi 30 dak. US ön işlemi uygulanmış 65 °C hava akımlı fırında kurutulan deneyde görülmüştür. Duyusal analiz uygulamasında panelistler tarafından rengi en çok puan alan deneyler kontrol grubu uygulamasında 65 °C hava akımlı fırında kurutma, 15 ve 30 dak. US ön işlem uygulamalarında 180 W

MW uygulaması olarak belirlenmiştir ($p>0,05$). Kurutma deneylerinin renk analizlerinde renksel parlaklık olarak tanımlanan chroma değerleri Şekil 4.18.'de görülmektedir.



Şekil 4.18. Hammaddede ve kuru örneklerde chroma değerleri

Kroma rengin doygunluğunu ve yoğunluğunu ifade etmektedir. Kroma grafiklerine bakıldığında yapılan tüm işlemlerde ham elmaya kıyasla bir artış gözlemlenmiştir. En düşük kroma değerleri veren uygulamalar arasında 15 dakika US uygulamalı konveksiyonel kurutma ve 180W ve 600W mikrodalga uygulamaları gelmektedir. Elde edilen bulgular doğrultusunda ham maddeye en yakın değerleri verdikleri için bu uygulamalar en tercih edilebilecek ürünler oldukları kanısı oluşturulmaktadır. Yapılan kurutma deneyleri neticesinde hesaplanan croma ve hue açısı değerlerinin arasındaki farkların istatistiki açıdan önemsiz olduğu bulunmuştur ($p>0,05$).

Yapılan esmerleşme indeksi hesaplamaları eşitlik (3.10) ve (3.11) kullanılarak yapılmıştır. Elde edilen sonuçlarda, esmerleşme indeksi değeri açısından hem kurutulan örnekler kendi aralarında hem de ham ürün ile kıyaslandığında aralarında önemli seviyede farklılıklar görülmüştür. Taze ürünün esmerleşme değerine en yakın değer 15 dakika US uygulamalı konveksiyonel kurutma olarak belirlenirken en uzak esmerleşme değerinin ise 15 dakikak US uygulamalı 360W mikrodalga ile kurutulan örneklerde belirlenmiştir. Elde edilen bulgular doğrultusunda ise en yüksek değerlerin 15 dakika ve 30 dakika US uygulamalı 360W mikrodalga uygulamalarında en düşük değerlerin ise 15 dakika US uygulamalı konveksiyonel kurutmada olduğu görülmüştür. Yapılan istatistik çalışmasında esmerleşme değerlerinin arasında koralasyon olduğu aradaki farkın istatistiki olarak önemli olduğu bulunmuştur ($p<0,05$).

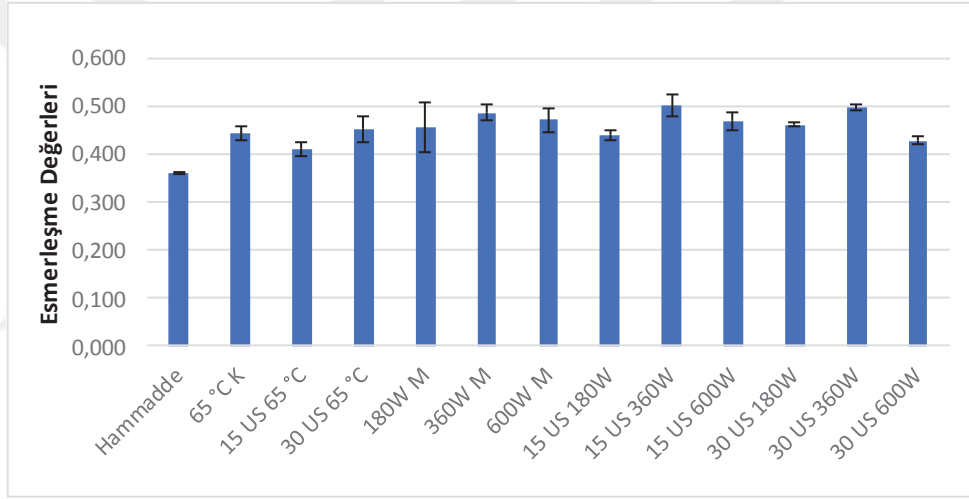
Dilimlerdeki esmerleşme tablosu şekerlerin karamelizasyonu ve karotenoid pigmentlerinin reaksiyona girerek kahverengi pigmentlerin oluşumuna bağlı olabilmektedir (Maskan, 2001b).

Havuç dilimlerinin 35 kHz frekansta 10-20-30 dak. US ön işlemi uygulanarak 70 °C'de kurutulması işleminde L değeri değişimi kontrol, 10 ve 30 dak. US gruplarında artmış 20 dak. US grubunda

azalma göstermiştir. a ve b değerlerindeki en az değişim 20-30 dak. US ön işlemi uygulanan örneklerde meydana gelmiştir (Nowacka ve Wedzik, 2015).

Farklı sıcaklık uygulamaları altında (sıcak hava ve MW) ve farklı ortam koşullarında (güneş ve gölgede) kurutulan kayıslarda chroma, hue açısı, esmerleşme indeksi ve toplam renk değişimi benzer şekilde değişiklik göstermiştir. Sadece ön işlem olarak kükürt uygulananlarda BI azalmış diğer tüm deneylerde azalma göstermiştir. Renk değişiminin uygulamalar içinde en hızlı ve en belirgin olarak bulunan mikrodalga kurutması olarak bildirilmiştir (Çelebi, 2011).

Çizelge 4.11’de verilen L,a,b değerlerinin (3.10) ve (3.11)’de verilen eşitliklerde yerlerine konmasıyla kuruma evresi öncesinde sahip oldukları değerlerin kurutma işlemi sonrasında mevcut yapıda ne kadar esmerleşme meydana getirdiğini görmek adına hesaplanmıştır. Elde edilen veriler Çizelge 4.11’de verilmiştir.



Şekil 4.19. Hammadde ve kuru örneklerde esmerleşme indeksi (BI) değerleri

Yapılan esmerleşme indeksi hesaplamalarında, kurutulan örnekler kendi aralarında hammadde ile kıyaslandığında önemli seviyede fark görülmüştür. Taze ürünün esmerleşme değerine en yakın değer 15 dakika US uygulamalı konveksiyonel kurutma olarak belirlenirken en uzak esmerleşme değerinin ise 15 dakikak US uygulamalı 360W mikrodalga ile kurutulan örneklerde belirlenmiştir. Elde edilen bulgular doğrultusunda ise en yüksek değerlerin 15 ve 30 dakika US uygulamalı 360W mikrodalga uygulamalarında en düşük değerlerin ise 15 dakika US uygulamalı konveksiyonel kurutmada olduğu görülmüştür ($p < 0,05$). Meyve ve sebze ürünlerinin kurutma ve depolanmasında rastlanan en önemli sorunun renk, tat kaybı ve esmerleşme olarak saptandığı, kurutma işlemiyle her ne kadar mikrobiyal gelişim kısıtlanmakta ya da önlenmekteyse de enzim aktivitesinin devam etmesi sebebiyle esmerleşme reaksiyonlarının sürebildiği bildirilmiştir (Yaralı,2017).

Depolama sıcaklığının esmerleşme reaksiyonlarını arttırıcı yönde etkilediği kayısı kurutması ile ilgili yapılan bir çalışmada, 40 °C de depolanan kuru kayısılarda esmerleşmenin 0 °C de depolanan örneklerden çok daha fazla olduğu bildirilmiştir (Bingöl, 2008).

4.2.7. Organik asit içeriği ve miktarı

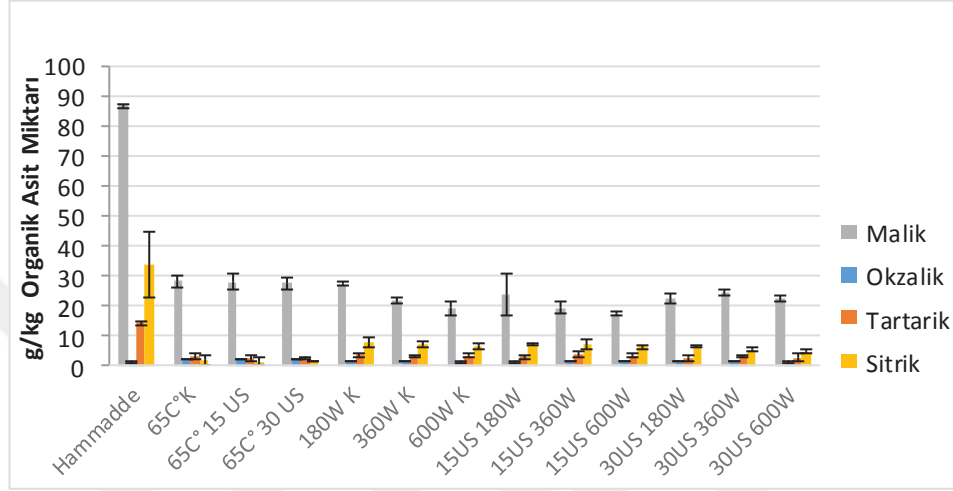
Meyveler organik asit içeriği bakımından zengin gıdalardır. Meyvelerde bulunan bu asitlerin başında malik asit, sitrik asit, tartarik asit, asetik asit ,okzalik asit gibi temel meyve asitleri gelmektedir. Organik asitler meyvelere ekşi ve ferah aromalarını verip lezzet unsurlarının temelini oluşturmaktadırlar. Meyveler sebzelere oranla daha fazla suda çözünebilen organik asit içermektedir (Yaralı, 2017). Aynı zamanda miktarları meyveden meyveye değişmekte olan organik asitler insan beslenmesinde günlük olarak alınması gereken esansiyel öğelerdendir. Hammadde de ve kurutma deneylerinin ardından elde edilen ürünlerde kuru madde bazında bulunan organik asitlerin tür ve miktarları Çizelge 4.13.'te belirtilmiştir.

Çizelge 4.13. Hammadde ve kuru örneklerde kuru maddede organik asit profilleri

Kurutma Yöntemi	Okzalik Asit Miktarı (g/kg)	Tartarik Asit Miktarı (g/kg)	Malik Asit Miktarı (g/kg)	Sitrik Asit Miktarı (g/kg)
Hammadde	1,43±0,47	14,33±0,69	86,82±10,90	33,86±0,63
65 °C Kontrol	2,20±0,07	3,45±1,04	28,46±1,97	2,12±1,53
65 °C 15 US	2,45±0,02	2,60±0,78	28,07±2,76	1,57±1,60
65 °C 30 US	2,39±0,14	2,70±0,36	27,60±1,88	0,68±0,16
180W Kontrol	1,43±0,02	3,64±0,67	27,49±0,46	7,92±1,73
180W 15 US	1,32±0,24	3,16±0,56	23,80±7,02	7,47±0,44
180W 30 US	1,58±0,14	2,61±1,04	22,31±1,97	6,52±1,53
360W Kontrol	1,46±0,04	3,26±0,35	21,77±0,93	7,24±0,85
360W 15US	1,34±0,07	3,93±1,04	19,47±1,97	7,06±1,53
360W 30US	1,53±0,02	3,15±0,41	24,44±1,01	5,53±0,53
600W Kontrol	1,34±0,11	3,29±0,67	19,26±2,51	6,68±0,85
600W 15 US	1,51±0,19	3,45±0,53	17,54±0,88	6,35±0,88
600W 30 US	1,32±0,08	2,82±1,26	22,51±0,75	4,93±0,68

Gıda prosesleri sırasında çeşitli aşamalarda ısı, ışık, metal iyonları ve diğer birçok fiziksel ve kimyasal etkene karşı dirençsiz olmaları bakımından proseslerin öncesinde hammadde formunda iken ve prosesler sonucunda uygun süreçler izlenip izlenmediğinin kontrolü bakımından tür ve miktarlarının tespiti önem arz etmektedir (Nemzer vd., 2018). Yapılan çalışmada farklı kurutma teknikleri ve ultrases uygulayarak organik asit miktarları deneysel olarak tespit edilmiştir. Elmada öncelikle malik

asit ikinci olarak sitrik asit baskın olarak bulunmuştur. İki tekerrürlü yapılan kurutma işlemleri neticesinde elde edilen kurutulmuş elma dilimleri 2'şer paralel olarak analiz edilmiştir. Elde edilen deneysel bulgular doğrultusunda yapılan bütün ısıl işlemlerle hammaddeye kıyasla okzalik asit dışında kalan diğer organik asit miktarlarında azalma olduğu görülmüştür. Organik asitlerin birbirlerine dönüşme ya da taklit etme sonuçları üzerinde durulmuştur. Tüm organik asit değerleri için yapılan istatistiki çalışmanın gruplar arası farkın anlamlı olduğu bulunmuştur ($p<0,05$). Hesaplanan verilerin değişimi Şekil 4.20.'de grafikte gösterilmiştir.



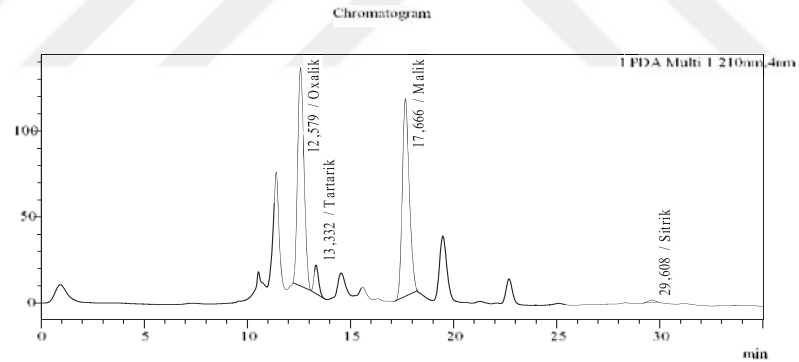
Şekil 4.20. Hammadde ile kuru örneklerin organik asit türleri ve miktarları

Yapılan literatür araştırmaları doğrultusunda organik asitlerin ısıya hassas oldukları ve ısı uygulaması sırasında miktarlarında ciddi bir kayıp olduğu bulgularına rastlanmıştır. Elma pekmezinin elde edilme usüllerinin kıyaslandığı bir çalışmada elmada başat organik asitin malik asit olarak belirlendiği görülmüştür (Kuşçu ve Bulantekin, 2016).

İncelenen deney türlerinden g/kg üzerinden hesaplanan değerleriyle sitrik asit miktarının 65 °C 'de kurutulan örnekleri incelendiğinde; hammadde de 33,86 olan miktarının %93-95 oranında kayba uğradığı, mikrodalga fırında yapılan kurutma işlemlerinde ise %76-85 aralığında kayıpların hesaplandığı görülmüş olup ısıya hassasiyeti yüksek olan sitrik asitin uygulama süreleri konveksiyonel fırın ortamına nazaran daha kısa olan mikrodalgada daha az parçalandığını göstermiştir. Elmada baskın olarak bulunan malik asitin hammadde de 86,21 g/kg olarak bulunduğu konveksiyonel fırında %67-68 oranında mikrodalga fırın kurutma işlemleri sonunda ise %68-77 arasında kayba uğradığı sitrik asitten farklı olarak ısı uygulama süresinden daha çok Watt enerjisi miktarına hassas olduğu ilaveten US uygulamasının ise konveksiyonel kurutma koşullarında anlamlı farklar yaratmadığı tespit edilmiştir. Mikrodalga fırında kurutulan deneylerde kontrol gruplarında daha fazla organik asit miktarına rastlanması aynı koşullarda ısıl işlem uygulamasının yanı sıra US ön işlem uygulamasının meyve içindeki organik asitlerin suda çözünen kuru madde sınıfından olması sebebiyle bir miktarının uygulama suyuna geçtiği sonucunu göstermiştir. Yapılan deneylerin tartarik asit miktarlarının incelenmesi halinde %71-82 arasında ısıl işlem uygulaması ile tüm kurutma

deneylerinde düşme seyri gösterdikleri, US ön işlem uygulamasının kayıp miktarlarını arttırıcı yönde etki ettiği görülmüştür. Okzalik asitin meyve hammaddelerinin hemen tümünde rastlanabildiği ancak hiçbirinde başat fonksiyon üstlenmediği anlaşılmıştır. Elde edilen verilerde konveksiyonel fırında yapılan kurutma işlemlerinde artmış diğer tüm deneylerde hemen aynı seyrinde kalmıştır. Verilerde görülen dalgalanmalar, literatür verileriyle kıyaslanmıştır. Okzalik asitin dihidrat formunun gıda sektöründeki bir diğer kullanım alanının bal üretiminde Varoa zararlılarıyla mücadele etme yöntemi olarak kullanıldığı incelenmiştir. Bu asitin anhidrit ve dihidrit formlarının hafif ısıda kolay süblimleşme yeteneğinden yararlanılması sebebiyle tercih edildiği görülmüştür (Anonim, 2017b). Elma dilimlerinin kurutulması esnasında uygulanan ısının da bu etki mekanizmasını harekete geçirdiği düşünülmüştür. Uygulanan ısının elma içeriğindeki şekerli bileşikler üzerinde fermentatif etkiler oluşturabileceğine literatür kaynaklarında rastlanmıştır (Yaralı, 2017). US ön işleminin organik asit miktarları üzerinde farklı etkileri olduğu tespit edilmiştir. Isı uygulamalarının okzalik asit miktarlarını azaltıcı yönde etkisinin bulunmadığı tespit edilmiştir. Benzer şekilde üzüm meyvesinde baskın organik asit olarak bulunan tartarik asitin yapılan kurutma deneylerinde hammaddede hesaplanan $14,33 \pm 0,69$ g/kg olan miktarının, ısının fermentatif etki yarattığı gözlemlenmesi bakımından ısı uygulamasına malik ve sitrik asit kadar hassas cevap vermedikleri düşünülmektedir.

İlaveten elde edilen veriler istatistiksel olarak incelendiğinde p değeri 0.05'ten küçük çıkmış olup veriler arasında korelasyon olduğu hesaplanmıştır. Organik asitlerin tespiti verilerinden HPLC diyagramı Şekil 4.21'de gösterilmiştir.



(a)

ID#	Aranan Madde	Tespit Süresi (dak)	Pik Alanı	Konsantrasyon	Birimi	Dalga Boyu
1	Okzalik	12,579	2723773	2,234	g/kg	Ch1 210 nm
2	Tartarik	13,332	256880	1,541	g/kg	Ch1 210 nm
3	Malik	17,666	2708417	27,472	g/kg	Ch1 210 nm
4	Sitrik	29,608	34804	0,301	g/kg	Ch1 210 nm
Toplam			5723874			

(b)

Şekil 4.21. Tespit edilen organik asitleri gösteren HPLC cihazı kromatogramı (a), organik asit tespit kromatogram bilgi kartı (b)

Elma meyvesinin bitki besin elementleri ile organik asit içeriğinin incelenildiği bir araştırmada materyal olarak elma yetiştiriciliğinin yoğun olarak yapıldığı Denizli'nin Çivril İlçesi'nden 17 farklı

bahçeden toprak, yaprak ve meyve örnekleri alınmıştır. Elma çeşidi olarak Golden Delicious ve Starking delicious elma çeşitleri kullanılmıştır. Elma bahçelerinden alınan meyve örneklerinde yapılan organik asit analizi sonucunda malik, malonik ve sitrik asitleri tespit edilmiştir. Organik asitlerden malik asit dominant organik asit olarak bulunmuştur. Starking çeşidindeki malik asit miktarı Golden çeşidi elmaya göre daha yüksek durumda olduğu tespit edilmiştir. Malik asitten sonra malonik asit daha sonrada en az sitrik asit belirlenmiştir. Starking delicious çeşidinde max ve min değerler; malik asit 40,10-15,80 (mg/g); sitrik asit 2,89-8,77 (mg/g) malonik asit ise 11,15-21,72 (mg/g) olarak bulunmuştur. (Mordoğan ve Ergun,2001).

Soğukta depolanan starking çeşidi elma kalitesine ön bekleme süresinin etkisinin incelendiği bir araştırmada örnekler 4 kısma ayrılmış, bir bölümü hemen depoya yerleştirilirken, diğer 3 bölüm 6, 12, 24 saat ortam koşullarında bekletildikten sonra depoya yerleştirilmiştir. Ticari bir depoda $0,5 \pm 1$ °C 'de 8 aylık depolama süresince 2 ay aralıklarla meyvelerin ağırlık kaybı, meyve eti sertliği, pH, suda çözünür kuru madde, asitlik, C vitamini, indirgen ve toplam şeker niceliklerindeki değişimler incelenmiştir. elma hasadının ardından ön bekletme süresine tabi tutularak ve tutulmadan soğuk hava ortamına konan örneklerin askorbik asit miktarlarının kayıpları 2., 4. ve 6. aylarında sonunda incelenmiştir. Yapılan analizler neticesinde ilk 4 ay aradaki farklar varyans analizi verilerine göre anlamlı bulunmazken 6 aylık depolamanın sonunda tüm örneklerde önemli bir azalmanın olduğu görülmüştür. Varyans analizi verilerine göre ön bekletme süresinin C vitamini kayıpları üzerinde önemi bulunmaktadır. Ön bekletme süresi arttıkça C vitamini değerlerindeki azalma daha fazla artmaktadır (Batkan ve Kundakçı, 2005).

