BÖLÜM 1

GİRİŞ

1.1 Literatür Taraması

Kuruma; bir madde içinde bulunan sıvının uzaklaşmasıdır. Teknik kurutmada, kuruma işlemine dış müdahale yapılarak madde içinde bulunan nem değişik metotlarla alınır. Bu nedenle kurutma; kuruyacak ürün neminin istenilen kuruluk değerlerine belli bir süreçte indirgenmesi olarak tanımlanır. Belli bir süreçte ürünün kuruma değerlerine gelmesini sağlayan ve değişik birimlerden oluşan (ısıtma, nem alma, nem verme vb.) ünitelerin bütününe de kurutma sistemi denir. Kurutma işleminde kullanılan sistemler sanayinin birçok dalında (gıda, kağıt, çimento, kereste ve kimya sanayi gibi endüstri dallarında) yaygın olarak uygulanmaktadır [1].

Kurutulan gıdalarda istenilen niteliklerin, istenilen anlamda oluşmasını sağlamak için makine, donanım ve tesislerin tasarımı, seçimi, kurulması ve iletilmesi sırasında kurutma konusu ile ilgili tüm ilkeler göz önünde bulundurulmalı ve optimum koşullar seçilmelidir [2].

Kurutmanın uygulandığı en yaygın alanlar; gıda sanayi, deri sanayi, tarım sektörü, kimya sanayi, silah sanayi ve orman ürünleri sanayi olarak özetlenebilir. Bu alanlara kurutma işlemi uygulanarak ürünlerin kalitelerinin iyileştirilmesi yanında, nemden korunması, hacimlerin ve ağırlıklarının azaltılması, taşıma, kullanım ve işlenme kolaylığı vb. avantajlar kazandırılması da eklenebilir [1].

Kurutma sistemlerinde taşınımla kurutma, temasla kurutma ve ışınımla kurutma olmak üzere başlıca üç farklı kurutma yöntemi vardır. Taşınımla kurutmada suyun buharlaşması için gerekli ısı, bir gaz tarafından yani; çoğunlukla olduğu gibi hava

tarafından sağlanır. Sıcak hava kurutulacak metaryalin içinden, üzerinden ve arasından geçirilir. Bu yöntem genel olarak sıcak hava ile kurutma tekniği olarak bilinir. Temasla kurutma yönteminde ise buharlaşma için gerekli ısı, iletimle taşınır. Yani, kurutulacak madde hareketsiz kalırken veya hareket ederken bu sırada temas ettiği sıcak yüzeyden maddeye ısı taşınır. Işınımdan yararlanılarak yapılan kurutmada, kurutulacak materyale ısı; herhangi bir maddi taşıyıcıya gerek duyulmaksızın sistemdeki bir ışınım kaynağı ile ulaştırılmaktadır. Başka bir ifadeyle ışınım ile kurutmada, mikrodalga, dielektrik veya kızıl ötesi ışın gibi elektromanyetik enerji türlerinden yararlanılmaktadır [1].

1.2 Tezin Amacı

Bu çalışmada, mikrodalga ile kurutma yönteminin semiz otu, fesleğen ve kereviz yaprağının C vitamini miktarı üzerindeki etkilerinin incelenmesi amaçlanmıştır. Bölüm 2'de gıdaların kurutulması ile meydana gelen fiziksel ve kimyasal değişimler, Bölüm 3'de kurutucu tipleri, Bölüm 4'te mikrodalga ile kurutma teknolojisine değinilmiş, Bölüm 5'te semiztou, kereviz yaprağı ve fesleğen hakkında genel bilgi verildikten sonra Bölüm 6'da literatürde yer alan gıdaların mikrodalga ile ilgili bazı çalışmaları özetlenmiştir. Bölüm 7'de deneysel çalışmalarda kullanılan cihazlar ve analiz yöntemleri ile hesaplamalar anlatılmıştır. Bölüm 8'de deneysel çalışmalara yer verilmiştir. Deneysel veriler kullanılarak matematiksel ifadeler türetilmiş ve istatistik veriler hesaplanmıştır. Ayrıca, elde edilen kinetik sabitler kullanılarak Aktivasyon enerji değerleri, Arrhenius denklemi temel alınarak türetilen bir eksponansiyel denklem ile hesaplanmıştır. Bölüm 9'da ise deneysel çalışmalardan elde edilen sonuçlar özetlenmiştir.

1.3 Bulgular

Bu çalışmada; semizotu, fesleğen ve kereviz yaprağı sebzelerinin kurutma sonrasında meydana gelen C vitamini değişimi kinetiği incelenmiş, mikrodalga tekniği ile kurutulması sırasında meydana gelen C vitamini değerlerindeki değişimler araştırılmıştır. Yapılan çalışmalar sonucunda; uygulanan mikrodalga gücü arttıkça ve kurutulan numune ağırlığı azaldıkça numunelerin C vitamini miktarlarının daha fazla azaldığı görülmüştür. Mikrodalga ile kurutma tekniği kullanılarak kurutulması sonucunda semizotu numunesinin C vitamini miktarı 180 W mikrodalga çıkış gücünde

21.61 mg/100 g numune değerinden 8.76 mg/100 g numune değerine; fesleğen numunesinin 21.19 mg/100 g numune değerinden 5.56 mg/100 g numune değerine; Kereviz yaprağının ise 30.00 mg/100 g numune değerinden 13.33 mg/100 g numune değerine düşmüştür. Ayrıca, aktivasyon enerji değerleri; elde edilen kinetik sabitler kullanılarak Arrhenius denklemi temel alınarak türetilen bir eksponansiyel denklem ile hesaplanmıstır. Mikrodalga teknigi ile kurutulan semizotu, fesleğen ve kereviz yaprağı numuneleri için C vitamini miktarındaki değişime ait aktivasyon enerjileri sırası ile 10.70 W.g-1, 14.98 W.g-1 ve 9.61 W.g-1 olarak bulunmustur.

BÖLÜM 2

KURUTMA

2.1 Gıdaların Kurutularak Saklanmasının Tarihçesi

Gıdaların kurutulması eski zamanlardan günümüze devam eden; kullanılan enerjinin azaltılması ve kalitenin yükseltilmesi için kendini teknolojik gelişmelere sürekli uyarlamak zorunda olan bir temel işlemdir. Gıda işlemesinde kurutma, yeni ürün formülasyonlarının tasarlanabilmesine ve aynı zamanda meyve ve sebzelerin raf ömürlerinin uzatılabilmesine imkan vermektedir. Meyve ve sebzeleri gerek küçük gerekse büyük ölçekte kurutmaya başlamadan önce her zaman hatırlanması gereken soru " amacıma uygun kurutma yöntemini mi seçtim?" olmalıdır. Tek bir kurutma yönteminin tüm gıdalar için ekonomik ve son ürün kalitesi açısından uygun olduğunu söylemek mümkün değildir. Dolayısıyla son ürünün arzu edilen kalite kriterlerine uygun olması ve aynı zamanda ekonomik olarak üretilebilmesi için farklı ürünlere farklı kurutma işlemleri optimum kurutma parametreleriyle uygulanmalıdır [3].

Gıdaların kurutulması, insanlığın tabiattan öğrendiği ve bu yüzden ilk çağlardan beri uygulanmakta olan en eski muhafaza yöntemidir. Gerçekten bu metot tabiatta çoğu zaman kendi kendine gerçekleşmekte ve örneğin, çeşitli tahıllar ve baklagiller tarlada kendi halinde kuruyarak dayanıklı hale gelebilmektedir. Doğada kuruma, güneş enerjisi ile gerçekleşmekte olduğundan, kurumanın her yerde ve her zaman bu yolla olması imkansızdır. Her ürünün güneşte kurutulması doğru değildir. Bu yüzden birçok ürünün diğer metotlarla kurutulma yolları geliştirilmiştir [4].

Kurutma işleminin geçmişinin tam olarak ne zaman başladığı bilinmemektedir. Fakat tarihsel kayıtlar bize eski insanların kurutmayı deneme ve yanılma ile öğrendiğini göstermektedir. İlk insanlar soğuk ve zorlu kış günleri için çeşitli ürünleri güneşte veya iste kurutmuşlardır. Bu sırada et, balık, meyve ve sebze önde gelen ürünler olmuşlardır. Gıda kurutmasının bilimsel bir temele dayalı olarak gelişmesi dünya çapında endüstrilerin kurulmasına olanak sağlamıştır [3].

Milattan önceki zamanlarda pek çok gıdanın kurutulduğuna dair bilgiler mevcuttur. Fenikeli ve Akdenizli balıkçıların avlarını güneşte kuruttukları bilinmektedir. Eski Mısır'da yapılan kazılarda kümbetlerin içinde kurutulmuş buğdaylara rastlanmıştır. Çinlilerin de çok eski zamanlardan beri çay yapraklarını kuruttukları bilinmektedir. 15. ve 16. yüzyılda; pek çok denizci uzun seyahatler sırasında gıdalarını kurutarak saklamışlardır. Örneğin; Kolombusun yeni keşifler için çıktığı yolculuklarda erzak olarak kurutulmuş yiyecekler aldığı eski metinlerde yazılıdır. Bu sayede gıdaların bozunması önlenmiş olduğu için pek çok hastalıktan korunabilmişlerdir [5].

On sekizinci yüzyılda sebzelerin kurutulması, kaydedilmiş ilk sanayi tipi gıda kurutmasıdır. Bundan sonra kurutma endüstrisindeki gelişmeler ortaya çıkan savaşlar ile paralellik göstermiştir. İngiliz askerleri Kırım'da (1854-1856) vatanlarından gönderilen kurutulmuş sebzeleri kullanmışlardır. Boer Savaşı(1899-1902) esnasında Kanada'da kurutulan sebzeler Güney Afrika'ya nakledilmiş ve 1. Dünya Savaşı sırasında 4500ton dehidre edilmiş gıda(taze fasulye, lahana, havuç, patates, ıspanak, mısır, turp ve çorba karışımları) Birleşik Devletler'den Avrupa'ya gönderilmiştir [6].

Meyvelerin dehidratasyonu 1800'lü yılların sonu ile 1900'lü yılların başında önemli bir dönüm noktası yaşamış ve güneşte kurutmanın yerini alacak olan sprey kurutucular 2. Dünya Savaşından önce geliştirilmiştir. Bu tür kurutucular genelde süt ürünleri ve yumurtaların kurutulmasında kullanılmıştır [6]. 1960'lı yıllarda Kaliformiya Üniversitesi'nden bir grup bilim adamı hala daha yaygın olarak kullanılan tünel kurutucuları geliştirmiş ve başarılı sonuçlar almışlardır.

Mikrodalgaların ısı kaynağı olarak kullanımı II. Dünya Savaşı'ndan hemen sonra radar konusunda yapılan çalışmalar sırasında fark edilmiştir. Isı enerjisi olarak mikrodalga enerjisinden 1950'li yıllarda sanayide patates cipsi son kurutmasında yararlanıldığı, ilk ev tipi mikrodalga fırının Raytheon Lisansı ile 1955 yılında kullanıma sunulduğu

belirtilmektedir. Gıda sanayisinde mikrodalga enerjisinden kurutma, haşlama, pişirme, pastörizasyon, sterilizasyon ve buz çözme gibi amaçlarla yararlanılmaktadır [8].