Pek çok araştırmacı farklı çeşitteki elma meyvelerinde yaptıkları çalışmalarda dominant organik asidi malik asit olarak saptamıştır. Yapılan araştırmalarda malik asitin başat olarak sıklıkla görülmesiyle birlikte bazı kaynaklarda malik asitin elma asidi olarak geçtiği bildirilmiştir (Shyi, 1999).

Konvektif ve US kurutma metotlarının havuçta bulunan C vitamini üzerine etkisinin incelendiği çalışmada, US ön işlemine tabi tutularak kurutulan örneklerdeki C vitamini kaybının çok daha az olduğu belirtilmiştir (Frias vd.,2010).

4.2.8. (%) Büzülme miktarı

Kuruma süresince hacimsel olarak büzülme (3.12) no'lu eşitlik kullanılarak hesaplanmıştır. Elma dilimlerinin çap ve kalınlık ölçümleri EK B.3.'te sunulmuştur. Örneklerin büzülme diğer ifadeyle hacim değişikliği ürünün herhangi bir zamandaki hacminin başlangıç hacmine bölünmesiyle ifade edildiği bildirilmiştir (Maskan, 2001a). Bu hesaba göre işaretlenen elma dilimlerinde öncelikle % çap miktarları ile % kalınlık değerleri ölçülmüştür. Ölçüm değerleri Çizelgeler 4.14. ve 4.15.'de belirtilmiştir.

Çizelge 4.14. Kurutulmuş elma dilimlerinin ortalama çap değişimleri

Farklı Kurutma Yöntemleri	Ortalama % Çap Değişimi	Ortalama % Çap Değişimi
180W Kontrol	7±0,02	7±0,01
360W Kontrol	6±0,02	6±0,02
600W Kontrol	5±0,02	6±0,01
65 °C Kontrol	14±0,007	12±0,02
15 US 65 °C	8±0,02	11±0,05
30 US 65 °C	10±0,005	17±0,01
15 US 180W	15±0,04	10±0,02
15 US 360W	17±0,03	17±0,05
15 US 600W	8±0,008	10±0,03
30 US 180W	14±0,025	17±0,03
30 US 360W	8±0,01	5±0,02
30 US 600W	8±0,01	13±0,05

Çap değerlerinin ölçüm sonuçlarında gruplar arasında istatistiki fark vardır ($p<0,05$) kalınlık değerlerinin ölçüm sonucunda ise istatistiki fark yoktur ($p>0,05$) .

Çizelge 4.15. Elma dilimlerinin ortalama kalınlık değişimleri

Farklı kurutma yöntemleri	Ortalama Kalınlık Değişimi %	Ortalama Kalınlık Değişimi %
180W Kontrol	45±0,04	45±0,02
360W Kontrol	45±0,01	46±0,02
600W Kontrol	44±0,07	46±0,08
Konveksiyonel Kontrol	43±0,01	45±0,01
15 US 65 °C	45±0,02	45±0,01
30 US 65 °C	44±0,02	46±0,06
15 US 180W	44±0,01	41±0,10
15 US 360W	39±0,06	43±0,01
15 US 600W	44±0,08	40±0,10
30 US 180W	42±0,03	45±0,07
30 US 360W	43±0,02	40±0,01
30 US 600W	42±0,06	33±0,04

Deney türlerinde kalınlık değerlerinde korelasyon hesaplanmazken çap değerleri ile birlikte hesaplanan toplam hacim değerlerinde büzülme sonuçlarındaki farklılıklar istatistiki olarak önemli bulunmuştur ($p<0,05$). Bu durumun US ön işlemi uygulanırken elma dilimlerinin nem içeriklerinin değiştiği ve üründen ultrasonik su banyosuna suda çözünür madde geçişi sebebiyle kurutma sırasında daha fazla su kaybına sebebiyet vermesinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Yapılan deneyler sonucunda büzülme tayini yapabilmek adına çap ve kalınlık değişimleri ölçülmüştür. Bu ölçümlerden yola çıkılarak hacim değişimleri hesaplanmıştır. Hacimdeki değişimler doğrudan büzülme ile bağlantılı olduğundan büzülme hacim üzerinden belirlenebilmektedir. Hesaplamalar doğrultusunda en fazla büzülme 30 dak. ultrases ön işlemlili 600W mikrodalgada kurutulmuş elmalarda elde edilirken, en az büzülme ise 360W mikrodalgada kurutulmuş elmalarda hesaplandığı (kontrol) görülmüştür. Deneylerde hesaplanan toplam değişim Çizelge 4.16’da verilmiştir.

Çizelge 4.16. Kurutma deneylerinde % olarak meydana gelen hacim değişimleri

Kurutma koşulları	Ortalama büzülme
180W Kontrol	56±0,08
360W Kontrol	55±0,07
600W Kontrol	56±0,12
Konveksiyonel Kontrol	56±0,18
15 US 65 °C	58±0,19
30 US 65 °C	62±0,24
15 US 180W	57±0,21
15 US 360W	62±0,20
15 US 600W	60±0,15
30 US 180W	61±0,22
30 US 360W	58±0,19
30 US 600W	69±0,22

Kurutma deneylerinde hacimdeki değişimler doğrudan büzüşme ile bağlantılı olduğundan büzüşme hacim üzerinden belirlenebilmektedir. Hesaplamalar doğrultusunda en fazla hacim değişimi konveksiyonel fırında yapılmış kontrol kurutmasında, 15 dakika US ön işlemli 180W ve 360W mikrodalga kurutmasında, en az hacim değişimi ise 600W mikrodalgada kurutulmuş elma-kontrol grubunun kurutulmasında görülmüştür. Serbest suyu daha fazla içeren dilimlerde daha fazla büzülme tespit edildiği sonucuna varılmıştır.

Kivi meyvesi üzerine yapılan çalışmada, meyveler mikrodalgada, sıcak havada ve mikrodalga ve sıcak hava kombinli sistemde kurutulmuş ve kuruma süresince büzülmeleri incelenmiştir. Büzülme değerleri mikrodalga, sıcak hava ve kombinli sistemde sırasıyla %85, %81 ve %76 olarak belirlenmiştir. Mikrodalga yoğun bir ısı üretimi gösterdiği için suyun dokulardan uzaklaştırılmasını hızlandırmaktadır (Maskan, 2001b). Benzer sonuçlar elma (Sjöholm ve Gekas, 1995) ve havuç (Ratti, 1994) kurutulmasında da bildirilmiştir. US ön işlemi uygulanmış elmanın 70 °C’de kurutulmasında büzülme miktarı incelenmiş ve en az büzülmenin kontrol, en fazla büzülmenin 30 US grubunda meydana geldiği görülmüştür (Nowacka vd., 2012).

Havuç ve elma meyvelerinin kuruma sırasında büzülmelerinin hacimsel olarak modellenmesi çalışmasında meyve kurutma sistemlerinde literatürce tanımlanmış sekiz farklı model uygulanmıştır. Konvektif kurutulan havucun büzülme modeli incelendiğinde %33 oranında elmanın %44 oranında büzüldüğü hesaplanmıştır. Elma ve havucun konvektif kurutulmasında kuruma boyunca büzülmeleri kıyaslanmış ve elmanın 6. havucun 2. modele daha uyumlu olduğu aynı kurutma modeline girmediği görülmüştür (Mayor ve Sereno, 2004).

4.2.9. Rehidrasyon kapasitesi ve matematiksel modellemesi

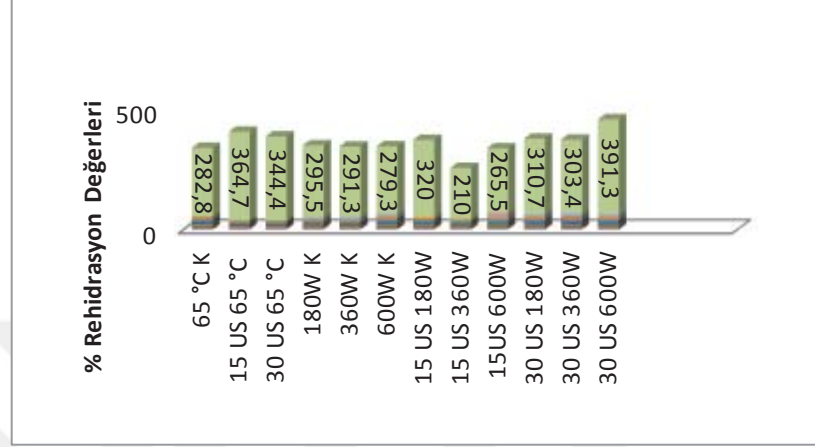
Rehidrasyon yeteneği (geri su alma) kurutulmuş gıda maddelerinin sabit sıcaklık ve neme sahip bir ortamda bekletildiğinde kurutma işlemleri öncesine dönme düzeyidir. Kurutulmuş ürünlerde işlem koşullarına ve işlenen hammaddeye göre rehidrasyon kapasitesinde düşmeler meydana gelebilmektedir. Gıda maddeleri sıcaklık ve nemin sabit olduğu ortamda tutulduklarında, su alırlar veya su verirler. Belirli bir süre sonunda bulundukları ortam ile denge nemine ulaşırlar (Baysal vd., 2013). Denge haline ulaşan elma dilimlerinde su kaybetme hızı ile kazanma hızı birbirine eşit bulunmuştur. Kurutulmuş elma dilimlerine uygulanan rehidrasyon deneyleri (3.13)’te belirtilen eşitlik kullanılarak hesaplanmıştır. Yapılan deneyin verileri Çizelge 4.17. ‘de verilmiştir.

Çizelge 4.17. Kurutulmuş elma dilimlerine uygulanan rehidrasyon aşamaları

Kurutma Deney Türleri	Başlangıç Ağırlığı (g)	10 dak.	20 dak.	30 dak.	40 dak.	50 dak.	60 dak.	70 dak.	% Rehidrasyon
65 °C Kontrol	2,9	7,3	9,1	10,4	11	11,1			282,8
15 US 65 °C	1,7	5,3	6,5	7,4	7,9	7,9			364,7
30 US 65 °C	1,8	5,4	6,5	7,3	8	8			344,4
180W MW	2,2	6	7	8,2	8,5	8,7	8,7		295,5
360W MW	2,3	5,1	6,9	7,9	8,8	9	9		291,3
600W MW	2,9	7	8,7	9,9	10,9	11	11		279,3
15 US 180W	2,5	6,4	8,3	9,6	10,5	10,5			320,0
15 US 360W	3	5,3	7,1	7,7	9,3	9,3			210,0
15 US 600W	2,9	6,4	7,7	9,1	10	10,2	10,6	10,6	265,5
30 US 180W	2,8	6,4	8,3	9,8	11,3	11,5	11,5		310,7
30 US 360W	2,9	7,1	9	10,5	11,6	11,8	11,7		303,4
30 US 600W	2,3	6	8,6	9,8	11	11,3	11,3		391,3

Rehidrasyon kuruma esnasında meydana gelen hücre yapısı bozukluklarını onarmak amacıyla sıklıkla kullanılan bir metod olarak tanımlanmaktadır (Barrera vd, 2016). Bu yöntem sırasında emilen sudan dolayı kurutulmuş ürünlerde hem ağırlık hem de hacim bakımından bir artış gözlemlenmektedir (Fijalkowska vd., 2016). Bu yöntemde, sabit sıcaklık ve nem oranına sahip bir ortamda kurutulmuş örnekler bekletilip belirli bir zaman aralığında (dengeye gelene kadar) bu örneklerin ne kadar suyu geri aldıkları hesaplanmaktadır. Bu çalışmada rehidrasyon metodu kullanılarak farklı ürünlerin rehidrasyon yeteneği belirli bir zaman aralığında hesaplanmış ve grafikleştirilmiştir. Şelil 4.22’de yapılan deneylerin geri su alma kapasiteleri grafikleştirilmiş haliyle görülmektedir. Grafikten elde

edilen veriler incelendiğinde, en yüksek rehidrasyon yeteneği 30 dak. ultras es ile ön iş lemden geçmiş 600W gücünde mikrodalga yöntemi ile kurutulmuş örneklerde elde edilirken, en düşük rehidrasyon ise 15 dak. ultras es ön iş leml i 360W gücünde mikrodalga yöntemi ile kurutulmuş örneklerde elde edilmiştir. Rehidrasyon testi uygulamasının farklı koş ullarda kurutul an tüm deneylerde elde edilen sonuç ları grafik 4.22’de verilmiştir.



Şekil 4.22. Kurutulmuş elma dilimlerinin geri su alma kapasiteleri

En yüksek rehidrasyon örneğine en yakın olan diğer örneklerin rehidrasyon değerleri yaklaşık olarak %210 ile %390 arasında değişmektedir. Büzülme değerleri ile kıyaslandığında ise en yüksek büzülme 30 dak. ultras es uygulanmış ve 600W mikrodalgada kurutulmuş elmalarda elde edilmiştir. En az büzülme ise 600W mikrodalgada kurutulmuş kontrol grubu elmalarında gözlemlenmiştir. Konveksiyonel kurutma yönteminde en fazla rehidrasyon 15 dak. US ön iş leml i örneklerinde edilmiş 30 dak. US ön iş leml i örneklerde rehidrasyon kapasitesinin düştüğü gözlemlenmiştir. En düşük rehidrasyon değeri hava akımlı kurutma koş ullarında kontrol grubunda görülmüştür. Bu yüzden, konveksiyonel kurutma yöntemi için US uygulamasının rehidrasyon kapasitesini arttırdığı ve en çok artışın 15 dak. ultras es uygulamasında elde edildiği söylenebilmektedir. Mikrodalga ile kurutma sonuç larına bakıldığında, 180W güc le kurutul an elmalar için konveksiyonel fırınla aynı davranışı sergilediği fakat 360W ve 600W güc te kurutulmuş örneklerde en yüksek kapasitenin 30 dak. ultras es ön iş leml i örneklerde olduğu ve 15 dak. ultras es uygulanmış örneklerin kontrol grubundan daha düşük kapasiteye sahip olduğu gözlemlenmiştir. US ön iş lemi kontrol grubuna göre ürünlerde daha fazla büzülmeye sebep olurken, kurutma sonrası ürünlerin kontrol grubuna göre rehidrasyon kapasitesini artırdığı görülmüştür. Elma dilimlerinde geri su alma kapasitesinin matematiksel modellemesinin çalışması Çizelge 4.18.’de verilmiştir.

Yapılan modelleme sonuç ları incelendiğinde her iki modelinde rehidrasyon modellemesi için uygun olduğu gözlemlenmiştir. 180W mikrodalga ile kurutulmuş örneklerde, 15 dak. US uygulanmış ve konveksiyonel fırında kurutulmuş örneklerde, 30 dak. US uygulanmış ve 180W mikrodalga ile kurutulmuş örneklerde ve son olarak 30 dak. US ön iş leml i konveksiyonel fırında kurutulmuş

örneklerde Peleg Modelinin daha iyi bir sonuç verdiği gözlemlenirken, diğer örneklerde Ekspansiyon Modelde uygunluk elde edilmiştir (Quantero, 2017). Literatür incelendiğinde ise Peleg Modelinin rehidrasyon kapasitesi için en uygun model olarak belirlendiği gözlemlenmiştir (Fijalkowska vd., 2016).

Çizelge 4.18. Farklı koşullarda kurutulan elma dilimlerinin geri su alma kapasitelerinin matematiksel modellemesi

Kurutma Deneyleri	Peleg Modeli		Ekspansiyon Modeli	
	R-sqrd	RMSE	R-sqrd	RMSE
180W Mikrodalgada Kurutulmuş Elma-Kontrol	0,9947	0,1891	0,9935	0,2084
360W Mikrodalgada Kurutulmuş Elma-Kontrol	0,9935	0,2209	0,9975	0,1364
600W Mikrodalgada Kurutulmuş Elma-Kontrol	0,9951	0,2296	0,9965	0,1926
Kontrol Konveksiyonel	0,9979	0,1629	0,9985	0,1352
15 US Ön İşlemlili Konveksiyonel	0,9978	0,1261	0,9968	0,151
30 US Ön İşlemlili Konveksiyonel	0,997	0,1453	0,9937	0,1902
15 US Ön İşlemlili 180W MW	0,9967	0,1984	0,998	0,1555
15 US Ön İşlemlili 360W MW	0,9873	0,3079	0,9878	0,3026
15 US Ön İşlemlili 600W MW	0,9942	0,2052	0,9954	0,1964
30 US Ön İşlemlili 180W MW	0,9797	0,2333	0,9822	0,2319
30 US Ön İşlemlili 360W MW	0,9945	0,2673	0,9968	0,205
30 US Ön İşlemlili 600W MW	0,9931	0,3071	0,9973	0,1902

Kivi meyvesinin 50 °C’de ve MW kurutma sonrasında büzülme ve rehidrasyon değerlerinde de benzer sonuçlar elde edilmiştir (Maskan, 2001a).

Elma üzerine yapılan çalışmada ön işlem olarak 35 kHz frekansta 10, 20, 30 dak. US ön işlemi uygulanmış ve 70 °C’de kurutularak büzülme miktarları ve rehidrasyon kapasiteleri incelenmiştir. US grupları kontrole göre daha fazla büzülme göstermiş, 30US grubunun rehidrasyon kapasitesinin kontrol grubuna göre daha fazla olduğu tespit edilmiştir (Nowacka vd., 2012).

Mantar kurutma çalışmasında ise US ön işlemi uygulanarak kurutulmuş ürünün rehidrasyon kapasitesi incelenmiş ve US grubunun kontrole göre rehidrasyon kapasitesinin daha yüksek olduğu görülmüştür (Jambrak vd., 2007). Portakal dilimlerinin mikrodalga kombineli sistemde kurutulmasında rehidrasyon kapasiteleri incelenmiş ve mikrodalga güç uygulanmamış grubun rehidrasyon kapasitesinin daha fazla olduğu belirlenmiştir (Diaz vd., 2003). Kuruma, ürünün fiziksel yapısında geri dönüşümsüz değişikliklere sebep olur. Bu nedenle ürünlerin su çekme kapasitelerinde azalma

meydana gelir. Rehidrasyon, instant ürünlerin değerlendirilmesinde sıklıkla kullanılan önemli bir kalite parametresidir. Rehidrasyon süresince, kütle kazanımı, kurutulmuş üründe hacim artışı ve çözünür madde kaybı olmak üzere belli aşamaları kateder. Genellikle, rehidrasyon oranının kurutulan gıdaya özgü yapı ve hücrelerinin bozulma ve parçalanma derecesine bağlı olduğu ildirilmiştir (Nowacka vd., 2012). US ön işlemleri uygulanarak kurutulmuş elma dilimlerinin rehidrasyon kapasitelerinin modellenmesinde peleg modeli uygulanmış ve yüksek R² değeri vermiştir (Nowacka vd., 2012). Portakal dilimlerinin mikrodalga kombineli kurutulmasında peleg modeli uygun rehidrasyon modeli olarak belirlenmiştir (Diaz vd., 2003).

4.2.10. Fenolik madde tür ve miktar tayini

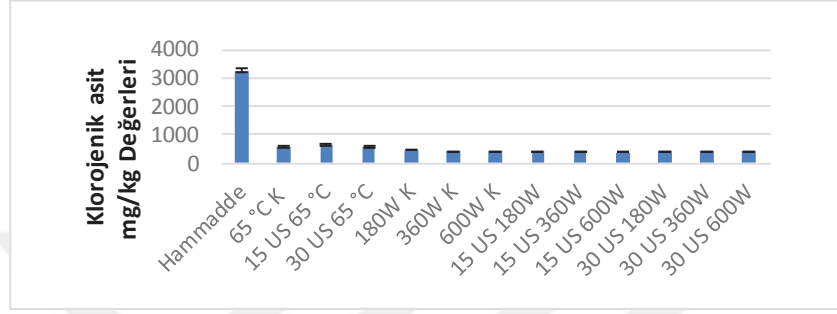
Fenolik maddelerce zengin içerikli bir cins olan Starking delicious çeşidinde meyve etinde en yüksek seviyede bulunan fenolik maddelerden birisi olan klorojenik asit ile kabuk kısmında meyve etine kıyasla daha fazla oranda bulunan kafeik asitin bulunduğu bilgisine ulaşılmıştır (Escarpa ve Gonzales,1998). Kurutma işlemleri sırasında elmaların çekirdek evi çıkarılmadan ve meyve kabuğu soyulmadan kurutma işlemi gerçekleştirildiği için kurutulmuş elma dilimlerinde fenolik madde araması klorojenik asit ile kafeik asit ölçümleri üzerinden gerçekleştirilmiştir. Meyve sebze ürünlerinin muhtevalarının analizinde iz miktarlardaki maddelerin dahi analizini elverişli kılan HPLC teknolojisi ile ölçümler yapılmıştır. Sonuçlar kuru madde üzerinden hesaplanmış fenolik madde içerikleri ile farklı kurutma koşullarında kurutulmuş elma dilimlerinde kurutmaya bağlı olarak gelişen kayıplar Çizelge 4.19’da verilmiştir.