2.2 Gıdaların Kurutulması

Endüstriyel temel işlemlerin daha iyi tasarlanabilmesi için ısı ve kütle transferi olaylarının daha iyi bir şekilde irdelenmesi gerekmektedir. Isı ve kütle transferlerini içeren temel işlemler ile genel olarak kurutma evaporasyon(buharlaştırma) ve distilasyon perasyonlarında karşılaşılmaktadır [3].

Kurutma ve dehidrasyon, katı maddelerden su gibi buharlaşabilen maddelerin mikroorganizma gelişimini ve/veya kimyasal reaksiyonları yavaşlatmak ve/veya durdurmak amacıyla uzaklaştırılması işlemidir. Kurutulmuş bir gıda uzun raf ömrünün yanı sıra ağırlığının azalmasından dolayı nakliye işlemlerindeki maliyeti de azalmaktadır [9].

Eskiden beri süregelen ve günümüzde de yaygın olarak kullanılan kurutma tekniklerinden birisi de sıcak hava ile ürünün kurutulmasıdır. Ürün içinde bulunan nemin buharlaştırılması için gerekli olan gizil ısı hava tarafından sağlanır ve buharlaşan nem üründen hava vasıtasıyla uzaklaştırılır. Hava ile ürün arasında ısı ve nem transferi aynı anda gerçekleşir ve bu şekilde ürünün nemi ve dolayısıyla su aktivitesi azaltılır. Nem transferi sırasında etkili olan büyüklük hava ile ürünün yüzeyi arasındaki su buharı kısmi basınçları arasındaki farktır [3].

Biyokimyasal bir malzemenin kurutulması sonrası kalitesi, kurutma sırasında meydana gelen biyokimyasal ve fiziksel değişimler ile anlaşılabilmektedir. Kurutma süresi, sıcaklığı ve su aktivitesi son ürünün kalitesi üzerinde etkili olmaktadır. Düşük kurutma sıcaklığı son ürünün kalitesi üzerinde olumlu bir etkiye sahip olmasına karşın kurutma süresini uzatmaktadır. Diğer taraftan yüksek kurutma sıcaklığı kurutma süresini azaltmasına rağmen, çok yüksek seçildiğinde yüzeyin hızla nem kaybederek kabuk bağlaması sonucu ürünün kuruma süresinin uzamasına da neden olabilmektedir. Düşük su aktivitesine sahip son üründe mikroorganizma gelişmesi engellenmekte fakat lipid oksidasyon reaksiyonları hızlanmaktadır [10].

Biyolojik bir malzemenin kurutma sonrası saklama stabilitesi su aktivitesi düştükçe artmakta ve düşük sıcaklıkta kurutulmuş ürünler daha iyi saklama stabilitesine sahip

olmaktadır. Lipid içeren gıdalar düşük su aktivitesinde oksidasyona duyarlı olduğundan, bu tip ürünler kurutmadan sonra oksijen geçirgenliği düşük paketlerde muhafaza edilmelidir [11].

King (1974) kurutma işleminde başarılı olabilmek için aşağıdaki hususların sağlanması gerektiğini belirtmiştir;

Ürün Kalitesi;

- Minimum kimyasal ve biyokimyasal bozulma reaksiyonları,
- Ürün yapısının muhafazası,
- Suyun, aroma ve tat gibi uçucu malzemeleri etkilemeden seçici olarak uzaklaştırılması,
- Son ürünün arzulanan renkte olması,
- Hızlı ve basit rehidrasyon,
- Kurutma sırasında kontaminasyon (mikrobiyal bulaşma) olmaması.

Kurutma Ekonomisi;

- Minimum ürün kaybı,
- Suyun hızlı uzaklaştırılması (kurutma ekipmanının birim miktarından yüksek kapasite eldesi),
- Ucuz enerji kaynağı,
- Karmaşık olmayan kurutma cihazı (güvenilirlik ve minimum işçilik).

2.3 Kurutma Sırasında Meydana Gelen Kalite Değişiklikleri

Kurutma işlemi sırasında karşılaşılan kalite değişiklikleri yedi başlık altında toplanabilmektedir. Genel değerlendirmeleri aşağıda yapılmıştır

2.3.1 Kararma Reaksiyonları

Kararma reaksiyonları ürünün rengini değiştirmenin yanı sıra çözünürlüğünü ve besinsel değerlerini azaltmakta; tadı istenmeyen şekilde değiştirmekte ve geri dönüşü olmayan yapısal değişimlere de neden olmaktadır. Enzimatik olmayan iki ana kararma

reaksiyonları, maillard ve karamelizasyondur. Kararma reaksiyonları orta seviyeli nem miktarında hızlanmakta, çok düşük ve yüksek nem oranlarında ise yavaşlamaktadır. Kararma reaksiyonlarının engellenmesi için literatürde farklı tavsiyeler bulunmakla beraber, hemen hemen hepsi kurutma sırasında ürünün gereksiz yüksek sıcaklıklara maruz kalmamasını önermektedir [11].

2.3.2 Lipid Oksidasyonu

Lipid oksidasyonu birçok gıdada acılaşma, istenmeyen tat değişimlerinden, yağda çözünen vitamin ve pigmentlerin kaybından sorumludur. Ürünün nem miktarı, substrat tipi (yağ asitleri) ve enzim aktivitesi, reaksiyon uzunluğu, oksijen içeriği, sıcaklık, metallerin varlığı, doğal antioksidanların varlığı, UV ışığı, protein ve serbest aminoasit içeriği oksidasyonu etkileyen faktörler arasında sayılabilmektedir. Saguy ve Karel'e (1980) göre özellikle nem içeriği oksidasyon reaksiyon hızı üzerinde etkili olmakta ve su aktivitesinin 0.3 civarlarına indirgenmesi oksidasyon reaksiyonları önemli ölçüde azaltmaktadır. Oksijen varlığının oldukça düşük seviyelere indirgenmesi de reaksiyon hızını önemli ölçüde düşürmektedir [11].

2.3.3 Rehidrasyon ve Büzülme

Rehidrasyon kurutulmuş bir ürünün tekrardan su alma kapasitesi olarak tanımlanabilmektedir. Kurutulmuş bir ürünün rehidrasyon özellikleri kurutma esnasında meydana gelen kimyasal ve yapısal değişimler, kurutma koşulları, ürüne kurutma öncesi uygulanan önişlemler ve ürün kompozisyonu ile doğrudan ilişkilidir.

Yapısal ve hücresel bozulmalar minimize edildiğinde rehidrasyon miktarı en yüksek seviyeye ulaşabilmektedir [11].

2.3.4 Çözünebilme Kapasitesi

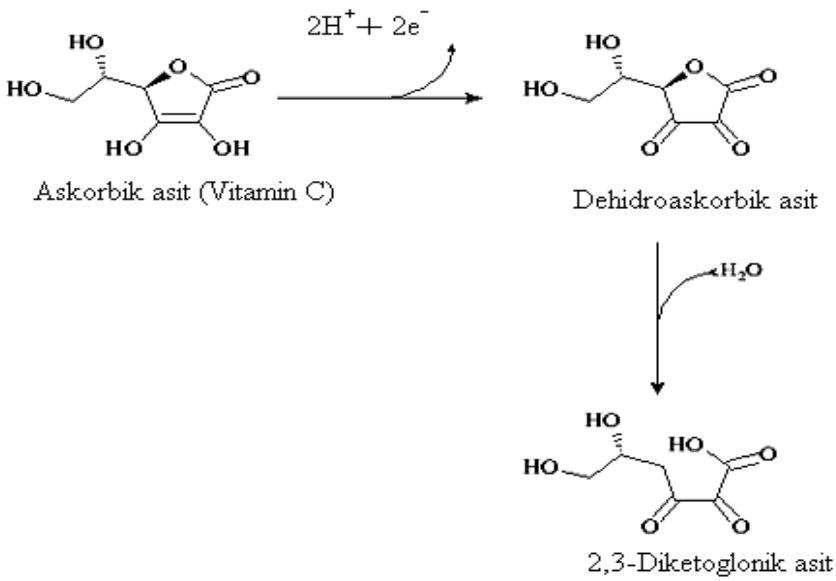
Özellikle süt tozu gibi kurutulmuş taneli yapıdaki gıdaların kalite kriterleri arasında yer almaktadır. İşlem koşulları, muhafaza şartları; ürünün kompozisyonu, pH'sı ve tane büyüklüğü çözünebilme kapasitesini etkilemektedir. Yüksek sıcaklıklarda kurutulan gıdalarda protein denatürasyonu gerçekleşebileceğinden çözünürlük önemli ölçüde azalmaktadır [11].

2.3.5 Aroma ve Tat

Aroma ve tadı sağlayan uçucu bileşikler sudan daha düşük kaynama noktasına sahip olduğundan, kurutma esnasında buharlaşma yoluyla üründen uzaklaşabilmektedir. Fakat kurutmanın ilk aşamalarında ürün yüzeyi üzerinde çepe çevre ince kuru bir tabaka oluşturulabilirse bu bileşikler muhafaza edilebilmektedir [11].

2.3.6 C-Vitamini Kayıpları

C-Vitamini veya diğer adıyla askorbik asit yüksek nem içeriğinde yüksek sıcaklıklara duyarlıdır. Kurutma esnasında askorbik asit kayıplarını minimize edebilmek için, yüksek nem içeriğinde düşük sıcaklık uygulanmalı ve ürünün nem içeriği azaldığı zaman askorbik asit daha stabil bir yapıya sahip olduğundan, sıcaklık kademeli olarak arttırılabilmektedir [12].



Şekil 2.1 Gıdaların kurutulması sırasında meydana gelen C vitamini oksidasyonu [2]

2.4 Su Aktivitesi ve Önemi

Kurutma ile gıdaların korunması iki şekilde gerçekleşir:

1. Mikroorganizmaların gelişmesi ve enzimlerin aktivitesi için gerekli olan su uzaklaştırılır,

2. Suyun uzaklaşması ile gıdada bulunan tuzların, şekerlerin ve asitlerin konsantrasyonunda artış meydana gelerek mikroorganizmaların gelişmesine elverişsiz kimyasal bir ortam oluşturulur.

Kurutulmuş gıdaların mikrobiyal stabilitesi, mikroorganizmaların yaşamsal faaliyetlerinin engellenmesi neticesinde elde edilir. Gıda kurutmasında önemli bir parametre su aktivitesidir ve gıdanın buhar basıncının (ρ), saf suyun buhar basıncına (ρ_0) oranı olarak tanımlanır. Ayrıca su aktivitesi, gıdayı çevreleyen ortamın denge bağıl nemine (ERH) oranı olarak da ifade edilir.

$$a_w = \frac{\rho}{\rho_0} = \frac{ERH}{100} \tag{2.1}$$

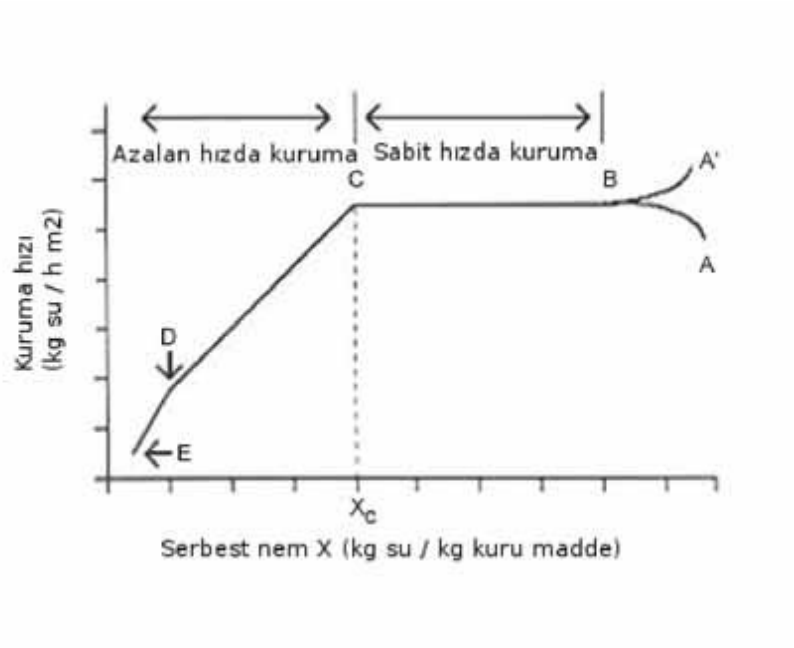
Su aktivitesi serbest suyun mikroorganizmalar tarafından kullanılabilirliğinin bir ölçüsüdür. Tüm mikroorganizmalar için optimum ve minimum bir su aktivitesi değeri vardır. Su aktivitesinin optimum seviyenin altına inmesi spor oluşumu ve bakteri gelişimini yavaşlatırken, minimumun altına indirilmesi bakteri gelişimini durdurmaktadır. Taze sebze, meyve, et ve sütün su aktivitesi 0.97 ile 0.99 arasında iken, kurutulmuş gıdaların su aktivitesi değeri genellikle 0.70 ve altındadır.

Mikrobiyal gelişimi su aktivitesinin yanında, sıcaklık, pH, gıdanın besin içeriği, koruyucular, oksijen içeriği ve diğer gıda bileşenleri gibi birçok faktör etkilemektedir. Aynı nem içeriğinde farklı gıdalar için farklı su aktivitesi değerleri elde edilebileceği unutulmamalıdır [3].

2.5 Kuruma Eğrilerinin Özellikleri

Kuruma işlemi Şekil 2.2'den de görüldüğü gibi "sabit kuruma" ve bir veya iki "azalan hızda kuruma" bölgelerine ayrılmaktadır.

Şekil 2.2'deki $A^{'}$ ve A noktaları sıcak veya soğuk bir cismi temsil etmektedir. B noktası ise ürün yüzeyinin denge noktasını göstermektedir. A (veya $A^{'}$) ile B noktası arasında geçen sürenin kısa olmasından dolayı kuruma süresinin analizi sırasında ihmal edilmektedir [6]. Tipik bir kuruma eğrisinin basamakları aşağıdaki şekilde görülmektedir.



Şekil 2.2 Kuruma Eğrilerinin Temel Özellikleri [7]

1. Sabit Kuruma Periyodu (B-C): Eğer kurutma işleminin başında, malzeme tamamıyla nemli ise, su akışı hidrolik gradiyent altında gerçekleşmektedir. Nem serbest formda ve yüzeyde tutulmakta ve buhar basıncı, dolayısıyla buharlaşma en yüksek seviyede olmaktadır [7]. Teorik olarak üründen buharlaşan su miktarı ile saf sudan buharlaşan su miktarı aynı kabul edilmektedir. Pratikte ise bu farklı olabileceğinden genellikle üründe buharlaşan su miktarının 80% ve daha fazla olduğu safha olarak da kabul edilmektedir. Malzemenin yüzey sıcaklığı ıslak termometre sıcaklığında olduğundan sabit kuruma periyodu bazen ıslak termometre kuruma periyodu olarak da adlandırılabilmektedir. Dolayısıyla ürün yüzeyindeki kısmi basınç ve nem miktarı, üzerinden geçen havanın ıslak termometre sıcaklığında doyma buhar basıncı ve doyma nemine eşit olacaktır. Kuruma hızını etkileyen diğer önemli bir parametre de kütle transferini doğrudan etkilediğinden dolayı havanın hızı olmaktadır [13].

2. Birinci Azalan Kuruma Periyodu (C-D): Bu periyotta da sabit kuruma periyodunda olduğu gibi buhar basıncı halen en yüksek seviyelere yakındır. Gıdanın yüzey sıcaklığı ıslak termometre sıcaklığının üzerine çıkmakta ve suyun iç bölgelerden yüzeye difüzyon ile taşındığı genel olarak kabul edilmektedir.

3. İkinci Azalan Kuruma Periyodu (D-E): Kuruma hızı çok hızlı bir şekilde azalmaktadır. Su gıda içindeki ince kılcallarda tutulmakta ve kılcal yüzeylerinden çok yavaş bir şekilde geçebilmektedir. Suyun kısmi buhar basıncı da çok hızlı bir düşü göstermektedir.

4. Üçüncü Azalan Kuruma Periyodu: Bu periyotta hava ile denge elde edilmekte olup buharlaşan su miktarı yoğunlaşan su miktarına eşit olmaktadır [7].

BÖLÜM 3

KURUTMA SİSTEMLERİ

3.1 Güneş Enerjisi ile Çalışan Kurutucular

Doğrudan ya da dolaylı güneş enerjisini kullanan kurutucular bu sınıfa girmektedirler. Güneş enerjisiyle çalışan kurutucular genel olarak ısıtma biçimleri ve güneş enerjisinde faydalanma şekillerine göre iki ana sınıfa ayrılırlar:

Pasif güneş enerjili kurutma sistemleri,

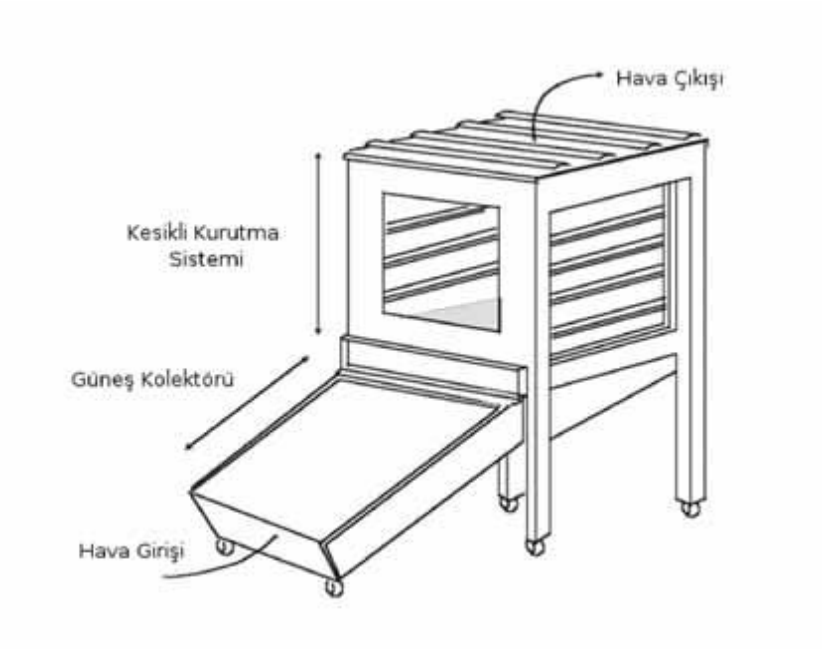
Aktif güneş enerjili kurutma sistemleri,

3.1.1 Pasif Güneş Enerjili Kurutma Sistemi

Tropik ülkelerde pasif kurutma geleneksel olarak iki şekilde yapılmaktadır. Ürünün yetiştiği bitki toprakla temas halindeyken ya da yerinden alınmadan kesilerek ölmesine izin verilir. Böylece mahsul yerinde kurutulmuş olur. Ürün toprağa, hasıra ya da çimento zemine yayılır veya yatay ya da dikey raflara konularak güneş enerjisi ve doğal hava akımları ile kurutulur (Şekil 3.1.). Yüksek ürün kaybı, küf ve böcek oluşumu, kuş ve kemirgen zararı ve değişen hava koşulları gibi kısıtlayıcı faktörler bu tip sistemlerin dezavantajları arasında yer almaktadır [14]. Genel olarak bu şekilde kurutulmuş ürünler uluslararası kalite standartlarını sağlayamadıklarından uluslararası pazarlarda satılmamaktadırlar [15].

3.1.2 Aktif Güneş Enerjili Kurutma Sistemleri

Aktif güneş enerjili kurutma sistemleri kısmi olarak güneş enerjisine bağımlıdırlar. Isıtma sistemlerinde, güneş enerjisi ve/veya elektrik enerjisi ya da fosil yakıtlar kullanırken, hava sirkülasyonu için fanlar kullanılmaktadır. Tipik bir aktif güneş enerjili kurutma sistemi, ısı kaynağı olarak yalnızca güneş enerjisi kullanırken, kuruma havasının sirkülasyonu için fanlar ve/veya pompalar kullanılır [14]. Hava ürün boyunca dolaşırken yüksek dirençle karşılaştığından, sadece birkaç tane tepsi hava akımını engellemeksizin yerleştirilebilir [15].



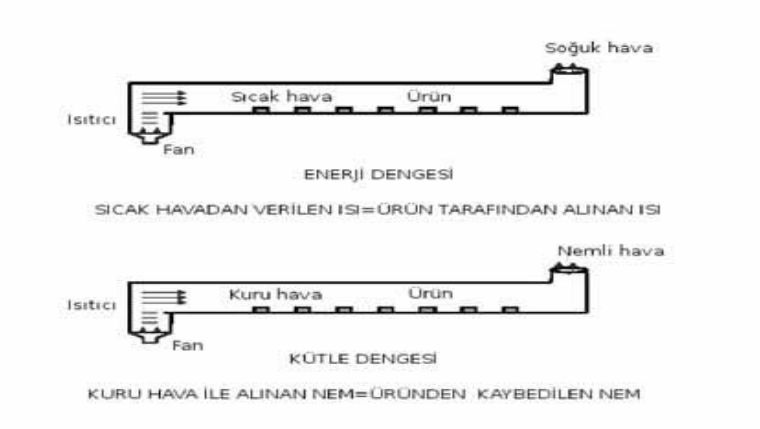
Şekil 3.1 Kabinet Tipi Güneş Enerjili Kurutucu [16]

Aktif güneş enerjili kurutucuların diğer kullanım alanları ise büyük ölçekli ticari kurutmalardır. Burada güneş kolektörleri fosil yakıtlı kurutuculara ek olarak kullanılmakta ve böylece toplam enerji harcaması azalırken, kurutma koşulları kontrol altında tutulabilmektedir.