Çizelge 4.19. Elma hammaddesi ile kurutulan elma dilimlerinin kuru maddesi bazında analiz edilen klorojenik ve kafeik asit miktarları

Kurutma Yöntemi	Klorojenik asit miktarı (km) (mg/kg)	Kafeik asit miktarı (km) (mg/kg)
Hammadde	3263,29±74,54 ^e	265,28±7,89 ^e
65 C° Kontrol	535,06±36,05 ^{bc}	24,84±1,26 ^b
65 C° 15 US	659,85±34,78 ^{cd}	22,57±0,81 ^a
65 C° 30 US	558,21±21,67 ^{bcd}	24,13±0,42 ^b
180W Kontrol	451,84±5,05 ^a	27,75±0,65 ^c
180W 15 US	402,59±4,42 ^{ab}	26,21±0,43 ^d
180W 30 US	404,99±1,60 ^d	21,96±0,11 ^d
360W Kontrol	407,18±1,43 ^{ab}	25,67±1,73 ^d
360W 15US	397,12±3,22 ^{bcd}	24,10±1,67 ^d
360W 30US	397,55±5,55 ^{abc}	25,11±0,51 ^d
600W Kontrol	395,30±1,70 ^{bcd}	23,59±2,38 ^d
600W 15 US	383,51±3,16 ^{ab}	26,04±1,21 ^d
600W 30 US	390,37±0,82 ^{ab}	25,56±2,45 ^d

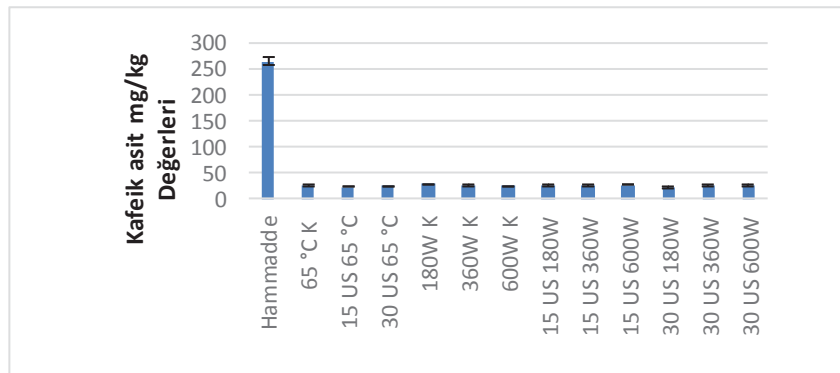
Aynı sütunda aynı harfle gösterilen ortalamalar arasında istatistiksel fark yoktur (p>0,05).

Besinlerin ısıtılmasına veya soğutulmasına dayanan koruma teknikleri (dondurma, kurutma ve konserve yapımı gibi), gıdaların raf ömrünü uzatmasına ve mikrobiyal açıdan güvenilirliğini artırmasına rağmen, ürünlerin kalite özelliklerinin kaybına, fiziksel ve kimyasal yapılarında değişimlere, organoleptik özelliklerinin ve doğal bileşenlerinin bozulmasına yol açabilmektedir (Yüksel, 2013). Kurutma işlemi öncesinde hammadde de farklı kurutma işlemleri sonrasında elma dilimlerinde mg/kg olarak hesaplanan klorojenik asit miktarı grafiği Şekil 4.23.'te; kafeik asit miktarları grafiği Şekil 4.24.'te verilmiştir.



Şekil 4.23. Elma hammaddesinde ve kuru örneklerde analiz edilen klorojenik asit miktarları

Yapılan çalışmada bütün kurutma deneylerinin ardından klorojenik asit madde miktarının azalan bir seyir gösterdiği görülmüştür. Başlangıçta hammadde de tespit edilen klorojenik asit miktarının en az kayba 15 US 65 °C hava akımlı kurutma deneyinde; en fazla kayba ise 15 US 600 W MW kurutma işlemlerinin ardından elde edilmiştir. Bu sonuçlara göre tespit edilen klorojenik asit miktarları başlangıç miktarına göre en fazla % 20,19; en az % 11,73 oranında tespit edilmiştir. Bu sonuçlara göre US ön işleminin klorojenik asit miktarının azalmasında birincil ölçüde etkisi olmadığı düşünülmektedir. Yapılan ölçümlere göre yapılabilecek kabaca bir değerlendirmeye klorojenik asit miktarlarında 1/5 oranına kadar azalma görülmüştür.

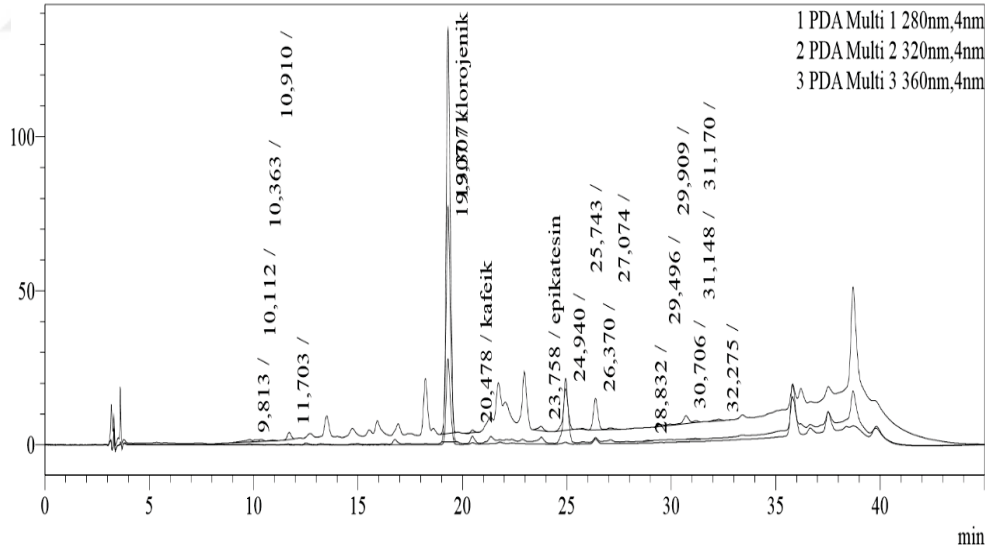


Şekil 4.24. Elma hammaddesinde ve kuru örneklerde analiz edilen klorojenik asit miktarları

Farklı ön işlem ve kurutma teknikleri uygulayarak fenolik bileşenlerden kafeik asit miktarları deneysel olarak tespit edilmiştir. Deneysel veriler incelendiğinde farklı sürelerde ultases uygulanmasının ise

kafeik asit miktarı üzerine ciddi bir etki yaratmadığı görülmektedir. Ultrases ön işlem uygulanan deneylerle hiç uygulanmayan deneyler arasında kafeik asit miktarı anlamında oldukça küçük farklar olduğu görülmüştür. En az azalma miktarı 180 W-kontrol grubunda en fazla azalma oranına 30 dak. US ön işlemlili 180 W kurutma grubunda rastlanmıştır. Kurutma deneylerinden sonra işlem gruplarında % olarak sırasıyla hava akımlı grupta 9-8,3-9; 180W MW grubunda sırasıyla 10,1-9,8-7,49; 360W MW grubunda 9,43-9,05-9,43; 600W MW grubunda 8,67-9,81-9,43 olarak kafeik asit miktarları ölçülmüştür. Elde edilen deneysel bulgular doğrultusunda yapılan bütün deneylerde hammaddeye kıyasla kafeik asit miktarlarında kabaca yaklaşık 1/10 oranında azalma tespit edilmiştir. Literatür araştırmalarına bakıldığında bu durum fenolik bileşenlerin ısıya ve oksidasyona karşı hassas maddeler olduğu ve yüksek sıcaklıklarda kayıplarının görüldüğü literatür taramasından anlaşılabilmektedir (Algan vd., 2016). Yapılan araştırmalar elde edilen deneysel verileri destekler niteliktedir. İlâveten elde edilen veriler istatistiksel olarak incelendiğinde p değeri 0.05'ten küçük çıkmış olup veriler arasında korelasyon olduğu belirlenmiştir. Meyvelerde bulunan fenolik bileşen konsantrasyonu birçok koşuldan etkilenebilmektedir. Bunların başında hasat zamanı, meyvenin çeşidi, yetiştirme koşulları ve uygulanan işlemler gelmektedir (Lule ve Xia, 2005). D'Abrosca ve arkadaşları tarafından 2007 yılında elmalarda kalite parametrelerini inceledikleri araştırmalarında klorojenik asiti 0,1-0,2 mg/100g; kafeik asiti 0,4-0,5 mg/100 g olarak buldukları bildirilmiştir (D'Abrosca vd., 2007). Analizlerin yapıldığı HPLC cihazının kafeik asit ve klorojenik asit miktarlarının yapıldığı kromatogram görünümü ve bilgi kartı Şekil 4.25'te verilmiştir.

Chromatogram



(a)

	Aranan Madde	Tespit Zamanı	Alan	Konsantrasyon	birim	Dalga Boyu
11	klorojenik	19,307	1865773	579,713	mg/L	Ch2 320nm
15	kafeik	20,478	6352	23,328	mg/L	Ch1 280nm
Toplam			1897065			

(b)

Şekil 4.25. HPLC kromatogramı (a), grafiğine ait bilgi kartı (b)

Yapılan bir araştırmada araştırmacılar kafeik asit içeriği yönünden elma çeşitleri arasında istatistiki yönden önemli farklılıklar olduğunu belirlemiştir. Kafeik asit içeriği bakımından en yüksek değer 8.18 mg/kg ile Kızıl Ahmedi çeşidinde saptanmış olup, bunu 6.82 mg/kg ile Starking delicious çeşidi takip etmiştir. Starking delicious çeşidinde bulunan fenolik maddelerden hesaplananlar 6.82 mg/g kafeik asit, 56.03 mg/g klorojenik asit, 52.38 mg/g epikateşin ve 12.60 mg/g benzoik asit miktarları olarak bulunmuştur (Coşkun ve Aşkın,2016).

Türkiye’de yaygın olarak tüketilen 10 kuru meyve çeşidinin antioksidan potansiyelleri üzerine bir çalışma yapılmıştır. Bu çalışmada; kuru elma, kuru dut, kuru siyah üzüm, çekirdeksiz kuru üzüm, kuru incir, kuru kayısı, kuru erik, kuru vişne ve kuru yaban mersini meyveleri araştırılmıştır. Folin Ciocalteu ayırıcı ile yapılan analizlerinde ürünlerdeki toplam fenolik madde içeriği, çoktan aza doğru, siyah üzüm 645, yabanmersini 557, dut 185, incir 169,4, vişne 142, erik 137, kayısı 122, çekirdeksiz kuru üzüm 85, kayısı (SO₂ muamelesi) 82 ve elma 76 mgGAE/100g olarak saptanmıştır. Aynı çalışmada kuru meyvelerin flavanoidler bakımından da zengin bir kaynak olduğu sonucuna ulaşılmıştır (Çapanoğlu 2014).

4.2.11. HMF (Hidroksimetilfurfural) miktar tespitleri

Meyve sebzelerde kurutma parametrelerini oluştururken kuruma sürecine bağlı olarak meydana gelen değişimler kurutma işleminin niteliğinin istenen kalite ölçütlerinde elde edilmesinde önemli bir göstergesi sayılmaktadır. Farklı ön işlem uygulamaları ile birlikte farklı koşullarda kurutma işlemi uygulanan deneylerde yapılan kurutma işleminin ısı uygulamasına bağlı olarak artan HMF miktarları araştırılmıştır. HPLC ortamında analizler yapılarak her bir kurutma deneyinden alınan sonuçlar Çizelge 4.20’ verilmiştir.

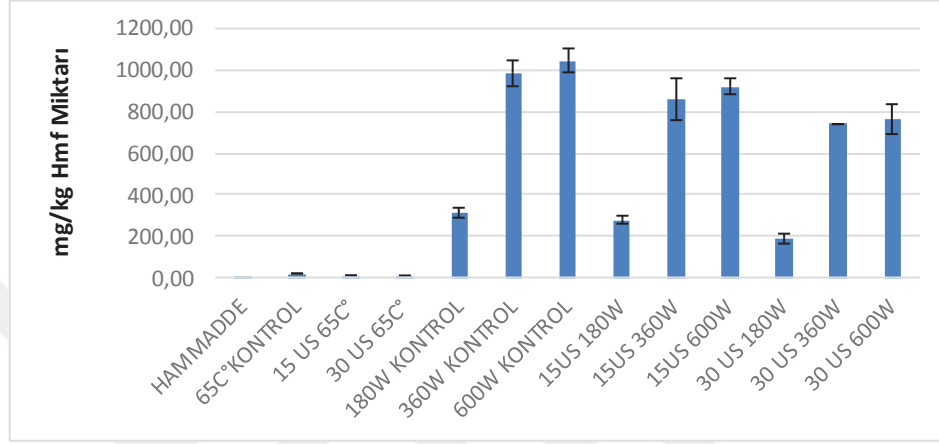
Çizelge 4.20. Hammadde ve kuru örneklerin HMF miktarları (g/kg)

Deney Türleri	Ortalama Hmf miktarları (g/kg)
HAMMADDE	4,10±0,37 ^g
65 C° KONTROL	18,52±0,09 ^f
15US-65 C°	6,27±0,80 ^f
30US-65 C°	5,41±0,09 ^f
180W KONTROL	312,69±20,80 ^d
360W KONTROL	987,77±61,45 ^a
600W KONTROL	1047,82±57,45 ^a
15US-180W	279,05±16,67 ^d
15US-360W	859,67±101,12 ^a
15US-600W	920,57±38,41 ^b
30 US-180W	189,53±22,65 ^e
30 US-360W	743,21±1,87 ^c
30 US-600W	768,88±71,88 ^c

Aynı sütunda aynı harfle gösterilen ortalamalar arasında istatistiksel fark yoktur (p>0,05)

HMF, enzimatik olmayan esmerleşme reaksiyonları sonucu ortaya çıkan ürünlerden olup karbonhidrat ve amino asit içeren gıdalarda aşırı ısıtmadan kaynaklı kalite kaybının belirtici kabul edilmektedir. Bu sebeple kurutulmuş meyvelerde de görülmektedir. Kurutma işleminin kalitesini ölçmek adına HMF miktarı tayini önem arz etmektedir (Çoklar ve Akbulut, 2010).

Hesaplanan HMF miktarlarının g/kg olarak bulunmasıyla elde edilen veriler Şekil 4.26.'da grafike edilmiştir.



Şekil 4.26. Hammadde ile kuru örneklerde HMF miktarları

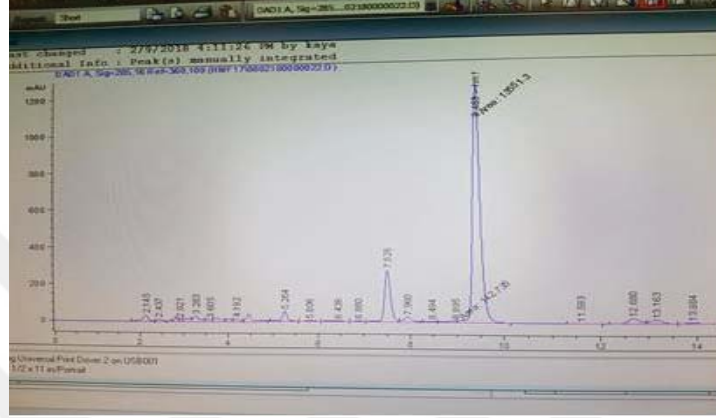
Yapılan bütün ısıt işlemler sonucunda hammadde de bulunduğu tespit edilen 4,10±0,37 g/kg miktarında bulunan HMF miktarının üzerine çıkıldığı tespit edilmiştir. En az artış 5,41±0,09 g/kg miktarıyla 30 dak. US 65 °C hava akımlı fırın deneyinde tespit edilirken en fazla artış 1047,82±57,45 g/kg miktarıyla 600 W MW-kontrol grubunda saptanmıştır. Yüksek güçte ani uygulanan ısıt değişimlerin düşük güçte daha yavaş olarak uygulanan kurutma işlemlerine göre HMF oluşumunu artırıcı etkide bulunduğu görülmüştür. İlave US uygulaması ve uygulama süresinin artmasıyla birlikte HMF değerlerinin artış miktarında azalma tespit edilmiştir. Bu bağlamda ultrasesin HMF üzerinde azaltıcı etkisi olduğu anlaşılmıştır. Bu bağlamda kurutma deneyleri kurutma biçimleri göz önüne alınarak ön işlemsiz, 15 dak. ve 30 dak. US ön işlemli olarak kendi içlerinde incelendiklerinde US uygulamasız grupların US uygulamalı gruplara göre benzer olarak 30 dak. US ön işlem uygulamalı grupların 15 dak. US ön işlem uygulamalı gruplara kıyasla HMF oluşumunun artışında daha elverişli koşul anlamını taşımakta olduğu saptanmıştır. Literatüre bakıldığında HMF ve US arasında benzer sonuçlar elde edilmiştir (Önür vd., 2018). HMF'in kaliteye verdiği zararı önlemek adına US uygulamalarının prosese entegre edilmesinde yarar olduğu sonucunu vermektedir.

Elde edilen bulgularda her iki kurutma tipinde de aynı zamanda sıcaklığın artması ile HMF değerlerinde ciddi bir artış olduğu gözlemlenmiştir. Mikrodalga ile yüksek sıcaklıklara çıkılmış olması HMF miktarının ciddi bağlamda artmasına sebep olmuştur. 600W ve 360W arasında HMF

miktarları bakımından çok fark görülmemiş olup en düşük HMF miktarı konveksiyonel hava akımlı kurutma koşullarında görülmüştür.

Yapılan araştırmalara göre sıcaklık artışı ile HMF miktarı doğrusal olarak artmaktadır (Çoklar ve Akbulut, 2010). Literatür araştırması yapıldığında elde edilen veriler, deneysel sonuçları destekler niteliktedir.

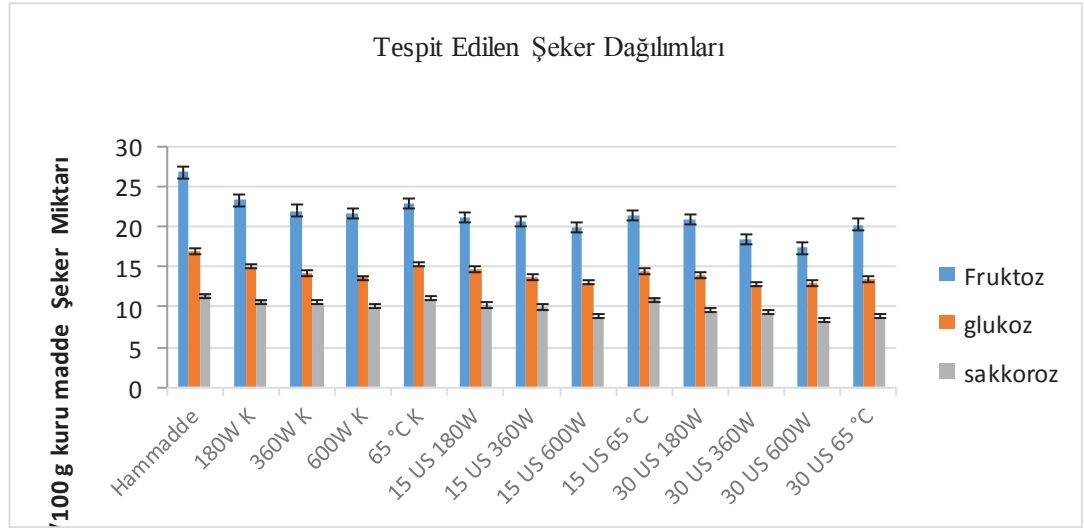
HPLC kromatogram görünümü Şekil 4.27.'de verilmiştir.



Çizelge 4.21. Hammaddede ve kuru örneklerde kuru madde bazında şeker bileşenleri tür ve miktarları

Kurutma Deneyleri	Fruktoz (g/100 g kuru madde)	Glukoz (g/100 g kuru madde)	Sakkaroz (g/100g kuru madde)	Toplam (g/100 g kuru madde)
Hammadde	26,76±0,63	16,94±0,19	11,37±1,07	55,17±0,89
180W MW K	23,28±2,79	15,06±0,29	10,67±1,58	49,01±4,08
360W MW K	22,01±0,62	14,16±0,46	10,57±1,26	46,74±1,10
600W MW K	21,73±1,37	13,60±0,83	10,89±0,36	45,42±0,18
Konveksiyonel Kontrol	22,85±0,94	15,30±0,33	11,90±0,86	49,04±1,14
15 US K	21,39± 0,84	14,42±1,49	10,93±0,34	46,74±2,66
30 US K	20,28±0,28	13,49±0,50	8,84±1,93	42,61±2,15
15 US 180W	21,22±0,52	14,76±1,46	10,23±0,73	46,21±1,67
15 US 360W	20,62±1,39	13,72±0,64	9,97±2,88	44,31±2,13
15 US 600W	19,93±1,59	13,07±1,41	8,77±0,58	41,77±0,40
30 US 180W	20,87±1,39	14,01±0,98	9,57±0,65	44,45±0,25
30 US 360W	18,44±1,46	12,79±1,07	9,32±2,65	40,55±0,12
30 US 600W	17,31±1,46	13,03±1,07	8,31±2,65	38,65±0,12

Elde edilen sonuçlara bakıldığında, yapılan deneylerde hammaddenin kuru maddesi bazında hesaplanan toplam 55,17±0,89 g/100g şeker miktarlarının deney türüne göre farklı oranlarda azalma, artma ya da yaklaşık seyrinde kalma sonuçlarının olduğu görülmüştür. Yapılan analizlerin tümünde baskın şeker olarak fruktoz bileşeninin olduğu belirlenmiştir. US uygulanmış örnekler kontrol gruplarıyla kıyaslandığında, fruktoz miktarında önemli bir değişiklik olmadığı gözlemlenmiştir. En çok fruktoz bileşeni miktarının konveksiyonel fırında kurutulmuş kontrol örneklerinde elde edilmiştir. Elde edilen şeker verilerinin grafik düzeninde gösterimi Şekil 4.28’de verilmiştir.