3.2 Sıcak Hava İle Kurutma Sistemleri

Geçmişi çok eskilere dayanan ve halen yaygın olarak kullanılan kuruma tekniklerinden birisi de sıcak hava ile ürünün kurutulmasıdır. Ürün içinde bulunan nemin buharlaştırılması için gerekli olan gizil ısı hava tarafından sağlanır ve buharlaşan nem üründen hava vasıtasıyla uzaklaştırılır. Hava ile ürün arasında ısı ve nem transferi aynı

anda gerçekleşir (Şekil 3.2) ve bu şekilde ürünün nemi ve dolayısıyla su aktivitesi azaltılır.



Şekil 3.2 Hava ile Kurutma İşlemi [3]

Sıcak hava ile kurutma işleminde, kurutma iki alt guruba ayrılır:

Aktif kurutma olarak da adlandırılan ve gıdayı çevreleyen hava tarafından gıdaya transfer edilen enerji vasıtasıyla ürün yüzeyindeki nemin buharlaştırılması aşaması: Sabit kuruma periyodu olarak da adlandırılabilecek bu fazda, nemin gıdadan uzaklaştırılma hızı havanın sıcaklık, nemi, hızı, basıncı ve ayrıca hava ile temas eden ürünün yüzey alanına bağlı olmaktadır.

Kısıtlanmış veya dirençli kurutma olarak da adlandırılabilen ve ürün içinde bulunan nemin yüzeye taşınıp daha sonra uzaklaştırılması aşaması: Bu fazda nemin katı içindeki hareketi ürünün fiziksel yapısına, sıcaklığına ve nem içeriğine bağlı olarak gerçekleşmektedir.

Kurutma sırasında ürün ile kurutma ortamı arasındaki ısı transferi ve havanın termodinamik koşulları kuruma hızı üzerinde oldukça etkilidir. Etkili olan parametreler aşağıda sunulmaktadır [3]:

1. Isı Transferi

- Isıtma ortamı ile sıvı yüzeyi arasındaki ısı transferi,
- Ürünün katı tabakalarından ürün içinde bulunan sıvıyla gerçekleşen ısı transferi,
- Isıtma ortamından yaklaşık olarak kurumuş olan ürüne olan ısı transferi,

- Ürün içinde bulunan sıvının (gıdalar için çoğunlukla su) ısıl iletkenlik katsayısı ve gizli ısı kapasitesi,
- Nemli ürünün veya yaklaşık olarak kurumuş ürünün ısıl iletkenlik katsayısı,
- Kurutulacak ürünün sıcaklığa bağlı sıvılaştırılabilme özelliği; bazı ürünler içinde bulunan sıvı buharlaştırılmadan eriyebilmektedir.

2. Havanın Termodinamik Koşulları

- Havanın sıcaklık ve basıncı,
- Havanın kuruma sırasında bileşimindeki değişimi,
- Ürün yüzeyinden geçen havanın bağıl hızı.

Sabit kuruma periyodunda, ürüne paralel olarak akan nemli havanın ısı transfer katsayısı aşağıdaki eşitlik ile hesaplanabilmektedir:

$$h_c = 0.057 \times G \times 0.8 \quad (3.1)$$

$$G = \rho \upsilon \quad (3.2)$$

Eşitlik (3.1)'de h_c ($W/m^2.{}^0C$) taşınım ısı transfer katsayısını ve G ($kg.m^{-2}.s^{-1}$) ise ürünün birim alanı üzerinden geçen havanın kütlesini göstermektedir. Azalan kuruma periyodunda ise ürün kurudukça ısı transferinin dolayısıyla havanın hızının etkisi azalacağı için (3.1) no'lu eşitliğin kullanımında hatalar ortaya çıkabilmektedir.

Havayı ısıtmak için harcanan yakıt kurutma işlemindeki en önemli ekonomik faktördür. Ticari kurutucular bu maliyeti azaltabilmek için ısı kayıplarını indirgeyecek veya havanın enerjisini kazanacak şekilde tasarlanmışlardır. Brennan (1992) kurutma işleminin ekonomik olabilmesi için aşağıdaki faktörlere dikkat çekmektedir.

- Kurutma kabinleri veya sıcak havayı taşıyan kanalların izolasyonu,
- Kurutma sonrası dışarı atılan havanın tekrardan sisteme verilmesi,
- Doğalgaz ile çalışan direkt alev ısıtmalı ve kükürt oksit miktarının düşük olduğu yakma ünitelerinin kullanılması,
- İki aşamalı kurutma yapılması (iki farklı kurutma teknolojisinin aşamalı olarak ürüne uygulanması),

- Çok tesirli evaporatör kullanarak sıvı ürünlerin yüksek katı madde içeriğinin kurutma öncesi konsantrasyonu,
- Havanın neminin otomatik olarak kontrol edilmesi [3].

Ürünün fiziksel ve kimyasal yapısına ve arzu edilen son nem miktarına göre sıcak hava ile kurutma farklı sistemler ile gerçekleştirilebilmektedir:

3.2.1 Tepsili, Tünel ve Bantlı Kurutucular

Tünel kurutucular meyvelerin kurutulması için çoğunlukla tercih edilmektedirler. Tepsili kurutuculara benzemelerine karşın tünel kurutucularda tepsiler hava akımına paralel veya zıt yönde ilerlerler. Tünel kurutucular basit olmalarına karşın verimli olarak çalışırlar. Büyük miktarlardaki ürünün kurutulmasına olanak sağladığından endüstriyel kurutmaya oldukça uygundurlar. Genellikle kayısı, şeftali, armut, elma, incir ve benzeri ürünlerin kurutulmasında kullanılırlar.

Bantlı kurutucular tünel ve tepsili kurutuculara kıyasla pahalı olmalarına karşın, daha fazla miktarda ürünün sabit kalitede üretilmesine olanak sağlamaktadırlar. Yaklaşık 60m uzunluğundaki bir ekipman ile saatte iki tondan yedi tona kadar değişen miktarlarda ürün kurutabilmektedir. Bu tip kurutucuların en büyük avantajı otomatik kontrolün kolay olmasından dolayı işçilik maliyetinin düşürülebilmesidir [3].

3.2.2 Püskürtmeli Kurutucular

Püskürtmeli kurutucu, kurutulması istenen, pompalanabilir akışkanın kurutma ortamı olarak kullanılacak yüksek sıcaklıktaki gaz akışkana püskürtülmesi ile katı/ yarı katı duruma geçmesi olarak tanımlanabilir. Ürünün yüzey alanı püskürtme işlemi ile arttırıldığından, 3-40 saniye gibi kısa sürede çok hızlı bir kurutma sağlanarak, yüksek kalitede son ürün kalitesi elde edilir. Örnek olarak 1lt akışkan, 12 milyar parçacık halinde püskürtülerek, yaklaşık 30 m^2 yüzey alanında kurutma işlemi gerçekleşir. Püskürtme 100 mikronluk ortalama parçacık boyutunda yapıldığında 1 kg'lık üründe yaklaşık 3000 m^2, 20 mikron boyutunda ise yaklaşık 15000 m^2 yüzey alanı oluşur. Kurutucuya beslenen madde çözelti, derişik çözelti ya da süspansiyon olabilir. Toz halindeki kurutulmuş ürün 100 mikrondan küçük tek parçacıklardan ya da çözünürlüğü arttırmak için bir araya getirilmiş parçacıklardan ve boşluklardan, başka bir ifade ile

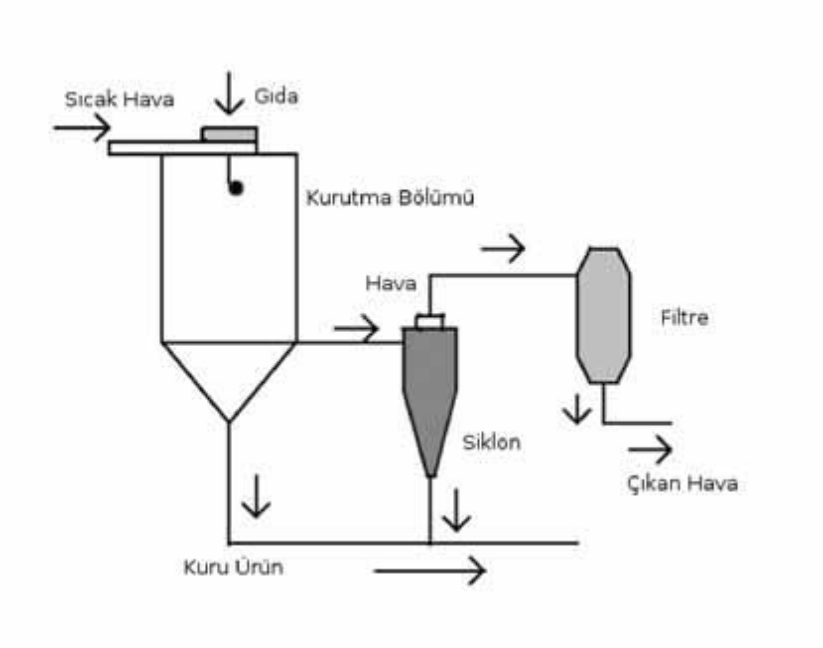
250-400 mikron mertebelerindeki gözenekli topaklardan oluşabilir. Bu ayrım beslemenin fiziksel ve kimyasal özelliklerine, kurutucu tasarımı ve çalışma koşullarına bağlı olarak gerçekleşebilir [3].

Süt endüstrisindeki ilk püskürtmeli kurutma işlemi denemelerinin geçmişi 1800 yıllarına dayanır; fakat 1850'ye kadar sütün büyük ölçekte kurutulması mümkün olmamıştır. Diğer taraftan tüm çalışmalarda süte şeker, sülfürik asit ya da alkali eklenmesi gerektiğinden, o günlerde yapılan uygulamalarda elde edilen ürünün saf olduğunu iddia etmek oldukça zordur. Sütün lüleler yardımı ile kapalı bir ortamdaki sıcak havaya püskürtüldüğü ilk püskürtmeli kurutucu patenti Alman Stauf tarafından 1901 yılında alınmıştır. Amerikalı Grey ve Danimarkalı Jensen'in lüleli püskürtmeli kurutucu geliştirmesi ve bunu ticari ölçekli üretip 1913 yılından itibaren satmaları ile yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır. İlk dönel atomizer 1912 yılında Alman Kraus tarafından geliştirimliş fakat asıl 1933 yılında Danimarkalı mühendis Nyrop'un dünya çapında patent alması ile püskürtmeli kurutucuların etkin bir şekilde kullanılmalarının önü açılmıştır [3].

- Bir püskürtmeli kurutma sisteminde temel olarak şu bileşenler mevcuttur.
- Kurutma hacmi,
- Sıcak hava sistemi ve dağıtımı,
- Ürün besleme sistemi,
- Atomize cihazı,
- Toz ayrıştırma sistemi,
- Pnömatik aktarma ve soğutma sistemi,
- Kurutma/soğutma sonrası ek kurutma amaçlı akışkan yatak,
- Proses kontrol cihazları ve otomatik kontrol sistemi.