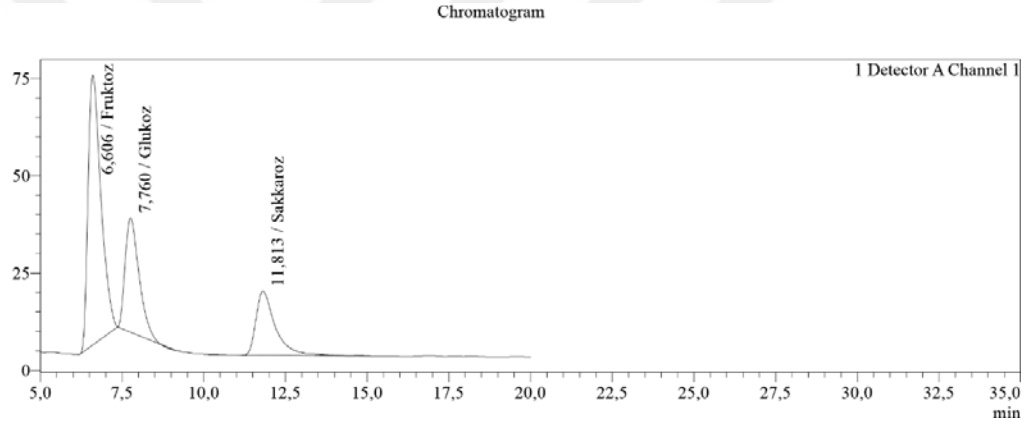


Şekil 4.28. Hammade ve kuru örneklerde şeker bileşenleri (kuru maddede)

Toplam şeker miktarları hava akımlı kurutma fırınında yapılan tüm deneylerde parçalanmaya uğramadan konsantre olarak miktarının arttığı anlaşılmıştır. Ön işlemsiz MW kurutma koşullarında 65,01±4,08 g/100g miktar ile yalnızca 180W MW deneyinde toplam şeker miktarının arttığı diğer ön işlemsiz MW kurutma deneylerinde azalma seyrinde olduğu anlaşılmıştır. 15 ve 30 dak US ön işlem

uygulamalı MW ortamında kurutulan tüm deneylerde 180W MW güç modunda kurutma deneylerinde konveksiyonel kurutma işlemlerinde olduğu gibi toplam şeker miktarlarının arttığı görülmüştür. Toplam şeker miktarında en yüksek değere 49,24±1,14 g/100 g miktarı ile ön işlemsiz konveksiyonel kurutma deneyinde rastlanırken en düşük toplam şeker miktarına 38,65±0,12 g/100 g ile 30 dak. US 600W MW uygulamasında rastlanmıştır. MW kurutma deneylerinin farklı güç modlarında yapılan kurutma işlemlerinin toplam şeker değişimi yönüyle kendi içlerinde kıyaslanması neticesinde aynı güç modu uygulanan kurutma deneylerinin farklı ön işlem uygulanmasına rağmen birbirine çok yakın değerlerde olduğu sonucuna varılmıştır. Bu bağlamda toplam şeker miktarı değişiminin daha uzun süreli kurutma yapılan konveksiyonel ve 180W MW uygulamalarında daha yüksek konsantrasyonlarda şeker ihtiva etmeleri sebebiyle meyve kurutma işlemlerinde toplam şeker içeriğini muhafaza edebilmek adına kısa süreli ani sıcaklık değişimi esasına dayanan kurutma işlemlerinin uygulanmamasının şeker kaybını azalttığı sonucuna varılmıştır.

Şeker analizine ait HPLC kromatogramı Şekil 4.29'da verilmiştir.



(a)

	Aranan Bileşikler	Tespit süresi	Alan	Konsantrasyon	Birim
1	Fruktoz	6,606	1905453	33,855	g/100g
2	Glukoz	7,760	874448	18,796	g/100g
3	Sakkaroz	11,813	687834	11,633	g/100g
	Toplam		3467735		

(b)

Şekil 4.29. Elma dilimlerinin şeker içerikleri ölçümünde kromatogram görünümü (a) kromatogram bilgi kartı (b)

Aynı deney tiplerinde US ön işleminin kontrol (ön işlemsiz), 15 ve 30 dak. US ön işlem uygulamalı varyasyonları kendi içlerinde mukayese edildiğinde artan US ön işlem uygulamasıyla bağlantılı olarak şeker içeriklerinin azalan bir seyir gösterdiği görülmüştür. Bu kapsamda şeker bileşiklerinin suda çözünebilen kuru madde sınıfına giren bileşikler olduğu sonucu bir kez daha doğrulanmıştır. Kurutma işlemlerinin glukoz ve sakkaroz miktarlarının grup içinde tespitlerinde fark yoktur ($p>0,05$) bulunmuştur. Fruktoz değerlerinin ise arasında istatistiksel olarak fark vardır ($p<0,05$)

2007’de yapılan bir çalışmaya göre, glukoz, sukroz ve sorbitol miktarındaki değişimin sonuçlarda önemli bir etkisinin olduğu tespit edilmiştir (Vermeir vd.,2007). Başka bir çalışmada ise HPLC ile çeşitli elmaların şeker bileşenleri incelenmiş ve bu örneklerde sukroz, fruktoz, glukoz ve sorbitol gözlemlenmiştir (Hecke vd., 2006). Yine başka bir çalışmada Starking delicious elma çeşidi kullanılmış ve yapılan çalışmalar sonucu fruktoz, sakkaroz, galaktoz, α -Glikoz, β -Glikoz ve sorbitol şekerleri tesbit edilmiştir (Mordoğan ve Ergun, 2002).

4.2.13. Duyusal analiz

Kurutma sonrası meyveler 8 kişilik panelist grup tarafından duyusal olarak değerlendirilmiştir. Duyusal analiz formu EK A’da verilmiştir. Duyusal analiz testinin sonuçları uygulanan ön işlem tipine göre anlaşılabilirliği ve ön işlemin toplam beğeni üzerindeki etkisinin ortaya konması amacıyla gruplara ayrılarak incelenmiştir. Panelistlerce uygulanan duyusal analiz sonuçları Çizelgeler 4.22., 4.23. ve 4.24.’te gösterilmiştir.

Çizelge 4.22. Kontrol (Ön işlemsiz) elma dilimlerinin duyu analizi sonuçlarının ortalamalarının kıyaslanması (p<0,05)

Kurutma Yöntemi	Renk	Koku	Lezzet	Tekstür	Şekil	Ağız Hissi	Çiğnenebilirlik	Yapışkanlık	Karamelize Tat	Genel Beğeni
Kontrol (Ön İşlemsiz)	65 °C	3,14 ^{a(1)}	3,64 ^a	3,93 ^a	4,21 ^a	3,86 ^a	3,53 ^{bc}	3,14 ^a	2,86 ^{abc}	3,76 ^b
	180W	2,79 ^{ab}	3,57 ^a	3,64 ^{ab}	3,79 ^b	3,71 ^a	3,79 ^c	3,50 ^{ab}	3,07 ^a	3,86 ^b
	360W	2,86 ^{ab}	3,43 ^a	3,36 ^{ab}	3,86 ^b	4,04 ^a	3,21 ^{abc}	3,07 ^a	3,50 ^a	3,29 ^{ab}
	600W	3,4 ^{abc}	3,04 ^a	3,03 ^{abc}	3,51 ^a	3,06 ^a	3,50 ^{bc}	3,07 ^a	4,29 ^{ab}	3,00 ^{ab}

¹⁾: Aynı sütunda aynı harfle gösterilen ortalamalar arasında istatistiksel fark yoktur (p>0,05).

Çizelge 4.23. 15 dak. US Ön işlemlili elma dilimlerinin duyu analizi sonuçlarının ortalamalarının kıyaslanması (p<0,05)

Kurutma Yöntemi	Renk	Koku	Lezzet	Tekstür	Şekil	Ağız Hissi	Çiğnenebilirlik	Yapışkanlık	Karamelize Tat	Genel Beğeni
15 dak. US (Ön İşlemlili)	65 °C	3,67 ^{a(1)}	3,72 ^a	3,83 ^a	4,00 ^a	3,46 ^a	3,53 ^{bc}	2,4 ^a	2,67 ^a	4,07 ^{ab}
	180W	3,69 ^a	3,8 ^a	3,44 ^a	3,79 ^a	3,87 ^a	4,19 ^c	3,02 ^{ab}	3,07 ^a	4,16 ^b
	360W	3,06 ^a	3,43 ^a	3,36 ^a	3,86 ^a	4,14 ^a	3,21 ^{abc}	3,67 ^a	3,6 ^a	3,34 ^{ab}
	600W	3,00 ^a	3,03 ^a	3,43 ^a	3,21 ^a	3,86 ^a	3,50 ^{bc}	3,77 ^a	3,79 ^a	3,2 ^{ab}

¹⁾: Aynı sütunda aynı harfle gösterilen ortalamalar arasında istatistiksel fark yoktur (p>0,05).

Çizelge 4.24. 30 dak. US Ön işlemli elma dilimlerinin duyusal analiz sonuçlarının ortalamalarının kıyaslanması (p<0,05)

Kurutma Yöntemi	Renk	Koku	Lezzet	Tekstür	Şekil	Ağız Hissi	Çiğnenebilirlik	Yapışkanlık	Karamelize Tat	Genel Beğeni
30 dak. US (Ön işlemli)	65 °C Kon	3,26 ^{a(1)}	4,44 ^a	3,93 ^a	4,00 ^a	3,86 ^a	3,50 ^{bc}	2,14 ^a	2,06 ^a	4,00 ^{ab}
	180W	3,46 ^a	4,57 ^a	3,84 ^a	3,79 ^a	3,71 ^a	3,05 ^c	2,50 ^{ab}	2,07 ^a	4,86 ^b
	360W	3,26 ^a	3,43 ^a	2,36 ^a	3,06 ^a	3,14 ^a	3,20 ^{bc}	3,07 ^a	2,50 ^{ab}	4,29 ^{ab}
	600W	3,14 ^a	3,27 ^a	2,72 ^a	2,16 ^a	3,06 ^a	2,80 ^{abc}	3,07 ^a	3,40 ^a	3,90 ^{abc}

¹⁾: Aynı sütunda aynı harfle gösterilen ortalamalar arasında istatistiksel fark yoktur (p>0,05)

65 °C’de konveksiyonel fırın ile mikrodalga ortamında ön işlemsiz olarak, 15 ve 30 dak. US ön işlem uygulanarak dilim halinde kurutulmuş elma meyvelerinde yapılan duyusal analiz sonucunda renk, koku, lezzet, tekstür, şekil, ağız hissi, çiğnenebilirlik, yapışkanlık, karamelize tat ve genel beğeni özellikleri bakımından yapılan duyusal değerlendirmede deneyler arasında istatistiksel olarak önemli bir fark bulunmamıştır ($p>0,05$). Renk bakımından değerlendirildiğinde 65°C’de konveksiyonel fırın ile MW’da kurutulan meyvelerde gruplar arası fark istatistiksel olarak önemli bulunmuş olup 65°C’de konveksiyonel fırında kurutulanlardan en çok beğenilen 15US grubu olmuştur. Mikrodalga grubunda ise en fazla beğeniyi 30 dak. US ön işlem uygulamalı 180W MW en az beğeniyi ise 600W Kontrol (ön işlemsiz) grubu almıştır. Bu sonuçlar renk değişim verileriyle de uyumluluk göstermektedir. Doğal elma rengi görünümünden uzaklaşmış ya da koyulaşmış elma dilimlerinin daha az beğeni bulduğu belirlenmiştir.

65 °C’de ve MW’da kurutulan örneklerin lezzet değerlerinin gruplar arası farkı istatistiksel açıdan önemli bulunmuştur ($p<0,05$). En lezzetli bulunan kurutma uygulaması 30 US 180W bulunurken en az beğeni 15 US 600W MW grubunda rastlanmıştır. Bu sonuç ile lezzet unsurlarının genel beğeni ile korelasyonlu olduğu tespit edilmiştir.

Elle kırma yöntemiyle panelistlerce tekstür muayenesinin yapıldığı analiz neticesinde en yüksek beğeniyi 65 °C Kontrol (ön işlemsiz) ve 30 US ön işlem uygulamalı konveksiyonel kurutma gruplarında elde edilmiştir. Bu bağlamda US uygulamasının tekstür anlamında belirgin bir fark katkısının olmadığı ancak çıtırımsı yapıya katkı sağlamıştır.

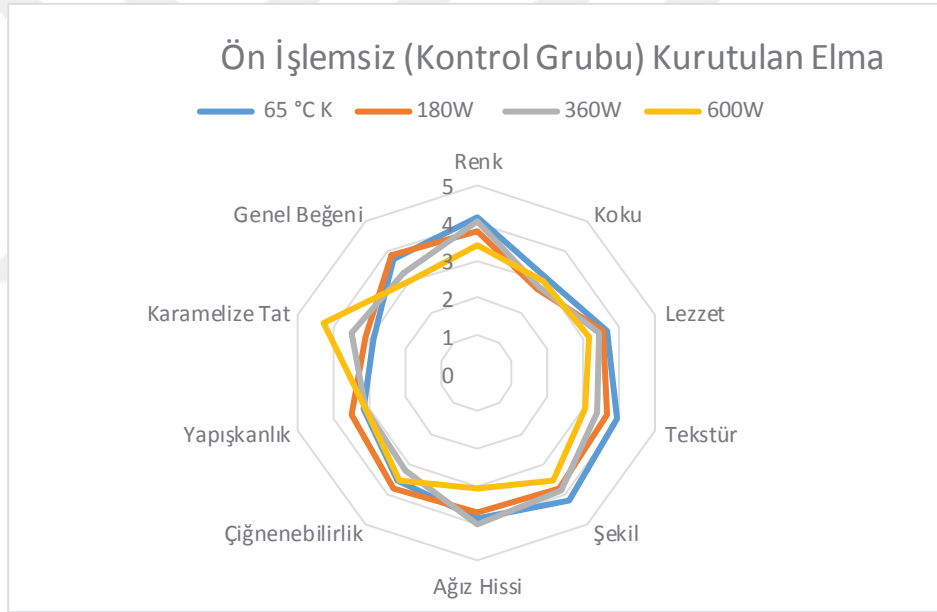
Şekil yönünden yapılan analizde konveksiyonel fırında kurutulan deneylerin belirgin ölçüde beğeni kazandığı diğer MW uygulamaları ile aralarında istatistiki olarak fark bulunduğu hesaplanmıştır. Elde edilen bu verilere göre konveksiyonel ortamda kurutulan deneylerin (ön işlemsiz, 15 dak. US ve 30 dak. US uygulamalı) daha yavaş bir kuruma prosesi olması bakımından kabuksu yapının daha az oluştuğu, elma dilimlerinin daha az kıvrılıp bükülerek kuruduğu buna bağlı olarak doğal dilim yapısının daha iyi korunduğu anlaşılmaktadır. Elde edilen bu verilerin % olarak dilim kalınlığı ve çapı ölçümlerine paralellik gösterdiği görülmüştür.

Elma dilimlerinin sertlik yönüyle ağız hissi değerleri açısından örneklerde gruplar arası istatistiksel fark önemli bulunmamıştır ($p>0,05$). Kurutma işlemlerinin tümünde elma dilimlerinin genel beğeniyeye hitap eder ölçüde kırılğan ve gevrek bir yapı kazandığı belirlenmiştir.

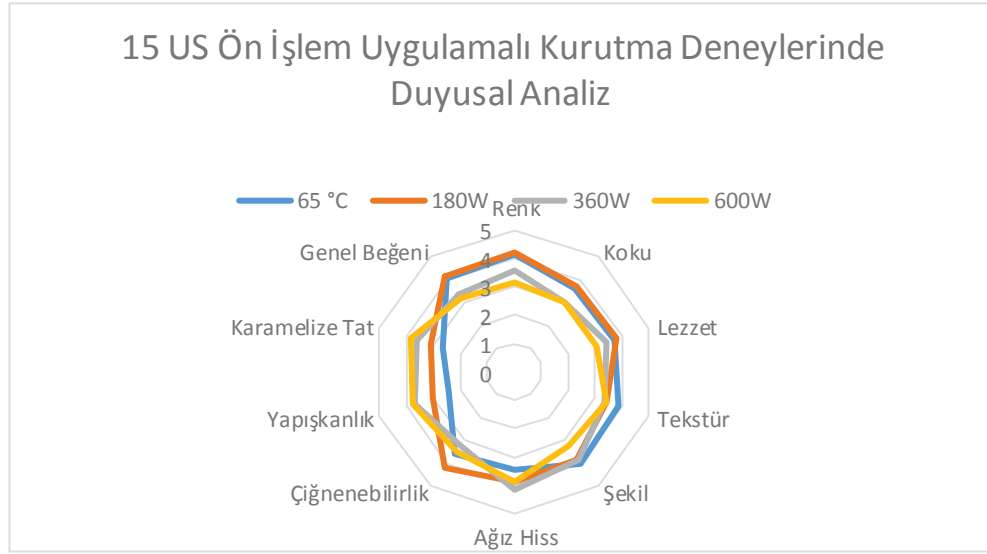
Duyusal olarak çiğnenebilirliğin analiz edilmesi neticesinde uygulamalar arası istatistiksel fark tespit edilmiştir ($p<0,05$). En yüksek beğeniyi 15 dak. US 180W MW grubu alırken en az beğeniyi 30 US 600 W MW grubu almıştır. Deneylerin nem analizleri ve kuru madde miktarları tespitlerinin yapıldığı aşamada 600W MW kurutma uygulamasının ortam nemini geri çekme özelliğinin en yüksek olduğu tespit edilmiştir. Bu bağlamda kurutulmuş olmasına rağmen kolaylıkla ortam nemliliği artan 600W MW grubunun çiğnenebilirlik yapısının da bu neticeye bağlı olarak olumsuzlaştığı ve duyusal

analiz sonucunda en az beğeni aldığını düşünülmektedir. Benzer şekilde yapışkanlık analizleri neticesinde yavaş kurutulan ve düşük nem seviyesini daha kolay sabitleyen konveksiyonel tip kurutulmuş elma dilimlerinde yapışkanlık analiz edilmezken MW uygulamalarında daha fazla olarak görülmektedir.

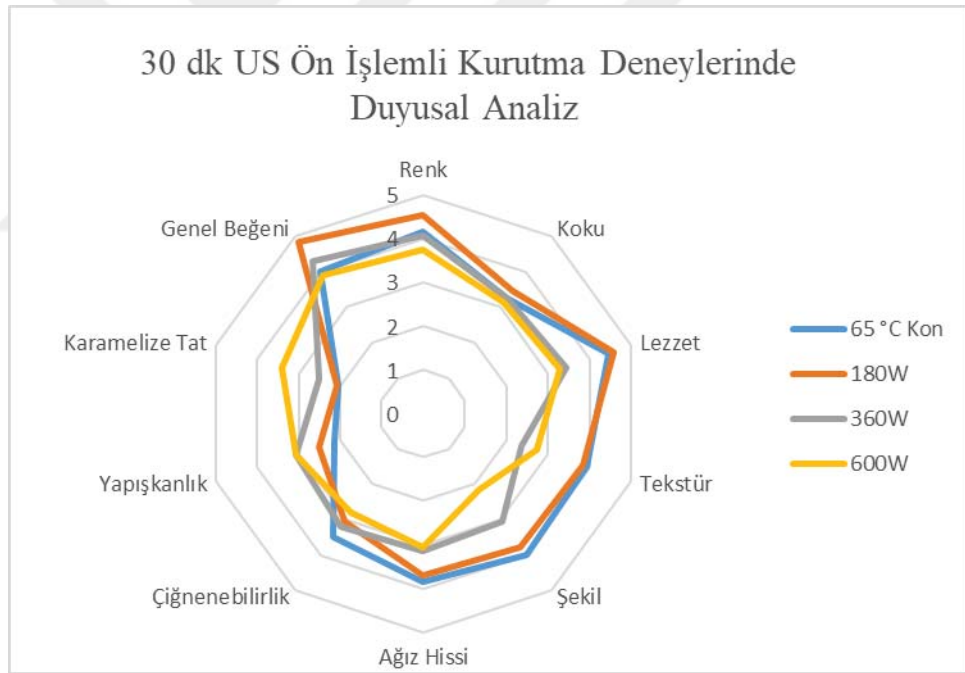
Karamelize tat duyusal analizinde en fazla karamelizelik 600W kontrol (ön işlemsiz) MW grubunda tespit edilmiştir. Uygulamalar arası istatistiksel fark tespit edilmiştir ($p<0,05$). Kurutma esnasında kurutulan yüzeylerdeki kuruma ile beraber oluşan esmerleşme ve oluşan HMF miktarı arasında korelasyon olduğu, kurutmaya bağlı olarak artan HMF değerinin MW uygulamalarında konveksiyonel fırın uygulamalarına göre 20 misline kadar artış gösterdiği tespit edilmiştir. Bu bağlamda HMF miktarı ile duyusal olarak hissedilen karamelize tadın bağlantılı olduğu düşünülmektedir. Yapılan duyusal değerlendirmelerin deneylerin ön işlem uygulamaları göz önüne alınarak farklı kurutma deneyleri başlıkları altında ve sonuç olarak tüm deneylerin bir arada incelenmesiyle oluşturulan grafikleri Şekil 4.30., 4.31., 4.32. ve 4.33.'de verilmiştir.