Bunların bir arada çalışmasının genel ilkeleri aşağıda sunulmuştur. Kurutucu hacim olarak genelde 400^0-600^0 konik açılı, paslanmaz çelik silindirik tasarımlar kullanılır. Üzerlerinde 80-100 mm yalıtım olması ısı kayıplarını azaltma açısından tercih edilir. İç bölümün hava akımını herhangi bir şekilde engellemeyecek, dolayısı ile toz birikimi

olmayacak şekilde yapılması gerekir. Hacim üzerinde gözetleme camı/kapısı, ışık kaynağı, basınç emniyet ventilleri ile su veya buharlı yangın söndürme cihazları bulunmalıdır [3]. Şekil 3.2'de örnek bir püskürtmeli kurutma sistemi görülmektedir.



Şekil 3.3 Açık Döngü Püskürtmeli Kurutma Sistemi [7]

Temel olarak ürün, viskozitesinin azalması ve kurutma ekonomisinin sağlanması amacıyla ön ısıtmaya tabi tutulur. Kurutma işlemi için besleme akışkanı sıvı ürün deposundan atomizer cihaza pompalanır. Atomizasyon işlemi etkin bir kurutmanın yapılabilmesi için son derece önemlidir. Sıcak hava ve püskürtülen akışkan paralel (parçacık ve hava aynı yönde hareketli), çapraz (parçacık ve hava ters yönde hareketli) ve karışık (hem paralel hem de çapraz bir arada) akışta hareket edebilirler. Paralel akışta ürün sıcaklığı çıkan hava sıcaklığından düşük olduğundan, sıcaklığa duyarlı ürünlerde daha çok tercih edilirler. Diğer taraftan oksijene duyarlı ürünlerde hava yerine azot gazı inert (ürün ile herhangi bir reaksiyona girmeyen) kurutma ortamı olarak kullanılabilir.

Atomizer santrifüj kuvveti etkili olduğu dönel; basınç ile ortaya çıkan kuvvet etkili olduğunda basınç lüleli ve kinetik enerji etkili olduğu zaman iki akışkan lüleli ya da ultrases lüleli olabilir Dönel atomizer viskoz maddelerde, kristalli yapılarda daha yüksek kuru madde içeriklerinde avantaj taşır. Basınç lüleleri, yüksek basınç düşük kapasiteli (300-400 bar, % 40-42 kuru maddeli akışkan için lüle başına 50-150 kg/h besleme debisi) ile düşük basınç yüksek kapasiteli lüleler(150-200 bar, % 48 kuru maddeli

akışkan için lüle başına 1000-1500 kg/h besleme debisi) olmak üzere iki çeşittir. Daha sonra akışkan sıvı, 10 ile 200 mm çapında düşük damlacıkların oluşabilmesi amacıyla pompalanarak bir nozül veya atomizerden geçirilerek yüksek miktarda yüzey alanı elde edilir. Damlacıklar kurutma bölgesine püskürtülüp 1500 ile 2000 arasında değişen sıcak hava ile temas ettirilmek vasıtasıyla kurutulurlar. Kuru ürün sıcak havadan siklon veya filtreler ile ayrılırlar.

Ürünün kurutucu hacme beslenmesi ile eş zamanlı olarak hava, kurutucu hacmin tepesinde bulunan dağıtıcılar yardımı ile ortama verilir. Bunun öncesinde kurutma havanın dış ortamdan filtreden geçirilerek alınması ve ısıtılarak fan yardımı ile ortama beslenmesi gerekir. Boru üzeri kanatçıklı doğrudan olmayan ısıtma sistemi kullanılarak 5 (m/s) hızındaki kurutma havası 175-250^{0}C'ye kadar ısıtılabilir. Isıtmanın doğrudan doğal gaz yakılarak yapıldığı sistemlerde istenirse 2000^{0}C'lere kadar erişilebilir. Bu durumda yanma ile ortaya çıkan su ve NO_X' lara dikkat edilmelidir.

Atomize edilmiş damlacıklar sıcak hava ile temas ettiklerinde buharlaşma gerçekleşir ve bu sırada buharlaşma gizil ısıları üründen ve havadan alınarak, her ikisi de soğurlar. Püskürtülen maddenin kurutulmasından sonra kurutulmuş ürünün çoğu kurutma hacminin tabanına düşer ve pnömatik taşıma ile soğutma sistemine alınır. Pnömatik taşıma toz ürünün tipine göre 4-5 kat fazla hava debisi ile yapılır. Hava hızı 20 m/s' ye kadar çıkabilir. Kurutucu içindeki kurutma yeterli gelmezse akışkan yataklı ek kurutma sistemi kullanılabilir [3].

Püskürtmeli kurutuculardа nem çok hızlı bir şekilde buharlaşır ve kurumanın büyük bölümü küçük damlacıkların yüzey/hacim oranından dolayı sabit kuruma periyodunda gerçekleşir. Dolayısıyla ürünün sıcaklığı büyük çoğunlukla havanın ıslak termometre sıcaklığında kalır. Kurumanın sonlarına doğru ürünün sıcaklığı artsa da bu süre çok kısa (1-20 saniye) olduğundan ürüne herhangi bir zarar vermez [3]. Toz halindeki çok küçük taneler kurutma havası içinde kaldıklarından, hava dışarı verilmeden ayrılmaları gerekir. Bunun için siklonlar, torba filtreler ve ıslak tutucular kullanılır.

Çapı 1 m'den az siklonlar yüksek verimli olmalarına rağmen, zor temizlenmeleri, girinti-çıkıntılarında mikrobiyal birikimlere daha açık olmaları nedeniyle günümüzde %99.5 verimli, 2,5-3 m çapındaki, 25000-30000 (kg hava/h) kapasitesine sahip püskürtmeli kurutucular daha çok tercih edilirler. Torba filtreler % 99.9 verimle çalışırlar. Ancak

işçilik maliyetleri ve sanitasyon gibi problemleri bulunur. Islak tutucular da tozlu hava dışarı verilmeden önce suyun, sütün ya da peynir altı suyunun içinden geçirilerek, tozun ayrılması sağlanır. Bazı uygulamalarda egzost havası doğrudan dışarı verilmeyip, besleme havasının ısıtılması için kullanılabilir. Isının bu şekilde geri kazanımına rejenerasyon denilir. Isı geri kazanımı ve besleme akışkanının derişikliğine bağlı olarak her 1 kg suyun buharlaşması için 700-1000 kcal'ye ya da her 1 kg kurutulmuş ürün için 1000-1600 kcal ısı enerjisine ihtiyaç duyulur.

Püskürtmeli kurutucular gıda sanayisinde süt, peynir altı suyu, laktoz, yumurta vb. üretiminde yoğun olarak kullanılırlar [3].

3.2.3 Akışkan Yatak Kurutucular

Gıda maddesinin hava ile akışkan hale getirilmesi prensibine dayanmaktadır. Parçacık üzerindeki basınç düşümü ile orantılı olarak hava tarafından uygulanan kaldırma kuvveti parçacığın ağırlığına eşit olduğu zaman, parçacık akışkanlaşmaya başlar. Havanın sahip olabileceği minimum hız gıda maddesini akışkanlaştırmaya yetecek derecede olmalıdır. Bu ise gıdanın boyutları, şekli ve yoğunluğu ile değişmektedir. Tipik olarak hava hızı akışkanlaşma hızının 2 ile 4 katı arasında değişmektedir. Parçacığın akışkanlaştırılması ile kurutma yüzey alanı artacağından, kütle ve ısı transferi de artmaktadır. Tipik bir akışkan yatak kurutucu saatte 10 kg ile 100 ton arasında gıdayı 1 dakika ile 2 saat arasında değişen bir zamanda kurutabilmektedir.

3.3 Dondurarak Kurutma Sistemleri

Dondurarak kurutma sistemine liyofilizasyon da denmektedir. İlk olarak 1940'larda kuru plazma ile kan ürünlerinin büyük miktarda üretimi için geliştirilmiştir ve daha sonra antibiyotik ile biyolojik maddeler endüstriyel ölçekte dondurularak kurutma ile hazırlanmıştır.

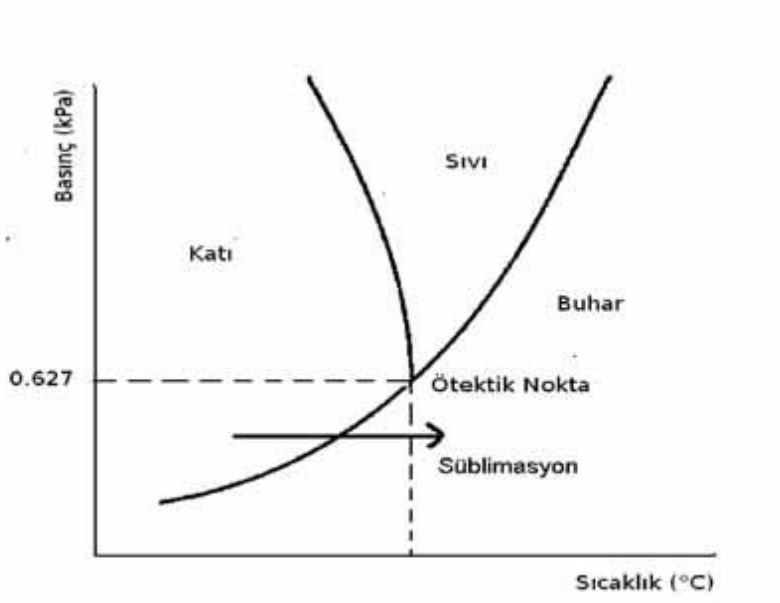
Sıcak hava ile kurutma ve dondurarak kurutma arasındaki farklar aşağıdaki tabloda verilmiştir. Her ikisinin de ayrı ayrı avantajları bulunurken, kalite açısından dondururarak kurutma öne çıkmaktadır. Dondurarak kurutma genel olarak iki basamaktan oluşur. İlk olarak ürün dondurulur ve daha sonra ürün indirgenmiş basınç altında direkt süblimasyon ile kurutulur [6]. Şekil 3.3'de de görüldüğü üzere

süblimasyonu sağlamak için basıncı kritik noktanın (P_c, T_c) altına indirilirken sıcaklık arttırılır. Sıcak hava ile kurutma ve dondurarak kurutma arasındaki farklar Çizelge 3.1'de verilmektedir.