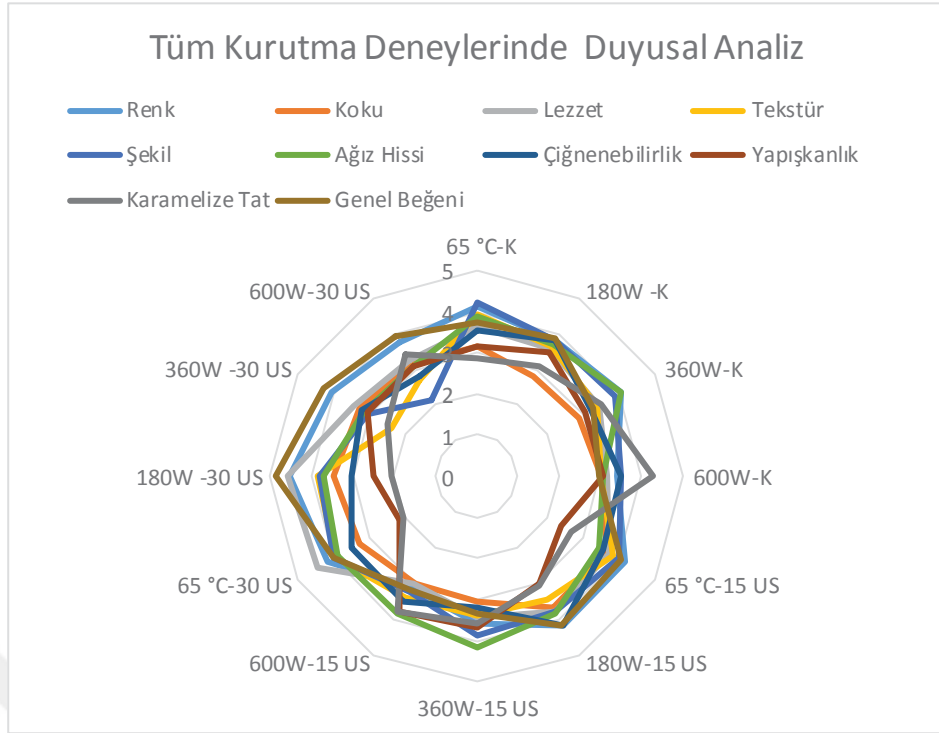
Şekil 4.30. Kontrol grubu elma dilimlerinin (ön işlemsiz) duyusal değerlendirme grafiği



Şekil 4.31. 15 dak. US ön işlemleri ile kurutulan elma dilimlerinin duyusal değerlendirme grafiği



Şekil 4.32. 30 dak. US ön işlemleri ile kurutulan elma dilimlerinin duyusal değerlendirme grafiği



Şekil 4.33. Tüm prosesler için elma dilimlerinin duyusal değerlendirme grafiği

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Hammade üzerinde yapılan fiziki ölçümleri $66\pm0,02$ mm boy, $74\pm0,17$ mm en $173\pm0,04$ g ağırlık, $2,8\pm1,05$ mm sap kalınlığı, $14\pm1,23$ mm sap uzunluğu, % 16 suda çözünür kuru madde değerleri olarak ölçülmüştür. Çeşidin kendine has özelliklerinin literatürle uyumluluk içinde olduğu görülmüştür.

Hammadde de analizler uygulanmadan ve kurutma deneylerine başlanmadan önce işlemeye uygunluğunun ortaya konabilmesi açısından olgunluk parametreleri ölçülmüştür. Buna göre pH $4,35\pm0,15$ ° briks (suda çözünür kuru madde) $15,69\pm0,65$ kuru madde ve % $21,38\pm0,24$ su aktivitesi $0,96\pm0,32$ olarak bulunmuştur. Yapılan deneylerde gruplar arası fark yoktur ($p>0,05$).

Kurutma deneyleri elma (*Starking delicious*), meyveleri 65°C 'de (1,5 m/s) hava hızın ile %12 bağıl nemli konveksiyonel fırın koşullarında ve mikrodalgada üç farklı güç modu uygulamasında (180W-360W-600W) kurutulmuştur. Deneylere üç farklı ön işlem koşulu oluşturulmuştur. Kontrol grubu ön işlemsiz olarak kurutulmuştur. Ön işlem olarak tüm deney tiplerine 40 kHz frekansta 15 ve 30 dak. sürelerde US ön işlemi uygulanmış değişen parametrelerin elma dilimlerinin kuruma süresi, kuruma davranışı ve temel kalite özellikleri üzerine etkileri incelenmiştir. Konveksiyonel tip hava akımlı kurutma fırınında ultrases ön işlemsiz kontrol grubu elma dilimlerinin kurutulma süresi 180 dak. sürerken ultrases ön işlemlili elma dilimlerinde bu sürenin 120 dak. sürdüğü, kurutma sürecinde % 33,3'lük bir süre kısalması olduğu görülmüştür. Mikrodalgada kurutma deneylerinde ise 180W MW uygulamasında ortalama % 7'lik; 360W MW uygulamasında % 10'luk kurutma süresinde azalma hesaplanırken 600W MW uygulaması neticesinde önemli düzeyde azalma görülmemiştir.

Uygulanan kurutma deneylerinde kurutma parametreleri ile kuruma davranışları incelenmek üzere serbest nem-zaman, kuruma hızı-serbest nem ile kuruma hızı-zaman parametrelerinde verilerle korelasyon oluşturularak incelenmiştir.

Yapılan deneyler sonucunda elde edilen grafiklerde tüm kurutma deneylerinde serbest nem miktarı üzerinde benzer etkileri olduğu gözlemlenmiştir. Konveksiyonel hava akımlı fırında her üç denemede de serbest nem miktarı zamana bağlı olarak azalmaktadır. Ultrases işleminin uygulanması sonucunda kontrol denemesinden farklı olarak diğer hava akımlı kurutma deneylerinde kuruma süresinin yaklaşık 60 dak. daha kısa olduğu görülmektedir. 15 ve 30 dakika ultrases ön işlem uygulamalı konveksiyonel kurutma deneyleri ile ve 180W MW kurutma deneylerinin kuruma davranışlarının çok benzer davranışlar sergilediği ve birbirleri yerine tercih edilebilecekleri görülmüştür. Konveksiyonel hava akımlı kurutma işleminde yapılan tüm deneylerde en yüksek kuruma hızının en yüksek serbest nem değerlerinde gerçekleştiği görülmüştür. Aynı kurutma çeşidinde farklı sürelerde uygulanan ultrases ön işleminin kuruma eğrilerinde fark edilir değişiklikler yaratmadığı, benzer sonuçlar verdiği görülmüştür. Bu bakımdan konveksiyonel -hava akımlı- kurutma deneylerinde US ön işlem uygulamasının serbest nemin zamanla değişimi bakımından belirgin bir etkisinin olmadığı

değerlendirilmektedir. MW kurutma deneylerinden 180W ile 360W kurutma deneyleri serbest nem-zaman yönünden ele alınmıştır. Deneylerin aynı güç modlarında benzer davranışları gösterdiği hesaplanmıştır. 600W MW ortamında kurutulan farklı ön işlemlili tüm deneylerde kendi aralarında oluşturulabilecek korelasyonlu görünüm kısa sürede ani ve yüksek Watt gücü uygulaması sebebiyle serbest nem verilerinin yanıltıcı sonuç doğurması bakımından değerlendirmeye alınmamıştır.

Kuruma hızının serbest nem miktarı ile olan ilişkileri kuruma deneylerinin kurutma uygulama yöntemleri ve kurutma güç seviyelerini kendi içinde değerlendirilmek üzere grafike edilmiştir. Ayrıca yapılan US ön işlemlerinin kurutma deneyleri kendi içlerinde gruplara ayrılarak incelenmiştir. Bu verilere göre konveksiyonel kurutma deneyleri ile 180W MW kontrol grubu denemelerinin çok benzer ve stabil kuruma davranışlarını gösterdiği görülmüştür. US uygulamalarının kuruma hızı üzerinde artırıcı etkisi ile yapının neminin daha kolay uzaklaştırıldığı sonucuna varılmıştır.

Kuruma hızının zamana bağlı olarak gösterdiği davranışlarının incelendiği grafiklerde konveksiyonel hava akımıyla yapılan kurutma işlemlerinde deneylerde kuruma periyodu sabit ve azalan hızda, MW'da kurutulanlarda ise artan, sabit ve azalan hızda kuruma periyodu şeklinde gözlenmiştir. Yapılan kurutma deneylerinde elma dilimlerinin belirli bir nem düzeyine eriştikten sonra (kritik nem) kurumalarının süre geçtikçe güçleştiği ve kuruma süresinin arttığı tespit edilmiştir. US ön işlem uygulamasının konveksiyonel tip kurutma deneylerinde davranış stabilitesini etkilemediği MW kurutma deneylerinde ise açılan gözenekli yapının kuruma kararsızlığını artırdığı gözlemlenmiştir. Yapılan kurutma işlemlerinde mikrodalga fırın koşullarında yapılan uygulamalarla konveksiyonel tip kurutma yapılan deneylerdeki kuruma eğrilerinde ortak bir lineer yapının oluşmadığı değerlendirilirken genel olarak MW kontrol grubu kurutma işlemlerinde kuruma sırasında daha az dalgalanma eğrilerinin oluştuğu görülmektedir.

Yapılan hesaplamalar sonucunda en yüksek etkin difüzyon katsayısı değerleri 600W mikrodalga kurutma deneylerinde sırasıyla kontrol, 15 ve 30 dak. US ön işlemlili uygulamalarında görülmüştür. Bu değerler sırasıyla $(4,90; 4,37 \text{ ve } 3,39) \times 10^{-7}$ olarak bulunmuştur. En düşük etkin difüzyon katsayısı değerleri ise konveksiyonel tip kurutma deneylerinde ön işlem uygulamalarına göre kıyaslandığında 15 US, kontrol ve 30 US ön işlem uygulamalı gruplarda gerçekleştiği görülmüştür. Bu değerler sırasıyla $(8,76; 8,84 \text{ ve } 9,14) \times 10^{-8}$ olarak bulunmuştur. Yapılan tüm kurutma deneylerinin hesaplanan D_{eff} değerlerinin $4,90 \times 10^{-7} \pm 1,77 \times 10^{-7}$ ile $9,14 \times 10^{-8} \pm 5,31 \times 10^{-9}$ arasında değiştiği belirlenmiştir. Kurutma işlemlerinde kuruma süresi ile etkin difüzyon katsayısı değerlerinin ters orantılı olduğu sonucuna ulaşılmıştır. US ön işlem uygulamalarının kurutma deneylerinde kuruma süresini kısaltıcı yönde etki ettiği göz önüne alındığında etkin difüzyon katsayılarını arttırıcı yönde etkisinin olduğu sonucuna varılmaktadır. Aynı kurutma yöntemleri içinde etkin difüzyon katsayısının US ön işlem uygulananlarda artış içinde olmadığı görülmesi bakımından etkin difüzyon katsayısını belirleyen ana unsurun kurutma parametrelerinden MW kurutmada uygulanan Watt enerjisi, hava akımlı kurutma sistemlerinde ise sıcaklık, hava hızı ve ortam nem değerleri ile alakalı olduğu değerlendirilmektedir. Deneylerde gruplar arası fark istatistik olarak önemlidir ($p < 0,05$).

Kurutma sonrası meyvelerin a_w değerleri 65 °C’de konveksiyonel tip kurutucuda kontrol, 15 US ve 30 US ön işlemlili deneylerde sırasıyla; $0,24 \pm 0,04$ $0,32 \pm 0,01$ ve $0,36 \pm 0,04$ olarak bulunmuştur. MW (180W, 360W, 600W) kontrol grubunda sırasıyla $0,25 \pm 0,02$ $0,21 \pm 0,05$ ve $0,44 \pm 0,03$ olarak bulunmuştur. 15 US önışlemlili MW (180W, 360W, 600W) ve 30US önışlemlili MW (180W, 360W, 600W) kurutma grupları için ortalama değerler olarak sırasıyla $0,36 \pm 0,01$ $0,41 \pm 0,05$ ve $0,46 \pm 0,03$ olarak 30 dak. ön işlemlili deneylerde ise $0,27 \pm 0,07$ $0,36 \pm 0,01$ ve $0,41 \pm 0,01$ olarak bulunmuştur. Deneylerde gruplar arası fark istatistik olarak önemlidir ($p < 0,05$).

Kurutma deneylerinde kuruma sonrası toplam kuru madde miktarlarının tümünde azalma olduğu ölçülmüştür. Başlangıçta % $21,38 \pm 0,24$ olan hammadde kuru madde oranından (rutubet) en düşük % $2,40 \pm 0,66$ değerinin MW 360W-kontrol deneyinde en yüksek olarak % $5,91 \pm 1,39$ ortalama değerini 15 US 600W MW kurutma deneyleri neticesinde bulunmuştur. Kurutma deneylerinde konveksiyonel fırın ortamında yapılan kurutma deneylerinin % toplam nem miktarı stabilitesinde farklı zamanlarda yapılan ölçüm sonuçlarının aynı çıkmasıyla ortaya konabilirken MW ortamında yüksek güç modlarında (600W) yapılan kurutma uygulamalarının sonucunda ürünün son ağırlık ölçümlerinde çok azda olsa değişimler görüldüğü ortam nemini hızla absorbladığı ve arzu edilen stabiliteyi koruyamadığı görülmüştür. Sanayiye dönük kurutma uygulamalarında ve ambalajlanarak satışa sunulan ürünlerde ürünün ambalaja girmeden ve depolama sonunda birbirine yakın nem değerlerinin görülmesi depolanmaya elverişliliğin ve kalitenin korunabilmesinin önemli koşulları olduğu bilinmektedir. Bu bakımdan yüksek Watt güçlerinde hızlı kurutma işlemi uygulamalarının ürünün ilk nem değeri göz önüne alınarak kurutma sisteminin entegre edilmesi gerektiği sonucuna varılmıştır. Deneylerde gruplar arası fark istatistik olarak önemlidir ($p < 0,05$).

Yapılan matematiksel modelleme çalışmasında 65 °C’de konveksiyonel fırında farklı ön işlem uygulanmış tüm kurutma deneyleri ile 360W-kontrol MW kurutma ortamında kurutulan elma dilimi deneylerinin kuruma modeli Page-Modifiye Page modelleri ile uyumlu olduğu görülmüştür. MW ortamında yapılan diğer tüm deneylerin kuruma modellerinin Midilli kuruma modeli içinde en yeterli tanımlanabildikleri ortaya konmuştur.

Hunter L, a, b tayini sadece dilim yüzeylerinde yapılmıştır. L, a, b değerlerindeki değişim gruplar arasında farklılık göstermiştir. Koyulaşma faktörü L’nin tüm deneylerde azalma; kızıllaşma faktörü a’nın artma ve yeşilimsi-mavileşme faktörü olan b’nin ise artma seyri gösterdiği ölçülmüştür. L, a ve b değerlerinden yararlanılarak hesaplanan diğer kurumaya bağlı renk parametrelerinden esmerleşme indeksi, croma renkte doygunluk faktörü, hue rengin temel yapısı olması ve ΔE toplam renk değişimi değeri olmaları sebebiyle hesaplanmıştır. Kurutma deneylerinin renk değişimleri kuruma süresince esmerleşme indeksi ve chroma değerleri kuruma süresince arttığı; ΔE ve hue parametrelerinin azaldığı ölçülmüştür. ΔE ve esmerleşme indeksinde ($p < 0,05$), chroma ve hue değerlerinde ($p > 0,05$) olarak bulunmuştur.

Kurutma deneylerinin uygun kurutma yöntemleri seçilerek meyve hammaddesinin uygun fiziksel formda kurutmaya tabii tutulmuş olduğunun bir diğer göstergesi büzüşme testleridir. Kurutulduktan sonra kurutulan dilimlerin çapı ve bütünselliği standartlarda belirtilen sınıf aralıklarına alınmalarını sağlamaktadır. Bu anlamda yapılan kurutma deneylerinde ilk-son kalınlık değerlerinde korelasyon ($p>0,05$) hesaplanmazken çap değerlerinin kurutma öncesive sonrası ölçülen değerlerinde gruplar arası fark istatistik olarak önemli bulunmuştur ($p<0,05$). Çap ve kalınlık değerleri ile birlikte hesaplanan toplam hacim değerlerinde büzülme sonuçlarındaki farklılıklar istatistiki olarak önemli bulunmuştur ($p<0,05$).

Hacimdeki değişimler doğrudan büzülme ile bağlantılı olduğundan büzülme hacim üzerinden belirlenebilmektedir. Hesaplamalar doğrultusunda en fazla büzülme 30 dak. ultrases ön işlemlili 600W mikrodalgada kurutulmuş elmalarda elde edilirken, en az büzülme ise 360W mikrodalgada kurutulmuş elmalarda hesaplandığı (kontrol) görülmüştür. Konveksiyonel fırında yapılan tüm kurutma deneyleri ile ön işlemsiz olarak MW ortamında yapılan işlemlerin 15 ve 30 dak. US uygulanmış MW ortamında kurutulan deneylerden daha az büzüşme göstererek kurutma hedef ağırlıklarına eriştikleri görülmüştür. Bu durumun US ön işlemi uygulanırken elma dilimlerinin nem içeriklerinin değişmesi aynı zamanda gözenek evlerinin açılması ve üründen ultrasonik su banyosuna suda çözünür madde geçişleri sebebiyle oluştuğu düşünülmektedir.

Kuruma süresi sonunda elma meyvesinin organik asitçe zengin içeriği kurutma deneylerinin bu içeriği nasıl değiştirdiği yönüyle ele alınmıştır. Kurutulan elma meyveleri elma hammaddesinin muhtevasında en çok bulunduğu literatür bilgilerinde sabitlenen malik, sitrik, tartarik ve okzalik asit organik asit türleri yönünden araştırılmıştır. Başlangıçta elma hammaddesinde g/kg olarak $1,43\pm0,47$ okzalik asit, $14,33\pm0,69$ tartarik asit, $33,86\pm0,63$ sitrik asit, ve $86,82\pm10,90$ malik asit miktarları hesaplanmıştır. Organik asitlerin başta ısı olmak üzere, ışık, metal iyonları gibi birçok dış etmene hassas oldukları bilgisi literatürde yer almaktadır. Bu bağlamda kurutma deneylerinin hepsinde malik, sitrik ve tartarik asit miktarlarında azalma hesaplanırken çok iz miktarda bulunan okzalik asitin ısı neticesinde mevcut nem koşullarında kısmi fermentasyona uğradığı veya yapıda bulunabilen diğer asitleri taklit edebildiği göz önüne alınarak miktarında değişken bir tablo ile karşılaşılmıştır.

Başlangıçta hesaplanan hammaddede bulunan sitrik asit miktarı $33,86\pm0,63$ g/kg olarak bulunduğu ve en fazla azalan deneylerin konveksiyonel kurutma koşullarında kurutulan deneyler olduğu, kuru madde bazında bulunan miktarın %77-95 arasında azalma gösterdiği tespit edilmiştir. Malik asit miktarının ise %67-77 arasında azalma gösterdiği en çok azalmanın mikrodalga sistemlerinde kurutulan deneylerde olduğu görülmüştür. Başlangıçta bulunan $14,32$ g/kg olan tartarik asit miktarında %72-81 arasında kayıp meydana geldiği anlaşılmıştır. Bu bağlamda aynı koşullarda ısı işlem uygulamasının yanı sıra US ön işlem uygulamasının meyve içindeki organik asitlerin suda çözünen kuru madde sınıfından olması sebebiyle bir miktarının uygulama suyuna geçtiği sonucunu göstermiştir. Yapılan deneylerin diğer organik asit miktarlarının incelenmesi halinde ısı işlem uygulaması ile genel olarak düşme seyri gösterdikleri ilaveten US ön işlem uygulamasının kayıp

miktarlarını arttırıcı yönde etki ettiği görülmüştür. Okzalik asit miktarı kurutma işlemi neticesinde artma, eşit kalma ve azalma şeklinde tespit edilmiştir. Bu duruma göre en çok azalma % 42 oranla 15US 360W ile 30US 600W deneylerinde en fazla artış ise % 7 oranla 15 US 65 °C gruplarında hesaplanmıştır. Tüm organik asit değerleri için yapılan istatistiki çalışmanın gruplar arası farkın anlamlı olmadığı bulunmuştur ($p>0,05$).

Rehidrasyon yeteneği (geri su alma kapasitesi) kurutulmuş gıda maddelerinin sabit sıcaklık ve neme sahip ortamda bekletildiğinde kurutma işlemleri öncesine dönme düzeyi olarak literatürde tanımlanması bakımından yapılan kurutma işlemlerinin yapıdan ne kadar suyu uzaklaştırabildiğinin göstergesi sayılmaktadır. Rehidrasyon kapasitesi 65 °C’de ve mikrodalgada kurutulan örneklerde en fazla 30 US grubunda, en az ise kontrol grubunda meydana gelmiştir. 65 °C kontrol grubunun % rehidrasyon kapasitesi kontrol MW grubuna göre daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Uygulamalar arası fark istatistiksel olarak önemli bulunmuştur ($p<0,05$). MW deneyleri, kuruma süresini kısaltmasına rağmen ürünün rehidrasyon kapasitesini azaltmıştır. US ön işleminin kurutma sırasında kontrol grubuna göre ürünlerde daha fazla büzölmeye sebep olurken, kurutma sonrası ürünlerin kontrol grubuna göre rehidrasyon kapasitesinde artış sağladığı tespit edilmiştir. En yüksek rehidrasyon kapasitesi MW ortamında yapılan kurutmada % 391,3 oranıyla 30US 600W grubunda en düşük kapasiteye ise % 210 oranıyla 15 US 360W grubunda rastlanmıştır.

Starking delicious cinsi elmada kurutma işlemleri sonrasında hammadde iken en fazla miktarda bulunan fenolik maddelerden klorojenik asit ile kafeik asit miktarlarına bakılmıştır. Yapılan tüm deneylerde ham meyveye kıyasla klorojenik asit miktarında % 80-88; kafeik asit miktarında ise % 90-92 oranlarında azalma hesaplanmıştır. Ultrases uygulanması ve uygulanmaması arasında fenolik madde miktarı bakımından oldukça küçük farklar olduğu görülmüştür. En yüksek fenolik bileşen miktarları konveksiyonel kurutmada görülürken en düşük miktarlar ise 600W mikrodalga kurutmalarında görülmüştür. Literatür araştırmalarına bakıldığında bu durum fenolik bileşenlerin ısıya ve oksidasyona karşı hassas maddeler olduğu ve yüksek sıcaklıklarda kayıplarının yaşandığı şekliyle açıklanabilmektedir.

Mikrodalga sistemlerinde yapılan kurutma deneylerinde üründe daha fazla büzölme meydana gelmiştir. Mikrodalga kurutmanın vakumla kombineli kullanılmasıyla üründe daha az büzölme meydana getireceği düşünölmekle birlikte uzaklaştırılan nemin kondanase olarak tekrar fırın cidarlarında toplanması kurutmayı güçleştirip kuruma süresini arttırdığı ölçölmüştür. Kurutma süresinin artmasının kuruma maliyetlerine olumsuz yansımalar yapması kaçınılmaz olmakla birlikte üründe oluşabilecek HMF miktarını arttırdığı da görölmüştür. HMF’nin kaliteye verdiği zararı önlemek adına ultrases banyo ön işlem uygulamasının faydalı olacağı tespit edilmiştir. Elde edilen bulgularda aynı zamanda sıcaklığın artması ile HMF değerlerinde ciddi bir artış olduğu gözlemlenmiştir. Hammadde de $4,10\pm0,37$ mg/kg olarak ölçölen HMF miktarı kurutma deneyleri içersinde en çok $1047,82\pm57,45$ mg/kg olarak 600W MW kontrol kurutma deneyi neticesinde hesaplanmıştır. Hesaplanan HMF miktarları mg/kg olarak 65 °C’de kontrol, 15 US ve 30 US ön

işlemli deneylerde; MW (180W, 360W, 600W) kontrol, 15 US ön işlemli MW (180W, 360W, 600W) ve 30 US ön işlemli MW (180W, 360W, 600W) kurutma grupları için ortalama değerler olarak sırasıyla; 18,52-6,27-5,40-312,69-1087,77-1047,81-279,04-1059,67-920,57-189,53-783,21-768,87 mg/kg olarak bulunmuştur. Mikrodalga ile yüksek sıcaklıklara çıkılmış olması HMF miktarının ciddi bağlamda artmasına sebep olmuştur. 600W ve 360W MW kurutma deneyleri arasında HMF miktarı bakımından çok fark görülmemiş olup en düşük HMF miktarı konveksiyonel kurutmada görülmüştür. Konveksiyonel fırın uygulamalarında ise US ön işleminin, ön işlemsiz kurutmaya kıyasla HMF oluşumunun önüne geçme anlamında 4-5 misli faydalı sonuç verdiği hesaplanmıştır. Benzer şekilde diğer kurutma yöntemlerinin kendi içinde değerlendirilmesi sonucunda US uygulama süresi arttıkça oluşan HMF miktarının azaldığı görülmüştür.

Çalışma sonunda elde edilen bulgular kurutma öncesi uygulanan US ön işleminin ürünün kuruma hızını artırarak kuruma süresini kısalttığını, ürünün organik asit miktarında daha az kayba neden olduğunu, renk ve rehidrasyon kapasitesini pozitif yönde etkilediğini göstermiştir. Ayrıca MW 180W uygulamasının konveksiyonel fırın uygulamalarındaki kuruma davranışlarına çok benzerlik gösterdiği ve diğerlerinin yerine kurutma süresi anlamında tercih edilebileceği anlaşılmıştır. US ön işlemi ve MW uygulaması, ürünün kuruma süresini kısaltarak işletmeler için maliyeti düşürmesi, enerji tasarrufu sağlatması ve ekonomiye katma değer sağlaması nedeniyle olumlu etkiler meydana getirmesi açısından önemlidir. Deneysel veriler incelendiğinde farklı sürelerde ultases ön işlem uygulamasının ise fenolik madde miktarı üzerine ciddi bir etki yaratmadığı görülmüştür. Bu çalışmayla kurutma öncesi US ön işleminin kurutma işlemine kuruma süresi, renk, rehidrasyon kapasitesi ve hmf miktarı oluşumunu azaltması gibi özellikler yönünden pozitif etkisinin olduğu görülmüştür. Diğer yandan ön işlemin suda çözünen kuru maddenin uygulama suyuna geçmesi sebebiyle meyvelerde kuru madde kaybı, organik asitler, fenolik maddeler ile şeker içeriğinin uygulamanın bu yönünden azalarak etkilendikleri anlaşılmıştır.

Ham madde ile kurutma deneylerinde kuru maddesinde üzerinden früktoz, sakkaroz, glikoz ve toplam şeker değerleri ölçülmüştür. Elde edilen sonuçlara bakıldığında, yapılan deneylerde hammaddenin kuru maddesi bazında hesaplanan toplam $55,07 \pm 0,89$ g/100g şeker miktarlarının deney türüne göre farklı oranlarda azalma ve yaklaşık seyirde kalma sonuçlarının olduğu görülmüştür. Uygulanan analizlerin tümünde baskın şeker olarak fruktoz bileşeninin olduğu belirlenmiştir. Toplam şeker miktarında en yüksek değere $49,24 \pm 1,14$ g/100g miktarı ile ön işlemsiz konveksiyonel kurutma deneyinde rastlanırken, en düşük toplam şeker miktarına $38,65 \pm 0,12$ g/100g ile 30 dak. US 600W MW uygulamasında rastlanmıştır. Ultrases uygulanmış örnekler kontrollerle kıyaslandığında tüm şeker bileşenlerinde azalma meydana geldiği gözlemlenmiştir. En çok fruktoz bileşeni miktarının konveksiyonel fırında kurutulmuş kontrol örneklerinde elde edilmiştir. İstatistiksel olarak incelendiğinde ise glukoz ve sakkaroz miktarındaki değişimlerin sonuçların üzerinde önemli bir etkisinin olmadığı bulunmuştur. Fruktoz sonuçları arasında korolasyon farkı belirlenmiştir ($p > 0.05$). Şeker bileşeninin suda çözünen kuru madde sınıfına girmesi sebebiyle uygulanan US ön işlemi ile US suyuna bir miktarının geçerek uygulama suyunun briks değerini arttırdığı sonucuna çıkmıştır.

İlaveten ani ve yüksek sıcaklık uygulamalarının daha düşük sıcaklık uygulamalarına nazaran daha az şeker bileşenlerinin parçalanmasına sebep olduğu tespit edilmiştir.

Renk, koku, lezzet, tekstür, şekil, sertlik, çiğnenebilirlik, yapışkanlık, karamelize tat, genel beğeni parametreleri ile yapılan duyu analizi sonuçlarına göre 65 °C’de kurutulan örneklerde 30 US grubu ve mikrodalgada ise 15 US 180W grubu en fazla beğeniyi almıştır.

Sonuç olarak; gerek taze gerekse kurutulmuş elmanın beslenmemizde önemli yerinin olduğu, içerdiği fenolik maddeler, organik asitler ile yüksek antioksidan kapasitesine sahip olduğu bu bağlamda serbest radikal hasarlarına karşı vücudun savunma mekanizmasını güçlendirdiği literatür bilgilerinde incelenmiştir. İyi bir lif kaynağı olmakla birlikte sindirim enzimlerini çalıştırıcı etki oluşturmaktadır. Çeşitli dejeneratif hastalıkların engellenmesinde fonksiyonel özelliğe sahip bir gıda olduğu yapılan araştırmalarca sabitlenmiştir. Elma gibi gıda endüstrisine farklı kullanım amaçlarıyla çeşitlilik getiren meyvenin kurutma yöntemlerinin farklı elma çeşitleri üzerinde farklı etkilerle değişkenlik göstermesi sebebiyle bundan sonraki kurutma uygulamalarında çeşide göre uygun kurutma yönteminin seçiminde alternatif oluşturabileceği düşünülmektedir. Mikrodalga sistemlerinin kurutma yönteminde uygun ekipmanla entegre edilerek geliştirilmesi deneysel hataların önüne geçilmesi adına tercih sebebi olabilecektir. Gıda muhafazasında ısı uygulamalarının mikroorganizmaları ve enzimleri inaktive etmesi sebebiyle çok genel bir kullanım alanı olduğu bilinmektedir. Ancak bu teknolojilerin gıdanın hassas yapısına özgü modelde seçilememesi durumunda gıdaların fiziksel ve kimyasal yapılarında değişimlere, organoleptik özelliklerinin ve doğal bileşimlerinin bozulmasına neden olmaktadır. Bu nedenlerle gıda endüstrisi sürekli olarak gıda bileşenlerine daha az zarar veren, çevre dostu, düşük maliyetli yeni muhafaza yöntemleri aramaktadır. Bu amaçla gıdaların muhafazasında ısısal olmayan teknolojiler üzerinde çeşitli araştırmalar yapılmaktadır. Ultrases (sonikasyon) teknolojisi de bu araştırmalar içerisinde gıdaların muhafazasında ve teknolojik işlemlerinde uygulanan ön veya ana işlem yöntemlerinden bir tanesidir.

Araştırma neticesinde elde edilen bulgular doğrultusunda yeni ve etkin akademik çalışmalar yapılması tarımı Türkiye’de sıklıkla yapılan elma gibi meyvelerle üretilecek yeni ve katma değeri yüksek endüstriyel ürünlerin, iç ve dış pazarlara sunulmasıyla birlikte ülkemizin bu alandaki rekabet gücünün daha da artırılabilmesi ve sektör hedeflerinin tutturulabilmesi adına önemli katkılar sağlaması söz konusudur.

KAYNAKLAR

- Agric J. Food Chem. 2009, 48, 2853-2857 (2009).
- Akdaş, S., Başlar, M. 2014. Dehydration and Degradation Kinetics of Bioactive Compounds for Mandarin Slices under Vacuum and Oven Drying Conditions. Journal of Food Processing and Preservation, doi:10.1111/jfpp.12324, 1-10.
- Akpınar EK, Midilli A, Bicer Y (2003). "Single layer drying behaviour of potato slices in a convective cyclone dryer and mathematical modeling.", Energy Conversion and Management, 44 (10):1689–1705.
- Akyıldız, A., Öcal, N.D., 2006. Effects of dehydration temperatures on colour and polyphenoloxidase activity of Amasya and Golden Delicious apple cultivars. Journal of the Science of Food and Agriculture, 86(14), 2363-2368s.
- Algan Cavuldak, Ö., Vural, N., Anlı, R. E. (2016). Ultrasound Assisted Extraction of Plant-Derived Phenolic Compounds. Gıdada Fenolik Bileşimler, Journal of Food, (February). <https://doi.org/10.15237/gida.GD15059>.
- Alibaş, İ., 2012 Asma Yaprığının (*Vitis Vinifera* L.) Mikrodalga Enerjisiyle Kurutulması ve Bazı Kalite Parametrelerinin Belirlenmesi, Tarım Bilimleri Dergisi Journal Of Agricultural Sciences 18 (2012) 43- 53s.
- Altuğ T., Elmacı Y. 2005. Gıdalarda Duyusal Değerlendirme. Meta Basım, 130s, İzmir.
- Andres, A., Bilbao, C. ve Fito, P. 2004, "Drying Kinetics Of Apple Cylinders Under Combined Hot Air-Microwave Dehydration" Journal Of Food Engineering, Cilt No 63, Sayı No 1, Sayfa No 71-78.
- Anonim, 2017a, Dünyada elma üretimde söz sahibi ülkeler, Food and Agriculture Organization of the United Nations. http://faostat.fao.org/INC_disasse/fao_organisation3899/word_com.ass Erişim Tarihi: 31.11.2017.
- Anonim, 2017b, Bilinen en eski gıda kökenli asitler <https://www.asit.gen.tr/oksalik-asit.html> Erişim Tarihi: 02.12.2017.
- Anonim, 2018a, Kurutulmuş gıdaların kullanım alanları, <http://www.kurucum.com/kuru-gida-kullanim.html> Erişim Tarihi: 11.01.2018.
- Anonim, 2018b. Eksis Makine Ekipmanları Kurutma Makinelerinin Çeşitliliği, Kullanım amacı ve Planı <http://www.kurutma.net/urunler.html>, Erişim Tarihi: 05.01.2018.
- Anonim, 2018c. <http://www.kimyaevi.org/TR/Genel/BelgeGoster.a892433CFF679A66406202CCB0AFA4D305165690F&Vurgulanacak=mikrodalga#md0602> Erişim Tarihi: 27.03.2018.
- AOAC, 980, DIN 10758 Analysis of Honey- Determination of the content of saccharides fructose, glucose, saccharos, turanose and maltose Toxic Vol. 27 No:1.1989-HPLC method, 1997, EU.
- Arslan, N. 2012. İnfrared Kurutma Yönteminin Kurutulmuş Manti Kalitesi Üzerine Etkisi. Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 51s. Çanakkale.
- Ashtiani M., Sturm S. H., Nasirahmadi, B. A. (2017). Effects of hot-air and hybrid hot air-microwave drying on drying kinetics and textural quality of nectarine slices. Heat and Mass Transfer/Waerme- Und Stoffuebertragung, 54(4), 915–927. <https://doi.org/10.1007/s00231-017-2187-0>.

- Ashokkumar, M., Sunartio, D., Kentish, S., Mawson, R., Simons, L., Vilku, K. and Versteeg, C., 2008, Modification of Food Ingredients by Ultrasound to Improve Functionality: a Preliminary Study on a Model System, *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 9:155–160.
- Azoubel, P.M., Baima, M.A.M., Amorim, M.R., Oliveira, S.S.B. 2010. Effect of Ultrasound on Banana cv Pacovan Drying Kinetics. *Journal of Food Engineering*, 97, 194–198.
- Barrera, C., Betoret, N., Betoret, E., & Fito, P. (2016). Calcium and temperature effect on structural damage of hot air dried apple slices: Nonlinear irreversible thermodynamic approach and rehydration analysis. *Journal of Food Engineering*, 189, 106–114. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2016.05.024>.
- Barta, J., 2006. Fruit Drying Principles. Hui, Y.H. (Ed.), *Handbook of Fruits and Fruit Processing* içinde (81-93), Blackwell Publishing, Iowa, USA.
- Basunia, M.A., Abe T., 2001. Thin Layer Solar Drying Characteristics Of Rough Rice Under Natural Convection. *Journal of Food Engineering*, 97, 194-198s.
- Batkan A., Kundakçı A., Meyve, İçecek ve Baharat Bitkilerinin Üretim Miktarları Gıda Bilim Dergisi (2005) 3B (5): 349-355s.
- Bingöl G., 2008, the effects of different pretreatments on drying rate and color kinetics of convective and microwave assisted convective drying of thompson seedless grapes İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 36-44s.
- Bingöl, G., Devres, O., 2010a. Gıda İşlemede Kurutma Teknolojilerinin Temel İlkeleri IV. İstanbul Sanayi Odası, 96s. İstanbul.
- Bingöl, G., Devres, Y.O., 2010b. Üzümlerin mikrodalga kurutma eğrilerinin ve sıcaklık değişiminin matematiksel modellenmesi. *İtÜdergisi*, 9(4), 63-71.
- Bitsch R, Netzel M, Carlé E, Strassb G, Kesenheimer B, Herbst M, Bitsch I (2001). Bioavailability of antioxidative compounds from Brettacher apple juice in humans. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 1: 245-249.
- Boyer J, Liu RH (2004). Apple Phytochemicals and Their Health Benefits. *Nutrition Journal*, 3:5-20.
- Cemeroğlu B., Karadeniz F., Özkan M. 2003. Meyve ve Sebze İşleme Teknolojisi. Gıda Teknolojisi Derneği Yayınları, 690s. Ankara.
- Cemeroğlu, B., Karadeniz, F. ve Ozkan, M., 2007. “Meyve ve Sebze İşleme Teknolojisi”, Gıda Teknolojisi Derneği Yayınları, 28, 541-542 .Ankara.
- Cemeroğlu, B (Ed). 2010. Gıda Analizleri. Gıda Teknolojisi Derneği Yayınları, 657s, Ankara.
- Ceylan, İ., Aktaş, M., Doğan, H., 2005. Isı Pompalı Kurutma Odasında Elma Kurutulması. *Isı Bilimi ve Tekniği Dergisi*, 25, 2, 9-14.
- Cioroi, M., 2008. 5-Hydroxymethylfurfural–A possible indicator in the preservation abilities of the thermally processed food. *Revue Roumaine de Chimie*, 53(5), 379-382.
- Contreras, C., Martí'n-Esparza, M.E. Chiralt, A., Martí'nez-Navarrete, N. 2008. Influence of Microwave Application on Convective Drying: Effects on Drying Kinetics, and Optical and Mechanical Properties of Apple and Strawberry. *Journal of Food Engineering*. 88, 55–64.
- Coşkun T (2005). Fonksiyonel besinlerin sağlığımız üzerine etkileri. *Çocuk Sağlığı ve Hastalıkları Dergisi*, 48: 69-84.

- Coşkun F (2014). Valsli Kurutucuda Elma Tozu Eldesi. Yüksek Lisans Tezi. Ege Üniv. Fen Bil. Ens., İzmir.
- Coşkun S., Aşkın M.A. Bazı Elma Çeşitlerinin Pomolojik Özelliklerinin Araştırılması, Ziraat Fakültesi Dergisi 11 (1):120-131, 2016 ISSN 1304-9984.
- Çelebi, K. 2011. Kayısının Kuruması Sırasında Renk Değişimi. Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 111s. Afyon.
- Çelen, S., 2010. Mikrodalga ve Vakum Kurutucuda Bazı Gıda Ürünlerinin Kurutulması ve Modellenmesi. Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 136s. Edirne.
- Çınar, İ. 2014. Konveksiyonel ve Akışkan Yataklı Sistemlerde Bazı Sebzelerin Kuruma Karakteristiklerinin Belirlenmesi. Gıda, 39 (3):171-177.
- Çoklar, H., Akbulut, M. (2010), Effect on phenolics, HMF and some physico-chemical properties of apple juice concentrate of activated carbon applied at the different temperatures. Journal of Food Process Engineering, 33(2), 370–383. <https://doi.org/10.1111/j.1745-4530.2008.00280.x>.
- D’Abrosca, B., Pacifico, S., Cefarelli, G., Mastellone, C., & Fiorentino, A. 2007. ‘Limoncella’ apple, an Italian apple cultivar: Phenolic and flavonoid contents and antioxidant activity. Food Chemistry, 104(4), 1333-1337.
- Darıcı, S., Şen, S. 2012. Kivi Meyvesinin Kurutulmasında Kurutma Havası Hızının Kurumaya Etkisinin İncelenmesi. Tesisat Mühendisliği, 130, 51s.
- Demiray, E. 2009. Kurutma İşleminde Domatesin Likopen, B-Karoten, Askorbik Asit ve Renk Değişim Kinetiğinin Belirlenmesi. Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 101s. Denizli.
- Demirel, R., 2009. Gıdaların Muhafazasında Kullanılan Diğer Yöntemler. Susuz Alanyalı, F. (Ed). Gıda Muhafaza İçinde (116-134), TC. Anadolu Üniversitesi Yayını, 225s. Eskişehir.
- Diaz, G.R., Mart’inez-Monzo, J., Fito, P., Chiralt, A. 2003. Modelling of Dehydration - Rehydration of Orange Slices in Combined Microwave/Air Drying. Innovative Food Science and Emerging Technologies, 4, 203–209.
- Docplayer, 2018.Gıda Endüstrisinde Ultrases uygulamaları Erişim Tarihi: 07.02.2018 <http://docplayer.biz.tr/8614367-Gıda-endüstrisinde-ultrason-kullanimi.html>.
- Doymaz, I., “Effect of citric acid and blanching pre-treatments on drying and rehydration of Amasya red apples”, Department of Chemical Engineering, Yıldız Technical University, Istanbul, 2010.
- Dziubiak, M., 2004. Collection of the Genus Malus Mill. In the Botanical Garden of the Polish Academy of Sciences in Warsaw. Journal of Fruit and Ornamental Plant Research. 12, 121128.
- Edizer, Y., Bekar, T., 2007. Tokat Merkez İlçede Yetiştirilen Bazı Yerel Elma (Malus communis L.) Çeşitlerinin Fenolojik ve Pomolojik Özelliklerinin Belirlenmesi. Gaziosmanpaşa Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 24(1), 1-8.
- Eğirdir Bahçe Kùltürleri Araştırma Enstitüsü (EBKAE)-Isparta, 2018. Türkiye’de tarımı yapılan elmacılık türleri, <http://www.ebkae.gov.tr/elma/starkindelicious>.
- Erbay, B., Küçüköner, E. 2008. Gıda Endüstrisinde Kullanılan Farklı Kurutma Sistemleri. Türkiye 10. Gıda Kongresi; 21-23 Mayıs 2008, Erzurum, 1045-1048.