Çizelge 3.1 Sıcak hava ile kurutma ve dondurarak kurutma arasındaki farklar [16]

Sıcak Hava ile Kurutma	**Dondurarak Kurutma**
Sebze ve tane gibi kolay kuruyan ürünlerde başarılıdır.	Birçok üründe başarılı olarak uygulanabilmesine rağmen, diğer yöntemler ile kurutulamayan gıdalar ile uygulaması sınırlıdır.
Et ürünlerinde başarılı değildir.	Pişmiş ve ham etin kurutulmasında başarıyla kullanılabilir.
Sıcaklık 37^0C ile 97^0C arasında değişebilir.	Sıcaklık donma noktasının altında olabilir.
Atmosferik basınçta gerçekleşir.	Basınç oldukça düşüktür. (27-133 Pa)
Suyun gıda yüzeyinden evaporasyonu ile gerçekleşir.	Buzun süblimasyonu (katı fazdan direk buhar fazına geçiş) ile gerçekleşir.
Katı madde hareketinden kaynaklanan yüzey sertleşmesi gerçekleşebilir.	Katı madde hareketi minimum seviyededir.
Ürün üzerindeki stresten dolayı yapısal bozulmalar ve büzülme meydana gelir.	Büzülme ve yapısal değişimler minimum seviyededir.
Kurutulan ürünün rehidrasyonu minimum seviyededir.	Hızlı rehidrasyon meydana gelir.
Koku ve aroma çoğunlukla değişmektedir.	Koku ve aroma muhafaza edilmektedir.
Ürünün rengi genellikle kurutma sonunda daha esmerdir.	Ürünün rengi muhafaza edilebilmektedir.
Kurutma maliyeti düşüktür.	Kurutma maliyeti sıcak havaya göre genellikle 4 kata kadar daha fazladır.

Dondurarak kurutma pahalı olmasına karşın kalite açısından ele alınacak olursa en iyi kurutma yöntemidir. Diğer taraftan pahalılığın ürün fiyatına göre izafi bir değer olduğu akıldan çıkarılmamalıdır. Hammaddenin ilk görünüşünü, tadını, rengini, lezzetini, yapısını koruması dondurarak kurutmayı en iyi kurutma yöntemi yapmaktadır. Ürün ayrıca ilk şeklini ve boyutlarını koruduğu için rehidrasyon özellikleri iyi olmaktadır [16].



Şekil 3.4 Suyun Faz Diyagramı [17]

Dondurarak kurutulmuş gıdaların rehidrasyon oranı genellikle hava ile kurutulanlardan 4-6 kat daha yüksek olduğundan, hazır yemek ve çorba gibi dondurarak kurutulmuş ürünleri mükemmel yapmaktadır [17]. Bununla birlikte kurutmada itici güç olan buhar basıncı konvansiyonel metotlara göre oldukça düşük olduğundan, kurutma zamanı diğer yöntemlere göre daha uzun, dolayısıyla maliyet bağıl olarak daha fazladır.Bu nedenle dondurarak kurutma, pahalı sebzelerin kurutulmasında ekonomik bir yöntem olmaktadır [16].

Dondurarak kurutma gıdaların raf ömrünü uzatma için cazip bir yöntem olarak gösterilmektedir. Gıda ürünlerinin dondurularak kurutulması iki temel nedenden dolayı tercih edilir [6]:

1. İşlem sırasında hava yok sayılacak kadar azdır: Düşük işleme sıcaklığı ve havanın yokluğu oksidasyona bağlı bozulmaları ve kimyasal modifikasyonları önlemektedir.

2. Ortam sıcaklığından daha düşük sıcaklıklarda kurutma: Yüksek sıcaklıkta yapıda, görünümde ve/veya aromada değişiklik veya bozulma oluyorsa, vakum altında minimum zararla kurutulabilirler.

Dondurarak kurutma işlemi üç temel basamaktan oluşmuştur. Bunlar ürünün dondurulması, birincil kurutma ve ikincil kurutmadır. Dondurma aşamasının temel amacı ürün içinde hareketli halde bulunan serbest suyun dondurulmasıdır. Dondurma aşaması ürünün yapısı, şekli, içinde bulunan buz kristallerinin dağılımı açısından önemli olduğundan son ürünün yapısını da etkilemektedir.

Birincil kurutma aşamasında donmuş ürün süblimasyon gerçekleşebilmesi için vakum altında ısıtılır. Bu sırada ürün ötektik nokta (Şekil 3.3'te 0.627 kPa ve 0^0C noktası) altında tutulur. Birincil kurutma aşamasında ürün içinde bulunan nemin % 90'ı, serbest suyun tamamı ve bir kısım bağlı su, süblimasyon yolu ile uzaklaştırılır. İkincil kurutma aşamasında donmamış halde bulunan bağlı su desorpsiyon yolu ile kuru tabakalardan uzaklaştırılarak son üründe % 1-3 arasında nem kalır.

Son aşama sıcaklık arttırılarak ve suyun kısmi buhar basıncı düşürülerek gerçekleştirilir. İkincil kurutma aşaması bağlı suyun düşük buhar basıncından dolayı birincil kurutma aşamasının % 30-50'si arasında bir zaman dilimine ihtiyaç duyar. Dondurarak kurutma işlemi mevcut tüm serbest ve bağlı su uzaklaştığı zaman sonlandırılır. Son durumda ürün içinde kalan nem miktarı ürünün yapısal bütünlüğüne ve raf ömrüne etki etmeyecek miktardadır [3].

Dondurarak kurutma sırasında dondurma, vakum, süblimasyon ve yoğunlaştırma işlemleri meydana gelir. Çizelge 3.2'de her bir işlemin harcadığı enerji yüzdesi görülmektedir.

Çizelge 3.2 Dondurarak Kurutma İşleminde enerji Harcanması [3]

Aşama	Enerji Harcaması (%)
Dondurma	4
Vakum	26
Süblimasyon	45
Yoğunlaştırma	25

Çizelge 3.2'den anlaşılacağı üzere süblimasyon neredeyse enerjinin yarısını harcarken, dondurma aşaması yüksek enerji tüketmemektedir. Vakum ve yoğunlaştırma aşamalarının enerji harcaması hemen hemen eşit sayılabilir. Klasik vakum dondurarak-kurutma işleminde yapılacak herhangi bir yenilik şu noktaları amaçlamalıdır [17]:

- Süblimasyona yardımcı olabilmek için ısı transferinin geliştirilmesi,
- Vakumun kısıtlanması için kurutma zamanının azaltılması,
- Yoğunlaştırıcı kullanımından sakınılabilmesi.

Dondurularak kurutulacak maddeye mikrodalga ışınım uygulandığında kuru tabakalar etkilenmez ve ışınım donmuş bölge tarafından adsorbe edilir. Donmuş bölgenin yüksek ısıl iletkenliği olduğundan, mikrodalga enerji kullanılarak süblimasyon süresi ve dolayısıyla dondurarak kurutma zamanı % 60-65 oranında azaltılabilmektedir. Ek olarak konvansiyonel dondurarak kurutma ile mikrodalga enerji kullanılarak yapılan dondurarak kurutma karşılaştırıldığında, ürünler benzer veya mikrodalga kullanılarak kurutulduğunda daha yüksek kalitede olmaktadır [17].

Dondurarak kurutmanın diğer kurutma yöntemlerine göre avantajı son ürünün oldukça kaliteli olmasıdır. Bu avantajları aşağıdaki şekilde listelemek mümkündür.

1. Aroma ve tadın oldukça iyi muhafazası,

2. Besinsel değerin yüksek miktarda korunması,

3. Büzülmenin minimum olması,

4. Şekil, renk ve görünüşün minimum derecede değişmesi,

5. Yapı ve doku üzerine ihmal edilecek miktarda az etki etmesi ve son yapının gözenekli olmasından dolayı rehidrasyon özelliklerinin iyi olması.

3.4 Mikrodalga İle Kurutma

Mikrodalga 300 MHz ile 300 GHz frekans aralığındaki elektromanyetik dalgalardır. Dielektrik maddelerin ısıtılmasında rol oynayan iki ana mekanizma dipol rotasyon ve iyonik polarizasyondur. Nem içeren gıda maddesi mikrodalga radyasyonuna maruz kaldığında, su gibi dipol molekülleri, hızlı bir şekilde değişen elektrik alanıyla birlikte dipolleri sıraya sokma eğilimi gösterir. Sonuç olarak oluşan sürtünmeyle ısı açığa çıkar ve bu ısı komsu moleküllere iletilir. Mikrodalgayla kalın maddeler kolaylıkla ısıtılabilir, ayrıca yüksek nem içeriğine sahip maddelerin çeşitli bölgeleri seçimli olarak ısıtılabilir. Mikrodalgayla ısıtılan ürün içerisinde bulunan serbest nem hızla buharlaşır ve uzaklaştırılan nem oranı taşınımla kurutmaya göre daha yüksektir [3].

BÖLÜM 4

MİKRODALGA VE GIDA SANAYİSİNDE KULLANIMI

Mikrodalga teknolojisi 2. Dünya Savaşı sırasında askeri ekipmanların üretimi ve dizaynı üzerine yapılan çalışmalarda keşfedilmiştir. İlk mikrodaga enerjiyi üreten mikrodalga tüpleri İngiltere'de Sir John Randall ve Dr. H. A. Boot tarafından 1940 yılında icat edilmiştir [2].

Bundan 6 yıl sonra Percy Spencer adındaki Raytheon Sirketi adına radar parçaları üreten Amerikalı bir mühendis, mikrodalga laboratuvarına giderken yanında götürdüğü çikolatayı laboratuvardaki bir aygıtın yanına bıraktığında kendiliğinden eridiğini gördüğünde mikrodalga teknolojisinin gıda sektöründe kullanılabildiğini tesadüf ile de olsa keşfetmiş oldu. Raytheon tarafından, sanayi mutfakları için tasarlanmış ilk mikrodalga fırını, 340 kiloluk ve pişirdiklerini yakmaması için sürekli dik tutulması gereken bir fırındı. 1952 yılında ise ilk ev modeli mikrodalga fırın üretildi [2].

Günümüz gıda endüstrisinde mikrodalga enerji uygulamaları yeni bir teknoloji olmasına karşın, çok yaygın bir kullanım alanı bulmakta ve bugün kullanılmakta olan birçok ısısal işlemin yerini alacak bir başarı ve potansiyel göstermektedir. 1978'de 122 adet olarak bilinen sanayi tipi mikrodalga ekipman kullanımının, 1991 yılında 360 adet olduğu bildirilmiştir. Bugün ise endüstriyel olarak kullanılan mikrodalga ekipmanlarının sayısı kesin olarak bilinmemektedir. Mirodalga ısıtma enerjisi 1960'lı yıllardan beri proses mühendisleri tarafından sanayide uygulanmaktadır. İlk uygulamalar gıda sanayisinde görülmüş çeşitli endüstrilerde ve laboratuvarlarda son on yıldır yaygın olarak mikrodalga kullanılmıştır [2].

Mikrodalga teknolojisinin kullanıldığı alanlar; gıda prosesleri (ısıtma, çözme, kalite kontrol), endüstriyel ürünlerin kurutulması (kağıt, odun), kimyasal reaksiyonların hızlandırılması (mikroreaksiyon kontrolü), endüstriyel ürünlerin eritilmesi (cam, lastik, sulu çamur), sinterleme (seramik, maden tozu), plazma üretimi, mineral prosesleri (kaya parçalama, ufalama), atık arıtma ve geri dönüşüm prosesleridir. Gıda endüstrisi mikrodalga enerjisinin en çok kullanıldığı alandır. Bu enerji yemek pişirme, buz çözme, temperleme, kurutma, dondurarak kurutma, pastörizasyon, sterilizasyon, fırında pişirme ve ısıtma işlemlerinde kullanılmaktadır [18].