- Erbay, Z., Icier, F., 2010. A review of thin layer drying of foods: theory, modeling, and experimental results. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 50(5), 441-464.
- Ercişli, S., 2004. Ashort Review of the Fruit Germplasm Resources of Turkey. *Genetic Resources and Crop Evolution*. 51, 419-435.
- Erdem, T. 2007. Ozonlu Su ile Yıkanan Kırmızı Pul Biberin Mikrodalga Enerjisi ile Kurutulması. Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 67s. Adana.
- Erentürk, S., Gülaboğlu, M.Ş., Gültekin, S. 2006. Konvektif Tip Kurutucuda Kurutulan Kuşburnu Meyvesinin Etkin Nem Difüzyon Katsayıları. Yedinci Ulusal Kimya Mühendisliği Kongresi, 5-8 Eylül, Eskişehir, <http://www.ukmk11.ogu.edu.tr/arsiv/ukmk7/sunular/toa29.swf>,
- Ertekin-Filiz, B. 2015. Elma Cipsinin Bazı Kalite ve Antioksidan Özelliklerine Kurutma, Ambalajlama ve Depolamanın Etkisi. Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, 158s. Isparta.
- Escarpa, A., Gonzalez, M.C., 1998. High-performance liquid chromatography with diode-array detection for the determination of phenolic compounds in peel and pulp from different apple varieties. *Journal of Chromatography A*, 823(1), 331-337.
- Fenercioğlu, H., Tüfekçi H. B., “Türkiye’de Üretilen Bazı Ticarî Meyve Sularının Kimyasal Özellikler Açısından Gıda Mevzuatına Uygunluğu”, *Akademik Gıda*, 8 (2),11-17(2010).
- Fernandes, F.A.N., Francisco E., Linhares Jr., F.E., Rodrigues, S. 2008. Ultrasound as pre-Treatment for Drying of Pineapple. *Ultrasonics Sonochemistry*, 15, 1049–1054.
- Fijalkowska, A., Nowacka, M., Wiktor, A., Sledz, M., & 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(3), 256–265. <https://doi.org/10.1111/jfpe.12217>
- Frias, J., Penas, E., Ullate, M., Vidal-Valverde C. 2010. Influence of Drying by Convective Air Dryer or Power Ultrasound on the Vitamin C and β -Carotene Content of Carrots. *J Agric Food Chem*, 58, 10539–10544.
- Funebo, T. ve Ohlsson, T., 1999, “Microwave-Assisted Air Dehydration Of Apple And Mushroom” *Journal Of Food Engineering*, Cilt No 38, Sayı No 3, Sayfa No 353-367.
- Geankoplis, C. J. (2003). *Transport processes and unit operations*. Upper Saddle River: Prentice Hall.
- Geankoplis, C.J. 2011. Taşıma Süreçleri ve Ayırma Süreci İlkeleri, Çev. Yapıcı S, İzmir Güven Kitapevi, İzmir, Türkiye.
- Gerhauser C (2008). Cancer chemopreventive potential of apples, apple juice, and apple components. *Planta Medica*, (74): 1608– 1624.
- Goyal, R., Kingsly, A., Manikantan, M., Ilyas, S. (2006). Thin-layer Drying Kinetics of Raw Mango Slices. *Biosystems Engineering*,95(1), 43-49. doi:10.1016/j.biosystemseng.2006.
- Gölcü, M., Şen, F. 2014. Mikrodalga ile Islak Viyolün Kurutulabilirliğinin Deneysel Olarak İncelenmesi. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 20(4), 111-115.
- Günerhan H., 2015. Endüstriyel Kurutma Sistemleri. Erişim Tarihi: 19.12.2015. <http://www.ttmd.org.tr/userfiles/dergi/ek36.pdf>.
- Güngör, A., 2013 “Sebze ve meyve kurutmada kullanılan kurutucular ve kurutma teknolojileri” 11. Ulusal Tesiat Mühendisliği Kongresi, İzmir, 43-63(2013).
- Gürses, Ö.L. 1986. Gıda İşleme Mühendisliği II. Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları, 132s. Ankara.

- Hebbbar, H.U., Vishwanathan, K.H. ve Ramesh, M.N., 2004, Development of combined infrared and hot air dryer for vegetables. *Journal of Food Engineering*, 65, 557-563.
- Hecke, K., Herbringer, K., Veberič, R., Trobec, M., Toplak, H., Štampar, F., Grill, D. (2006). Sugar-, acid- and phenol contents in apple cultivars from organic and integrated fruit cultivation. *European Journal of Clinical Nutrition*, 60(9), 1136–1140. <https://doi.org/10.1038/sj.ejcn.1602430>
- Hui YH, Clary C, Farid MM, Fasina OO, Noomhorm A, Welti-Chanes (2008) “Food Drying Science and Technology” Dastech Publications, Pennsylvania, ABD.
- IHC, International Honey Commission, IHC 2009, pp; 26-28, EU Honey Directive.
- İçier, F., Sabancı, S. 2013. Kurutma ve İşletmede Hijyen. 11. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, 17-20 Nisan, İzmir, 29-36.
- İzgi, C., 2012. Farklı Kurutma Metotlarının Domatesteki Likopen Miktarına Etkisi. Yüksek Lisans Tezi. Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı. Tekirdağ.
- Jambrak, A.R., Mason, T.J., Paniwnyk, L., Lelas, V. 2007. Accelerated Drying of Button Mushrooms, Brussels Sprouts and Cauliflower by Applying Power Ultrasound and Its Rehydration Properties. *Journal of Food Engineering*, 81, 88–97.
- JCA, 977, 2002, Separation and determination of organic acids and phenolic compounds in fruit juice and drinks by high performance liquid chromatography, *Journal Of Chromatography A*, 977 89-96.
- Kalender, V., 2013. Mikrodalga Gücünün Kurutma Zamanı ve Kurutma Kalitesi Üzerine Etkisi. Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 33s. Denizli.
- Kantaş, Y., 2007. Effect of Ultrasound on Drying Rate of Selected Produce. Middle East Technical University, The Graduate School of Natural and Applied Sciences, The Degree of Doctor of Philosophy, 188p. Ankara.
- Karataş F. and Kamaşlı F., 2007. Variations of vitamins (A, C and E) and MDA in apricots dried in IR and microwave. *Journal of Food Engineering* 78, 662–668.
- Karcı, E., 2008. Gıda Sektörünün Farklı Alanlarında Mikrodalga Uygulamaları, Erişim Tarihi: 12.05.2018. <http://mikrodalgauygulamalari.blogspot.com/2008/08/mikrodalga-nedir.html>.
- Kavak Akpınar, E., 2006. Determination of Suitable Thin Layer Drying Curve Model for Some Vegetables and Fruits. *Journal of Food Engineering*, 73, 75–84.
- Keast DR, O’Neil CE, Jones JM (2011) “Dried fruit consumption is associated with improved diet quality and reduced obesity in US adults: National Health and Nutrition Examination Survey, 1999-2004” *Nutrition Research* 31: 460–467.
- Kılınç A (2012). Eskişehir koşullarında bazı elma çeşit/anaç kombinasyonlarına ait verim ve meyve özelliklerinin belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi. Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Ens. Eskişehir.
- Kıvanç, M., Yılmaz, M. 2009. Gıda Muhafazasında Yeni Teknolojiler. Susuz Alanyalı, F. (Ed). Gıda Muhafaza İçinde (90-115), TC. Anadolu Üniversitesi Yayını, 225s. Eskişehir.
- Knorr, D., Zenker, M., Heinz, V., Lee, D.U. 2004. Applications and Potential of Ultrasonics in Food Processing. *Trends in Food Science & Technology*, 15, 261–266.
- Konak, Ü.İ., Certel, M., Helhel, S. 2009. Gıda Sanayisinde Mikrodalga Uygulamaları. *Gıda Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 4(3), 20-31.

- Kuşçu, A., Bulantekin, A. (2016). The effects of production methods and storage on the chemical constituents of apple pekmez. *Journal of Food Science and Technology*, 53(7), 3083–3092. <https://doi.org/10.1007/s13197-016-2281-1>.
- Kutlu, N., İşçi, A., Şakıyan Demirkol, Ö. 2015. Gıdalarda İnce Tabaka Kurutma Modelleri. *Gıda Bilim Dergisi* 40(1), 39-46s.
- Lee, K.W., Kim, Y.J., Kim, D.O., Lee, H.J., Lee, C.Y., 2003. Major Phenolics in Apple and Their Contribution to the Total Antioxidant Capacity. *Journal Agriculture Food Chemistry*, 51(22), 6516-6520s.
- Li, Z., Raghavan, G. S. V., Wang, N., & Gariepy, Y., “Real-time, volatile-detection-assisted control for microwave drying” *Computers and Electronics in Agriculture*, 69, 177-184(2009).
- Lule, S. U., & Xia, W. (2005). Food phenolics, pros and cons: A review. *Food Reviews International*, 21(4), 367–388. <https://doi.org/10.1080/87559120500222862>.
- Maskan, M. 2001a. Drying, Shrinkage and Rehydration Characteristics of Kiwifruits During Hot Air and Microwave Drying. *Journal of Food Engineering*, 48, 177–182.
- Maskan, M. 2001b. Kinetics of Colour Change of Kiwifruits During Hot Air and Microwave Drying. *Journal of Food Engineering*, 48, 169-175.
- Mason, T. J., 1999. Sonochemistry. Oxford University Press., New York.
- Mayor, L., Sereno, M. 2004. Modelling Shrinkage During Convective Drying of Food Materials: A Review. *Journal of Food Engineering*, 6, 373–386.
- Meisami E, Rafiee, S, Keyhani, A and Tabatabaefar, A. Determination of Suitable Thin Layer Drying Curve Model for Apple Slices (variety-Golab) [online]. *Plant Omics*, Vol. 3, No. 3, May 2010:103-108.
- MEGEP, 2011 Milli Eğitim Bakanlığı (MEB), Meslek edindirme programı (MEGEP), Gıdalarda Nem ve Kuru Madde tayinin amacı ve uygulama yöntemleri doc., Erişim Tarihi: 02.02.2018 http://megep.meb.gov.tr/mte_program_modul/moduller_pdf/G%C4%B1dalarda%20Nem%20Ve%20Kuru%20Madde%20Tayini.pdf
- MEGEP, 2013 Milli Eğitim Bakanlığı (MEB), Meslek edindirme programı (MEGEP), Biyomedikal Cihaz Teknolojileri Bakım Onarım ve Arızaları, Erişim Tarihi: 03.03.2018 http://www.megep.meb.gov.tr/mte_program_modul/moduller_pdf/Ultrasonda%20G%C3%B6r%C3%BCmler%20Ar%C4%B1zalar%C4%B1.pdf.
- Mengeş, H.O., Ertekin, C., Aydın, C. 2005. Elma Dilimlerinin Konveksiyonla Kurumasına Uygun Kuruma Modelinin Belirlenmesi. *Tarım Makinaları Bilimi Dergisi*, 1(3), 229-236.
- Midilli A. ve Küçük H., 2003, Mathematical modeling of thin layer drying of pistachio by using solar energy. *Energy Conversion and Management* 44 (7):1111-1122.
- Mohammadi, A., Rafiee, S., Emam-Djomeh, Z., Keyhani, A. 2008. Kinetic Models for Colour Changes in Kiwifruit Slices During Hot Air Drying. *World Journal of Agricultural Sciences*, 4 (3), 376-383.
- Mordoğan, N., Ergun, S. (2002). Golden ve Starking Elma Çeşitlerinin Şeker İçerikleri ve Bitki Besin Elementleri ile Olan İlişkileri, 39(1), 103–110.
- Musielak, G., Mierzwa, D., Kroehnke, J. (2016). Food drying enhancement by ultrasound A review. *Trends in Food Science and Technology*, 56, 126–141s. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2016.08.003>

- Nayak, B., Liu, R.H., Tang, J., 2013. Effect of processing on phenolic antioxidants of fruits, vegetables and grains A Review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, DOI:10.1080/10408398.2011.654142.
- Nemzer, B., Vargas, L., Xia, X., Sintara, M., & Feng, H. (2018). Phytochemical and physical properties of blueberries, tart cherries, strawberries, and cranberries as affected by different drying methods. *Food Chemistry*. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.04.04>.
- Nielsen, S. S., “Perdue University West Lafayette”, Food Analysis, Indiana, 2003.
- Nowacka, M., Wiktor, A., Sledz, M., Jurek, N., Rajchert, D.W. 2012. Drying of Ultrasound Pretreated Apple and its Selected Physical Properties. *Journal of Food Engineering*, 113, 427–433.
- Nowacka, M., Tylewicz, U., Laghi, L., Dalla Rosa, M., Witrowa-Rajchert, D. 2014. Effect of Ultrasound Treatment on The Water State in Kiwifruit During Osmotic Dehydration. *Food Chemistry*, 144, 18–25.
- Nowacka, M., Wedzik, M. 2015. Effect of Ultrasound Treatment on Microstructure, Colour and Carotenoid Content in Fresh and Dried Carrot Tissue. *Applied Acoustics*, doi:10.1016/j.apacoust.2015.06.011.
- Oğuz C., Karaçayır F., Tarım Bilimleri Araştırma Dergisi Türkiye’de Elma Üretimi, Tüketimi, Pazar Yapısı ve Dış Ticareti 2 (1):41-49, 2009 ISSN: 1308-3945, www.nobel.gen.tr.
- Önür, İ., Misra, N. N., Barba, F. J., Putnik, P., Lorenzo, J. M., Gökmen, V., & Alpas, H. (2018). Effects of ultrasound and high pressure on physicochemical properties and HMF formation in Turkish honey types. *Journal of Food Engineering*, 219, 129–136. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2017.09.019>.
- Özbek, S., 1978. Özel Meyvecilik (Kışın Yaprğını Döken Meyve Türleri). Çukurova Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları, No: 128, Ders Kitabı No: 11, 408s, Adana.
- Özdemir M., Devres Y. O., (1999). The thin layer drying characteristics of hazelnuts during roasting. *Journal of Food Engineering* 42: 225-233.
- Özkan, İ.A., Işık, E. 2001. Kayısı ve kirazın mikrodalga ışınlarla kurutulmasındaki kurutma parametrelerinin belirlenmesi, I. Sert Çekirdekli Meyveler Sempozyumu Bildirisi, Yalova, 317-327.
- Özlü, H., Atasever, M. 2007. Gıdalara Yüksek Basınç Uygulaması. Atatürk Üniversitesi Vet. Bil. Derg., 2(1), 7-27s, Erzurum.
- PCE, 2017. PCE-CSM 2 ve PCE-CSM 4 Colorimetre. Gıdalarda L*a*b*-Renk alanı. Erişim Tarihi: 22.11.2017. <http://www.pce-cihazlari.com.tr/teknik-bilgiler/colorimetre-nr145-nr20xe.htm>
- Puangsuwan, K., Chongcheawchamnan, M., & Tongurai, C. (2015). Effective moisture diffusivity, activation energy and dielectric model for palm fruit using a microwave heating. *Journal of Microwave Power and Electromagnetic Energy*, 49(2), 100–111. <https://doi.org/10.1080/08327823.2015.11689900>.
- Ratti, C. 1994. Shrinkage During Drying of Foods. *Journal of Food Engineering*, 23, 91–105.
- Ren, G. ve Chen, F., 1998, “Drying Of American Ginseng (*Panax Quinquefolium*) Roots By Microwave-Hot Air Combination” *Journal Of Food Engineering*, Cilt No 35, Sayfa No 433-443Ss,
- Rodríguez, Ó., Eim, V., Rosselló, C., Femenia, A., Cárcel, J. A., & Simal, S. (2017). Application of power ultrasound on the convective drying of fruits and vegetables: Effects on quality. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, (June).

- Romero J, C.A., Yépez V, B.D. 2015. Ultrasound as Pretreatment to Convective Drying of Andean Blackberry (*Rubus glaucus* Benth). *Ultrasonics Sonochemistry*, 22, 205–210.
- Ross, A. I.V., Griffiths, M.W., Mittal, G.S. and Deeth, H.C. 2003. Combining nonthermal technologies to control foodborne microorganisms. *Int. J. of Food Microbiol.* 89: 125-138.
- Sadik, C.D., Sies, H., Schewe, T., 2003. Inhibition of 15-lipoxygenases by Flavonoids: Structure Activity Relations and Mode of Action. *Biochemistry Pharmacology*, 65, 773-781.
- Sayın, L., Tamer, C.E. 2014. Yüksek Hidrostatik Basınç ve Ultrasonun Gıda Koruma Yöntemi Olarak Kullanımı. *Su Ürünleri Ziraat Fakültesi Dergisi*, 28(1), 83-94.
- Schössler K, Jäger H, Knorr D. “Effect of Continuous and Intermittent Ultrasound on Drying Time and Effective Diffusivity During Convective Drying of Apple and Red Bell Pepper”. *Journal of Food Engineering*, 108(1), 103-110, 2012.
- Sham, P. W. Y., Scaman, C. H. and Durance, T. D., 2001 “Texture of vacuum microwave dehydrated apple variety” *Journal of Food Engineering*, 66:1341.
- Shishir, M. R. I., Chen, W. (2017). Trends of spray drying: A critical review on drying of fruit and vegetable juices. *Trends in Food Science and Technology*, 65, 49–67. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2017.05.006>.
- Shyi,L.S., Sun,H.L.,1999. Changes of chemical component of apple slices during vacuum frying. *food Science,Taiwan*26(5),507-516.
- Sjöholm, I., Gekas, V. 1995. Apple Shrinkage Upon Drying. *Journal of Food Engineering*, 25, 123–130.
- Sluis AA, Van der Dekker M, Skrede G, Jongen WMF (2005). Activity and concentration of polyphenolic antioxidants in apple juice. Effect of Existing Production Methods. *J. Agric. Food Che.* (50): 7211-7219.
- Sun, D.W. 2005. *Emerging Technologies for Food Processing*. Elsevier, 771p, Italy.
- Szadzinska J., Łechtanska J., Kowalski S. J., Stasiak. 2016 M., Poznan University of Technology, Institute of Technology and Chemical Engineering, Department of Process Engineering, The effect of high power airborne ultrasound and microwaves on convective drying effectiveness and quality of green pepper Berdychowo 4, 60-965 Poznan, Poland.
- Şen, F., Karaçalı, İ., 2005. Hasat Sonrası UV-C Işığı ve Diğer Bazı Koruyucu Uygulamaların Satsuma Mandarinin Kalite ve Dayanım Gücüne Etkileri. *Derim Dergisi*, 22(1), 10-19.
- Tavman, Ş., Kumcuoğlu, S., Akkaya, Z. 2009. Bitkisel Ürünlerin Atıklarından Antioksidan Maddelerin Ultrason Destekli Ekstraksiyonu. *Gıda*, 34(3), 175-182.
- Therdthai, N., Zhou, W. Pattanapa, K. 2011. Microwave Vacuum Drying of Osmotically Dehydrated Mandarin cv. (*Sai-Namphaung*). *International Journal of Food Science and Technology*, 46, 2401–2407.
- Trager J (1997) “The Food Chronology: a food lover's compendium of events and anecdotes, from prehistory to the present” Owl Books, New York, ABD.
- TSE 3688, 2002, Kurutulmuş Elma Özellikleri ve Deney Metotları, TSE II. Baskı (ISO 7701) 19.04.2002, Necatibey Türk Standartları Enstitüsü-Ankara.
- Tüfekçi H.B., Fenercioğlu H., 2010, Türkiye’de Üretilen Bzi Ticari Meyve Sularının Kimyasal Özellikleri Açısından Gıda Mevzuatına Uygunluğu. *Akademik Gıda Dergisi* 8 (2), 11-17s.

- Türk Standartları Enstitüsü (TSE), 2018.TSE'nin Görevleri ve Yetkileri. Erişim Tarihi: 05.06.2018. <https://www.tse.org.tr/IcerikDetay?ID=3&ParentID=2>.
- Ulusoy, K. ve Karakaya, M., 2011, Gıda Endüstrisinde Ultrasonik Ses Dalgalarının Kullanımı, Gıda, 36 (2): 113–120.
- Uslu, H., 2015. Kamkat Meyvesinin Ultrases (Ultrason) Destekli Kurutulması ve Kalite Özelliklerinin Belirlenmesi. Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, YL Tezi, 46-48s, Isparta.
- Velic, D., Planinic, M., Tomas, S., Bilic, M. 2004. Influence of Airflow Velocity on Kinetics of Convection Apple Drying. Journal of Food Engineering, 64, 97–102.
- Velu, V., Nagender, A., Rao, P.G.P. , Rao D.G., 2006. Journal of Food Engineerig. 74: 30.
- Vercet, A., Burgos, J., Crelie, S. and Lopez-Buesa, P. 2001. Inactivation of protease and lipase by ultrasound. Innovative Food Sci. Technol. 2: 139-150.
- Vermeir, S., Nicolaï, B. M., Jans, K., Maes, G., & Lammertyn, J. (2007). High-throughput microplate enzymatic assays for fast sugar and acid quantification in apple and tomato. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 55(9), 3240–3248. <https://doi.org/10.1021/jf0637022>.
- Wang, J., Chao, Y., “Effect of 60 °C Irridiation on Drying Characteristics of Apple” *Journal of Food Engineering*, 56:347-351,2003.
- Quintero Lira, A., Ángeles Santos, A., Aguirre-Álvarez, G., Reyes-Munguía, A., Almaraz-Buendía, I., Campos-Montiel, R. G. (2017). Effects of liquefying crystallized honey by ultrasound on crystal size, 5-hydroxymethylfurfural, colour, phenolic compounds and antioxidant activity. *European Food Research and Technology*, 243(4), 619–626. <https://doi.org/10.1007/s00217-016-2775-0>.
- Yan, Z., Sousa-Gallagher, M.J., Oliveira, F.A.R. 2008. Shrinkage and porosity of banana, pineapple and mango Slices During Air-Drying. Journal of Food Engineering, 84, 430–440.
- Yaralı, E., 2014. Gıdalarda Temel İşlemler II. Erişim Tarihi: 07.03.2015. www.akademik.adu.edu.tr/myo, 147s.
- Yaralı, E., 2017. Meyve Sebze Teknolojisi I. Meyve ve Sebzelerin Bileşimi,Erişim Tarihi: 04.05.2018.<http://www.akademik.adu.edu.tr/myo/cine/webfolders/File/ders%20notlari/Meyve-Sebze%20I.pdf>.
- Yılmaz, M.G., 2015. Ultrason önışleminin elma dilimlerinin kuruma karakteristiği üzerine etkileri. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gıda Mühendisliği ABD., YL Tezi, İstanbul.
- Yokuş, B.,2014, Farklı Ön İşlemlerin Ve Uygulanan Farklı Kurutma Yöntemlerinin Elmada Toplam Fenol Miktarı Ve Antioksidan Aktivite Üzerine Etkileri Şeyh Edabalı Ün. Fen Bilimleri Ens., Kimya Müh.ABD., YL.Tezi, 134, Bilecik.
- Yüksel, F. 2013. Gıda Teknolojisinde Ultrases Uygulamaları. Gıda Teknolojileri Elektronik Dergisi, 8(2), 29-38.
- Zhao, Z.X.,Sun,Y.H.,Huang,H.C.,1995. Research of soluble sugars and organic acids in apples of Shandong.Journal of shandong agricultural Univ.26:3,355-360.
- Zielinska, M., Markowski, M. 2010. Air Drying Characteristics and Moisture Diffusivity of Carrots. Chemical Engineering and Processing, 49, 212–218.

EKLER

EK A. Formlar

EK B. Tablolar



EK.A

DUYUSAL ANALİZ FORMU

**ULTRASES ÖN İŞLEMİYLE SICAK HAVA VE MİKRODALGA SİSTEMLERİNDE
KURUTULAN ELMA DİLİMLERİNİN KALİTE ÖZELLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI**

Panelistin Adı:

Analiz Tarihi:

Bu çalışmada farklı yöntemlerle kurutulmuş elmalarda görünüş, koku, tekstür, şekil, ağız hissi ve genel beğeni parametreleri kullanılarak duyusal değerlendirme yapılacaktır. Kutuda belirtilmiş örnekler için gösterge Çizelgesindeki uygun puanı işaretleyiniz. Değerlendirme yaparken her örnek sonrası ağızınızı su ile çalkalayınız.

GÖRÜNÜŞ: RENK (Taze elma rengine yakınlık)

	Uzak				Yakın
Örnek	1	2	3	4	5
Aa					
Ab					
Ac					
Ba					
Bb					
Bc					
Ca					
Cb					
Cc					
Da					
Db					
Dc					

KOKU: Doğal Elmanın Kokusu

Az

Çok

	Uzak				Yakın
Örnek	1	2	3	4	5
Aa					
Ab					
Ac					
Ba					
Bb					
Bc					
Ca					
Cb					
Cc					
Da					
Db					
Dc					

LEZZET**Uzak****Yakın****Doğal****Yapay**

<i>Örnek</i>	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>
<i>Aa</i>					
<i>Ab</i>					
<i>Ac</i>					
<i>Ba</i>					
<i>Bb</i>					
<i>Bc</i>					
<i>Ca</i>					
<i>Cb</i>					
<i>Cc</i>					
<i>Da</i>					
<i>Db</i>					
<i>Dc</i>					

TEKSTÜR: Sertlik (Elle Kırarak Bakınız)**Elastik****Kırılğan****Uzak****Yakın**

<i>Örnek</i>	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>
<i>Aa</i>					
<i>Ab</i>					
<i>Ac</i>					
<i>Ba</i>					
<i>Bb</i>					
<i>Bc</i>					
<i>Ca</i>					
<i>Cb</i>					
<i>Cc</i>					
<i>Da</i>					
<i>Db</i>					
<i>Dc</i>					

ŞEKİL: Geometrik Yapının Korunması**Az****Çok****Uzak****Yakın**

<i>Örnek</i>	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>
<i>Aa</i>					
<i>Ab</i>					
<i>Ac</i>					
<i>Ba</i>					
<i>Bb</i>					
<i>Bc</i>					
<i>Ca</i>					
<i>Cb</i>					
<i>Cc</i>					
<i>Da</i>					
<i>Db</i>					
<i>Dc</i>					

AĞIZ HİSSİ: Sertlik

Az

Çok

	Uzak		Yakın		
<i>Örnek</i>	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>
<i>Aa</i>					
<i>Ab</i>					
<i>Ac</i>					
<i>Ba</i>					
<i>Bb</i>					
<i>Bc</i>					
<i>Ca</i>					
<i>Cb</i>					
<i>Cc</i>					
<i>Da</i>					
<i>Db</i>					
<i>Dc</i>					

ÇİĞNENEBİLİRLİK

Zor

Kolay

	Uzak		Yakın		
<i>Örnek</i>	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>
<i>Aa</i>					
<i>Ab</i>					
<i>Ac</i>					
<i>Ba</i>					
<i>Bb</i>					
<i>Bc</i>					
<i>Ca</i>					
<i>Cb</i>					
<i>Cc</i>					
<i>Da</i>					
<i>Db</i>					
<i>Dc</i>					

YAPIŞKANLIK

Az

Çok

	Uzak		Yakın		
<i>Örnek</i>	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>
<i>Aa</i>					
<i>Ab</i>					
<i>Ac</i>					
<i>Ba</i>					
<i>Bb</i>					
<i>Bc</i>					
<i>Ca</i>					
<i>Cb</i>					
<i>Cc</i>					
<i>Da</i>					
<i>Db</i>					
<i>Dc</i>					

KARAMELİZE TAT

Az

Çok

	Uzak				Yakın
<i>Örnek</i>	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>
<i>Aa</i>					
<i>Ab</i>					
<i>Ac</i>					
<i>Ba</i>					
<i>Bb</i>					
<i>Bc</i>					
<i>Ca</i>					
<i>Cb</i>					
<i>Cc</i>					
<i>Da</i>					
<i>Db</i>					
<i>Dc</i>					

GENEL BEĞENİ

	Uzak				Yakın
<i>Örnek</i>	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>
<i>Aa</i>					
<i>Ab</i>					
<i>Ac</i>					
<i>Ba</i>					
<i>Bb</i>					
<i>Bc</i>					
<i>Ca</i>					
<i>Cb</i>					
<i>Cc</i>					
<i>Da</i>					
<i>Db</i>					
<i>Dc</i>					

65 °C-kon.; Aa, 15 US-65 °C: Ab, 30 US-65 °C: Ac, 180 W-Kon.; Ba, 360 W-Kon.: Bb, 600 W-Kon.: Bc, 15 US-180 W: Ca, 15 US-360 W: Cb, 15 US-600 W: Cc, 30 US-180 W: Da, 30 US-360 W: Db, 30 US-600 W: Dc

EK B. Ağırlık, L a b, Çap-Kalınlık Verilerini Gösterir Tablolar

EK B.1. Ağırlık Değişim Verileri

	1.GRUP		2.GRUP	
180 W MW KONTROL GRUBU	M0=394.8 g	M60=255.9g	M0= 387.2g	M60=252.9g
	M10=378.1g	M70=237.6g	M10=372.7g	M70=236.7g
	M20=354.4g	M80=225.0g	M20=354.0g	M80=226.9g
	M30=330.0g	M90=219.6g	M30=329.6g	M90=223.4g
	M40=302.0g	M100=219.2g	M40=309.0g	M100=221.2g
	M50=279.3g	M110=219,0	M50=275.7g	M110=221,0
360 W MW KONTROL GRUBU	M0=408.5g	M30=234.4g	M0=387.5g	M30=234.5g
	M10=361.0g	M40=224.0g	M10=337.6g	M40=222.8g
	M20=299.6g		M20= 279.4g	
600 W MW KONTROL GRUBU	M0=396.4g	M15= 254.3g	M0=400.3g	M15=259.8g
	M3= 374.9g	M18=230.5g	M3=378.9g	M18=239.0g
	M6=339.0g	M19=226.0g	M6=345.2g	M20=227.8g
	M9= 311.5g	M20=224.3g	M9=314.4g	M21=225.9g
	M12=282.4g	M21= 220.8g	M12=285.7g	
65 °C Konveksiyonel Hava Akımlı Fırında KONTROL GRUBU	M0=1506g	M120=292g	M0=508g	M120=107g
	M30=1123g	M150=275g	M30=348g	M150=102g
	M60=695g	M180=268g	M60=210g	M180=98g
	M90=395g		M90=133g	
15 dak. US Ön İşlemli- 180W MW	M0=418,2g	M60=279,9g	M0=422,8g	M60=281,9g
	M10=399,5g	M70=255,8g	M10=404,2g	M70=271,3g
	M20=375.9g	M80=238,6g	M20=378,5g	M80=251,8g
	M30=352,5g	M90=228,1g	M30=333,5g	M90=235,2g
	M40=328,0g	M100=224,7g	M40=327,9g	M100=227,6g
	M50=303,4g		M50=304,2g	M110=224,0g

Ağırlık Değişim Verileri Tablonun Devamı

15 dak. US Ön İşlemli- 360W MW	M0=410,9g	M30=253,4g	M0=409,7g	M30=233,0g
	M10=387,9g	M37=222,3g	M10=353,4g	M35=223,3g
	M20=326,5g		M20=283,8g	
15 dak. US Ön İşlemli- 600W MW	M0=417,4g	M15=247,0g	M0= 433,5g	M15=280,0g
	M3=361,9g	M18=228,9g	M3: 412,7g	M18= 253,5g
	M6=332,6g	M19=225,2g	M6=386,7g	M21=233,6g
	M9=302,8g	M20=222,5g	M9= 352,8g	M23=224,6g
	M12=273,4g		M12:317,8g	
15 dak. US Ön İşlemli- 65 °C Konveksiyonel Fırın	M0=678g	M90=115g	M0=356g	M90=72g
	M30=438g	M120=94g	M30=223g	M120=58g
	M60=220g		M60=127g	
30 dak. US Ön İşlemli- 180W MW	M0=418,2g	M60=279,9g	M0=412,1g	M60:275,5g
	M10=399,5g	M70=255,8g	M10=393,5g	M70=253,7g
	M20=375,9g	M80=238,6g	M20=368,4g	M80=234,8g
	M30=352,5g	M90=228,1g	M30=346,0g	M90=221,9g
	M40=328,0g	M100=224,7g	M40=320,6g	M100=216,2g
	M50=303,4g		M50=297,7g	
30 dak. US Ön İşlemli- 360W MW	M0=392,1g	M30=230,2g	M0= 404,9g	M30=254,6g
	M10=341,8g	M35=213,2g	M10=384,7g	M35=233,0g
	M20=280,8g		M20=266,0g	M37=220,0g
30 dak. US Ön İşlemli- 600W MW	M0=228,8g	M12=294,3g	M0= 441,5g	M12=324,8g
	M3=381,9g	M15=263,7g	M3=416,5g	M15= 293,9g
	M6=360,1g	M18=230,2g	M6=389,0g	M18= 263,7g
	M9=326,5g	M20=221,7g	M9=355,2g	M21= 241,7g
30 dak. US Ön İşlemli 65 °C Hava Akımlı Fırın ⁱ	M0=562g	M90=109g	M0=616g	M90=113g
	M30=342g	M120= 89g	M30=375g	M120= 96g

EK B.2. L, a, b Değerlerini Gösterir Tablo

Elma Dilimlerinin gördüğü İşlemler	1. Grup (tekerrür)			2. Grup (tekerrür)		
	L	a	b	L	a	b
Hammadde	77,16	0,125	20,787	77,02	0,130	20,29
	79,18	0,135	20,087	76,54	0,138	19,798
	74,73	0,122	20,007	75,08	0,123	19,004
65 °C Hava Akımlı Fırın- Kontrol Grubu	75,29	7,86	33,95	61,53	17,02	37,67
	77,76	6,82	35,74	70,46	12,63	36,77
	63,07	14,22	36,13	74,63	9,20	35,62
180 W MW- Kontrol Grubu	72,44	11,68	37,53	60,23	18,03	39,35
	72,61	11,66	37,35	59,59	17,47	37,10
	68,69	11,53	37,04	58,17	17,05	36,74
360 W MW- Kontrol Grubu	58,09	16,86	33,32	44,38	11,93	23,81
	54,75	17,09	32,89	49,60	16,67	30,76
	56,99	15,56	32,60	51,87	13,84	32,85
600 W MW- Kontrol Grubu	60,46	16,40	32,33	57,55	15,03	33,08
	53,02	14,72	28,29	63,00	18,14	38,75
	67,41	11,66	32,81	60,89	19,17	39,72
15 dak. US Ön İşlemlili 65 °C Hava Akımlı Fırın	77,17	7,09	30,69	77,23	6,81	34,76
	75,26	6,76	28,12	69,42	6,83	31,87
	7878,	6,11	28,64	69,27	9,08	34,70
15 dak. US Ön İşlemlili 180W MW	57,34	11,92	25,18	62,89	14,44	30,04
	55,95	14,22	28,01	57,49	17,74	26,69
	63,53	11,92	26,46	60,69	15,09	30,04

. L, a, b Değerlerini Gösterir Tablonun Devamı

15 dak. US Ön İşlemli 360 W MW	48,25	14,77	30,47	52,12	16,94	34,49
	50,92	17,03	33,14	55,77	16,45	34,87
	55,25	15,92	33,69	51,23	17,00	34,63
15 dak. US Ön İşlemli 600W MW	57,26	14,20	27,69	59,85	18,24	37,48
	57,99	12,83	27,03	57,51	16,52	32,19
	67,68	13,64	35,01	57,28	15,60	33,01
30 dak. US Ön İşlemli 65 C Hava Akımlı Fırın	65,51	16,68	39,98	79,95	6,76	32,58
	62,49	17,89	38,12	74,99	8,82	32,30
	62,33	17,14	37,71	74,02	12,58	35,78
30 dak. US Ön İşlemli 180 W MW	61,72	16,40	31,68	64,62	15,02	30,26
	59,73	18,11	35,85	68,15	13,66	35,54
	66,98	13,81	32,90	56,37	16,14	31,51
30 dak. US Ön İşlemli 360 W MW	45,36	14,28	28,30	36,41	15,79	25,74
	55,88	15,19	31,07	47,33	13,27	28,03
	51,46	15,91	31,18	54,87	15,12	31,23
30 dak. US Ön İşlemli 600 W MW	74,78	11,32	33,53	72,94	13,40	34,01
	64,27	15,43	32,20	72,26	13,95	34,28
	75,15	11,19	33,73	66,59	13,93	32,18

EK B.3. Kalınlık ve Çap Değerlerini Gösterir Tablo

Deney Tipleri	1.Tekerrür (mm)-		2.Tekerrür (mm)		3.Tekerrür (mm)	
	Kalınlık	Çap	Kalınlık	Çap	Kalınlık	Çap
65 °C Hava Akımlı Fırın-Kontrol Grubu	2,6	66,8	2,9	58,7	2,5	63,6
	2,4	70,8	2,7	66,3	3,1	64,0
	2,9	69,0	3,1	61,7	2,9	67,5
180 W MW-Kontrol Grubu	2,8	62,3	2,8	61,3	2,9	59,3
	2,8	60,3	2,7	59,9	2,3	55,5
	2,9	58,0	3,1	58,0	3,1	61,6
360 W MW-Kontrol Grubu	2,9	51,7	2,9	55,8	3,4	59,6
	2,8	53,3	2,6	53,2	3,3	56,7
	2,7	53,5	2,8	52,5	2,5	56,4
600 W MW-Kontrol Grubu	3,23	49,4	3,0	58,1	2,8	53,7
	3,6	54,2	2,8	56,9	2,9	57,1
	2,8	52,7	2,7	61,2	3,0	57,7
15 dak. US Ön İşlemli 65 °C Hava Akımlı Fırın	3,0	70,5	3,0	66,4	2,9	56,6
	2,6	69,5	2,8	64,4	2,4	51,6
	2,5	64,7	2,6	63,9	2,6	54,8
15 dak. US Ön İşlemli 180W MW	2,6	63,5	3,1	63,2	2,5	61,6
	2,3	57,2	3,4	64,5	2,7	58,7
	3,7	60,2	2,8	64,4	2,7	63,5
15 dak. US Ön İşlemli 360 W MW	2,7	50,1	2,8	55,1	2,9	50,0
	2,6	51,1	2,7	52,6	2,9	55,2
	3,1	51,5	2,5	53,0	2,7	51,7
15 dak. US Ön İşlemli 600W MW	2,9	57,2	3,2	56,5	2,8	56,4
	2,6	58,1	2,5	52,6	2,7	63,0
	2,8	56,0	3,3	53,3	3,5	60,7
30 dak. US Ön İşlemli 65 C Hava Akımlı Fırın	3,0	69,5	2,5	55,9	2,4	60,1
	3,5	61,9	2,4	60,5	2,7	62,7
	2,7	64,2	2,8	55,4	3,8	57,3

Kalınlık ve Çap Değerlerini Gösterir Tablonun Devamı

30 dak. US Ön İşleml 180 W MW	2,8	52,4	3,2	55,8	3,1	52,0
	2,7	50,1	3,0	58,9	2,9	51,4
	2,8	47,6	2,6	55,9	3,0	52,0
30 dak. US Ön İşleml 360 W MW	2,9	61,0	2,8	56,7	3,0	50,3
	2,8	61,4	3,5	53,7	3,1	55,4
	2,4	60,6	3,1	51,2	3,5	50,6
30 dak. US Ön İşleml 600 W MW	3,0	58,8	3,1	61,5	2,7	54,1
	2,6	56,3	2,9	62,1	2,4	55,5
	2,5	57,9	2,6	60,6	2,3	54,3



ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Zeliha Gözde KAYA
Doğum Yeri ve Yılı : Bitlis, 1985
Medeni Hali : Evli
Yabancı Dili : İngilizce
E-posta : zelihagozde.kaya@tarim.gov.tr

Eğitim Durumu

Lise : Denizli Anadolu Lisesi, 2005
Ön Lisan : Anadolu Üniversitesi, Halkla İlişkiler, 2008
Lisans : PAÜ, Mühendislik Fakültesi, Gıda Mühendisliği, 2010

Mesleki Deneyim

PAÜ, Burslu Öğrenci Yetiştirme Programı Yemekhane Koordinatörlüğü, 2009-2010
Tarım ve Orman Bakanlığı Rehberlik ve Teftiş Başkanlığı Müfettişi, 2011-...Halen