4.1 Mikrodalga Kaynakları ve Temel Özellikleri

Vakum tüpleri, yüksek güç ve frekanslardaki mikrodalgaların elde edildiği kaynaklardır. Mikrodalga ile ısıtma için kullanılan vakum tüpleri; magnetron, yürüyen dalga tüpleri (TWT) ve klystronu içermektedir [19]. Magnetron tüpü endüstride ve evde en yaygın kullanılan mikrodalga kaynağıdır. Magnetronun merkezinde anot tarafından çevrilmiş, elektron yayan bir katot bulunmaktadır [18].

Mikrodalgalar, 1 mm-1 m dalga boyu ve 300 MHz-300 GHz frekans aralığında bulunan, elektromanyetik spektrumun belirli bir kısmını kapsayan iyonize edici olmayan elektromanyetik dalgalardır [20]. Mikrodalgalar elektromanyetik spektrumda kızılötesi ışınlar ile radyo dalgaları arasında yer almaktadır [18]. Federal Komünikasyon Komitesi (FCC-ABD) tarafından Kuzey Amerika'da sadece 915, 2450, 5800 ve 24225 MHz frekanslarının kullanımına izin verilmiştir. Genel olarak ev tipi mikrodalga fırınlarda 2.45 GHz frekansı, endüstriyel proseslerde 2.45 GHz ya da 915 MHz frekansları ve son iki frekans değeri ise sadece laboratuvarda ve araştırma projelerinde kullanılmaktadır. Uluslararası Telekomünikasyon Birliği de elektromanyetik spektrumdaki belirli frekans bantlarının endüstriyel, bilimsel ve medikal amaçlarla kullanımında düzenlemeler yapmıştır [10].

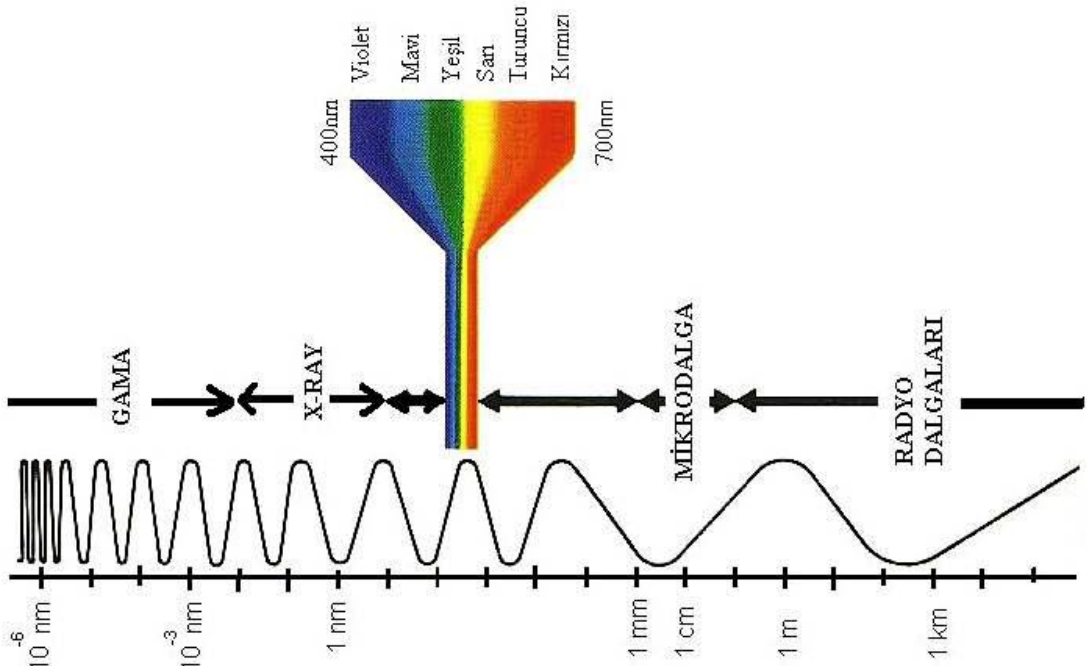
4.1.1 Mikrodalga ile Isıtma Teorisi

Mikrodalga proseslerinde iyonik kondüksiyon ve dipolar rotasyon olmak üzere iki ısıtma mekanizması vardır. Bir malzemenin mikrodalga ile ısıtılması; ya uygulanan elektrik alan şiddetinin bir sonucu olarak iyonik bileşenlerin harekete geçmesi ile ya da

uygulanan elektrik alanın genlik değişimine bağlı olarak moleküllerin önce polarize daha sonra depolarize olmaya çalışırken ortaya çıkardıkları salınım hareketinin bir sonucu olarak gerçekleşmektedir. Hacimsel ısıtma, mikrodalga ile ısıtmanın en önemli özelliğidir. Hacimsel ısıtma, materyallerin mikrodalga enerjisini direkt olarak iç kısımlardan absorbe etmesi ve bu enerjiyi ısıya dönüştürmesi ile gerçekleşmektedir [18].

4.1.2 Mikrodalganın Isıtma Mekanizması

Mikrodalgalar elektronik devrelerde elektronların hızlndırılmaları ile elde edilir. Dalga boyları 1mm ile 30 cm ve frekansları 300 MHz ile 300 GHz arasında değişen elektromanyetik dalgalardır. (Şekil 4.1). Mikrodalga ile ısıtma, yalıtkan bir kabinin içinde, elektromanyetik dalgaların polarizasyon etkileri ile gerçekleşir [2].



Şekil 4.1 Elektromanyetik spektrum [2]

Mikrodalga enerji ile gıda maddesinin ısıtılmasında gıdanın nem içeriği, mikrodalganın çalışma frekansı ve gücü, gıdanın kütlesi, başlangıç sıcaklığı, fiziksel geometrisi, ısıl iletkenlik özellikleri, spesifik ısısı gibi birçok parametrede etkili olmaktadır. Mikrodalga uygulayabilmek için bir ürünün dielektrik kaybına sahip olması gerekmektedir. Yani değişken bir elektromanyetik alan uygulandığında, madde içinde dipolar elektrik yüklerinin oluşması gerekir. Su molekülleri kolaylıka dipolar elektrik yükleri

oluşturabildiğinden, su içeren yapıda her ürün, mikrodalga ile ısıtılmaya uygundur. Bu sebeple, özellikle meyve ve sebzelerin bileşimlerinde suyun önemli düzeyde bulunması nedeniyle gıdaların mikrodalga teknolojisi ile kurutulması yaygınlaşmıştır [2].

Mikrodalga ile gıdaların kurutulması sırasında; magnetron tarafından üretilen ve enerji taşıyan mikrodalgalar fırının içinde dağılır. Mikrodalgalar gıda maddeleri tarafından absorbe edildiği zaman mikrodalga ışınının pozitif ve negatif merkezlerinin yön değiştirmelerine paralel olarak, üründe bulunan polar moleküller yön değiştirir. Sanayide milyonlarca kez oluşan bu hareket sonucu sürtünme ısısı açığa çıkar, madde ısınır ve gıdanın içindeki su, bu ısı sayesinde buharlaşır [2].

4.2 Gıdaların Mikrodalga İle Isıtılmasına Etki Eden Faktörler

4.2.1 Frekans

EM alanların gıdaya penetrasyon miktarı ~1/f ile orantılı olduğundan, kullanılan mikrodalga kaynağının frekansı muamele süresini etkilemektedir. Kullanılan kaynağın frekansı arttıkça, gıdaya penetrasyon miktarı azalmaktadır. Bu yüzden ısıtılacak gıdanın büyüklüğüne göre frekans seçimi önemlidir [18].

4.2.2 Mikrodalga Gücü ve Isıtma Hızı

Endüstride kullanılan birçok mikrodalga sistemi 5-100 kW arasında değişen mikrodalga gücünde çalışmaktadır. Sistemin gücü arttıkça, aynı miktardaki kütleyi ısıtma hızı da artmaktadır [16]. Bu duruma bağlı olarak gıdanın ısıtılma süresi azaltmaktadır [18].

4.2.3 Sıcaklık

Sıcaklık, gıdaların dielektrik özelliklerine etki etmektedir. Dielektrik kaybı materyale bağlı olarak sıcaklık ile birlikte artabilmekte veya azalabilmektedir [6]. Mikrodalga ile ısıtılan gıda maddelerinin başlangıç sıcaklığı kontrol edilmeli veya bilinmelidir. Böylece mikrodalganın gücü homojen bir son sıcaklık elde etmek için ayarlanabilmektedir [16]. Gıdaların başlangıç sıcaklığı ne kadar yüksek ise mikrodalga ile ısıtılmaları o kadar hızlıdır [18].

4.2.4 Gıdanın Kütlesi

Gıdanın kütlesi ile istenilen ısıtmanın gerçekleşmesi için gerekli olan mikrodalga gücü arasında direkt bir ilişki vardır [16]. Büyük cisimler genellikle küçük cisimlere göre daha fazla mikrodalga gücü absorbe edebilmektedir. Ancak büyük cisimlerin mikrodalga fırın içerisinde ısıtılması daha uzun sürede gerçekleşmektedir [19]. Eğer toplam kütle az ise kesikli bir sistem işlem için daha uygundur. Kütle arttıkça, bantlı sistemlerin kullanımı daha elverişli olmaktadır [16].

4.2.5 Su İçeriği

Su, mikrodalga enerjisinin gıdalar tarafından absorbe edilmesinde önemli bir etkendir. Gıda içerisinde bulunan su moleküllerinin fazla olması, polarize olacak içerik miktarının artması anlamına gelmekte; diğer bir ifade ile o gıdanın dielektrik kayıp faktörünün büyümesi olarak sonuçlanmaktadır. Dolayısıyla gıda daha iyi ısınacaktır.

4.2.6 Yoğunluk

Gıdanın yoğunluğu gıdanın dielektrik sabitini etkilemektedir. Havanın dielektrik sabiti birdir ve endüstride ısıtma için kullanılan frekanslarda tamamen geçirgendir. Bu yüzden gıdanın yapısında bulunan hava miktarı arttıkça, o gıdanın dielektrik sabiti düşmektedir. Bununla birlikte; materyalin yoğunluğu arttıkça, dielektrik sabiti de genellikle doğrusal olarak artmaktadır [16].

4.2.7 Fiziksel Geometri

Mikrodalga ile ısıtılacak gıdanın boyutu, uygulanan elektromanyetik dalga boyuna veya penetrasyon derinliğine göre fazla ise homojen bir ısıtma yapılamamaktadır. Ayrıca gıdanın şekli ne kadar düzgün olursa gıda o derece homojen ısınacaktır. Keskin köşe ve kenarlar daha fazla ısınacağı için bunların aşırı ısınmasından kaçınmak gerekmektedir [16]. Mikrodalgalar gıdaya her taraftan nüfuz ettikleri için gıdanın şekli mikrodalga ile ısıtmada önemli bir etkiye sahiptir. Mikrodalga ile ısıtma için ideal şekil küredir. Küreden sonra en iyi şekil silindirdir.

4.2.8 Termal Özellikler

Isıtma işlemlerinde materyallerin spesifik ısı ve termal iletkenlik değerleri önemli parametrelerdir. Spesifik ısı, ısıtma işlemini gerçekleştirmek için gerekli olan enerji miktarının hesaplanmasında kullanılmaktadır. Spesifik ısı değeri gıdanın nem içeriği ile yakından ilişkili olduğu için, bu değerin gıdaların mikrodalga ile ısıtma işlemi üzerine önemli etkileri vardır. Termal iletkenlik, kütlesi fazla olan gıdaların ısıtılması sırasında penetrasyon derinliğinin ürünün homojen bir şekilde merkeze kadar ısınmasını sağlayacak kadar fazla olmadığı veya mikrodalga ile ısıtma süresinin uzun olduğu durumlarda önemli bir etkendir. Her bir gıda bileşeninin termal iletkenlik değerlerinin bilinmesi o gıdanın en uygun şekilde ısıtılmasını sağlamaktadır [18].

4.2.9 Elektriksel İletkenlik

Elektriksel iletkenlik, materyalde elektrik akımının iyon ve elektronların yer değiştirmesi ile taşınması olayıdır. Mikrodalga sistemlerinde ısının üretilmesi için genellikle dipolar dönme mekanizması etkili olurken, özellikle gıda maddelerinin ısıtılmasında iyonik kondüksiyonun önemli bir rolü olduğu düşünülmektedir. Mikrodalga ile ısıtılan ürüne tuz ilave edilmesi ürünün ısıtma hızını arttırmaktadır. Çünkü tuz ilavesi penetrasyon derinliğine doğrudan etki etmekte ve yüzeyde aşırı ısınmaya neden olabilmektedir [16].

4.2.10 Dielektrik Özellikler

Gıdaların dielektrik özellikleri mikrodalga ile ısıtılmaları sırasında oldukça önemli bir etkendir. Bu önemli özellikleri dielektrik sabiti (ε’) ve dielektrik kayıp faktörü (ε’’) belirlemektedir. Dielektrik sabiti, gıdanın enerjinin ne kadarını depolayabileceğini, dielektrik kayıp faktörü ise gıdanın enerjinin ne kadarını ısıya dönüştürebileceğini göstermektedir. Bunların dışında, diğer bir özellik ise kayıp tanjant (tan δ) dır. Kayıp tanjant, materyalin dielektrik kayıp faktörünün dielektrik sabitine oranı (ε’’/ ε’) dır ve elektromanyetik alanda materyale sızan mikrodalga enerjisinin ısı olarak tüketilme miktarını ifade etmektedir. Çoğu materyalin dielektrik özellikleri su içeriğine, uygulanan elektrik alanının frekansına, materyalin sıcaklığına, yoğunluğuna, kimyasal bileşimine ve fiziksel yapısına bağlı olarak değişmektedir [7]. Gıdaların temel bileşenleri olan su,

yağ, karbonhidrat ve proteinlerin hepsi mikrodalga ile ısıtma üzerine doğrudan etkilidir [18].

4.3 Mikrodalga Fırının Bileşenleri

4.3.1 Güç Ünitesi

Mikrodalga fırınlarda bulunan güç ünitesinin görevi; şebekeden alınan elektrik enerjisini kullanarak magnetronun çalışması için gerekli olan voltajı üretmektedir. Magnetronlar genelde birkaç bin voltluk potansiyel farklarında çalışırlar [2].

4.3.2 Magnetron

Magnetron, 60 Hz'lik elektriksel gerilimi 2450 MHz frekansındaki mikrodalga enerjisine çeviren elektronik bir tüptür. Küçüklük ve ucuzlukları yüzünden magnetronlar cisimleri ısıtmak için ticari fırınların hepsinde ve endüstriyel fırınların büyük bir bölümünde kullanılırlar [2].

4.3.3 Dalga Kılavuzu

Mikrodalga üretildikten sonra bu dalganın fırına verilmesi ve ısıtılacak maddeye yönlendirilmesi gereklidir. Genelde iki tane iletim cihazı bu iş için kullaılmaktadır. Bunlar iki adet tel ve bir kablodan oluşan iletişim hatları ve dalga kılavuzlarıdır. İletim hatları ile yayma genelde düşük frekansta uygulanmaktadır. Yüksek güçte çalşıldığı durumlarda ise akım yoğunluğu yüksek olduğu için iletim kayıpları meydana gelmektedir. Bunu önlemek için kesit alanlarının daha büyük olan içi boş tüpler (dalga kılavuzları) kullanılır. Optik dalga kılavuzlarında olduğu gibi, mikrodalga dalga kılavuzlarında da mikrodalgaları yaymak için yüksek yansıtma özelliğine sahip duvarlar bulunmaktadır [2].

4.3.4 Karıştırıcı

Karıştırıcılar genellikle fan biçiminde şekle sahip olup aplikatöre gönderilen mikrodalga enerjisini dağıtmak amacıyla kullanılırlar. Karıştırıcılar durağan dalga şablonlarını bozarlar ve böylelikle aplikatör içinde daha düzgün bir enerji dağılımı sağlarlar.

4.3.5 Aplikatör

Aplikatörler (fırın oyuğu) elektromanyetik enerjiyi dalga kılavuzundan işlem görecek maddeye geçirirler. İşlem gören maddenin içinde bulunduğu oyuk bu durumda aplikatör olarak tanımlanabilir. Aplikatörün büyüklüğü ve biçimi işlem yapılan frekans, işlem yapılan maddenin şekli, büyüklüğü,özellikleri ve işlem tipi (sürekli, yığın) gibi özelliklere bağlıdır [2].

4.4 Mikrodalga İle Gıdaların İşlenmesinin Avantajları ve Dezavantajları

Özellikle gıdaların kurutulması için halk arasında yaygın olarak kullanılan güneşte kurutma; kontaminasyon problemleri, düşük ısı ve kütle transferi sağlamaları, uzun süreli kurutma zamanları, kurutulmuş gıdanın kalitesinin düşük olması ve yüksek enerji sarfiyatı nedeniyle endüstriyel boyutta tercih edilmeyen kurutma sistemlerdir. Bu açıdan, mikrodalga ile kurutma alternatif kurutma yöntemi olarak gelismiş ve yaygınlaşmıstır.

Geleneksel ısıtma yöntemlerinde ısı gıdanın yüzeyinden iç kısmına doğru iletilmektedir. Bu yöntemler ile kıyaslandığı zaman, mikrodalga ile ısıtma sırasında ısı materyalin içinde üretildiği için ısıtma hızı yüksektir ve işlem süresi kısadır. Mikrodalga ile işlem gören gıdalarda vitamin ve mineral kayıplarının daha az olduğu belirtilmiştir. Diğer avantajları ise, ekipmanın az yer kaplaması, kolay temizlenmesi ve proses sırasında enerjiden tasarruf sağlamasıdır. Enerjiden sağlanan tasarruf mikrodalgaların ısıya dönüşüm verimi ile ilgilidir.

Isı verimi geleneksel fırınlarda % 7-14 arasında değişirken, mikrodalga fırınlarda %40'a kadar çıkabilmektedir. Ayrıca mikrodalgalar materyalleri içten ısıttığı için sıcaklık dağılımları daha homojen olmakta, yüzeyin aşırı ısınması önlenebilmekte ve ürün kalitesi üründe oluşabilecek yüzey sertleşmesi gibi bazı olayların engellenmesi ile gelişebilmektedir. Bunların yanı sıra mikrodalgaların bu dalgaları daha iyi absorbe eden materyaller tarafından seçici olarak emilmesi sayesinde gıdaların özellikle kurutma işlemi sırasında seçici ısıtması gerçekleşmektedir [16].

Bunların yanında mikrodalga ile gıdaların kurutulmalarının dezavantajları da şöyle sıralanabilir. Sabit yatırım masrafları yüksektir; magnetronlar geleneksel ısıtma elemanlarına göre pahalıdır, bu yüzden sanayide kullanımı yavaş gelişmektedir.

Mikrodalgaların absorblanması elektromanyetik özelliklere bağlı olduğundan, çok bileşenli gıdalarda sıcaklık profili büyük oranda farklı olabilir. Ürün karakteristikleri, şekil ve boyuta bağlı olarak düzensiz pişme meydana gelebilir. Keskin köşe ve ince tabakalı gıdalarda, aşırı pişme ortaya çıkar ve geniş parçalı gıda maddelerinin merkezinde pişme tam gerçekleşmeyebilir. Mikrodalga fırınlar, geleneksel fırınlara göre farklı emniyet tedbirleri gerektirir. Kullanılan kapların, ambalaj malzemelerinin mikrodalga ortamına uygun olması gerekmektedir [2].

4.5 Mikrodalga Uygulamalarının İnsan Sağlığı Üzerine Etkisi

Elektromanyetik dalgalar, iyonize edici olan ve iyonize edici olmayan radyasyon olmak üzere iki ana gruba ayrılmaktadır. İyonize radyasyon grubunda yer alan x-ışınları ve gama ışınları, uranyum ve radyum gibi radyoaktif bileşikleri meydana getirmektedir. İyonize edici olmayan, düşük frekans ve enerjideki mikrodalgaların ise zararlı ve kümülatif etkileri yoktur. Bu yüzden mikrodalgalar ile güvenli bir şekilde ısı üretilebilmekte ve gıdalar radyoaktif hale gelmemektedir [21]. Ancak mikrodalgaya maruz kalan insanlarda bir takım sağlık sorununun oluştuğu belirtilmiştir.

İnsan vücudundaki doku ve organların yüksek oranda su içermesi nedeniyle mikrodalgayı absorbe eden bu yapıların sıcaklığı yükselmektedir. Ayrıca kan dolaşımının yavaş olduğu organlarda ısı hızlı bir şekilde dağılamadığı için bu organlar mikrodalgadan daha çok zarar görmektedir. Göz, sıcaklık artışına duyarlı organlardan biridir. Gözlerde, mikrodalga radyasyonu ile artan sıcaklığın lens proteinlerinin termal denatürasyonuna neden olması sonucunda katarakt oluşmaktadır.

Deney hayvanları üzerinde yapılan çalışmalar sonucunda ise; belirli güç, frekans ve sürede uygulanan mikrodalga radyasyonunun merkezi sinir sistemine etki ederek refleks kayıplarına neden olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca mikrodalga radyasyonuna maruz kalan insan lenfositlerinde kromozomal anormalliklerin oluştuğu belirlenmiştir [8]. Mikrodalgaların insan sağlığı açısından zararlı olabilecek bu etkilerinin önlenmesi amacıyla mikrodalga fırınların kullanımı ile ilgili olarak yasal düzenlemeler yapılmıştır. Bu düzenlemelere göre; fabrikalarda fırın yüzeyinden 5 cm uzaklıktaki sızıntı miktarının 1 mW/cm^{2}'yi, tüketici mikrodalga fırını evde ilk defa kullanıyorsa 5 mW/cm^{2}'yi ve fırının kullanım süresi boyunca 10 mW/cm^{2}'yi aşmaması gerekmektedir [20].

4.6 Gıda Proseslerinde Mikrodalga Uygulamaları

Laboratuvar koşullarında yapılan birçok araştırmada mikrodalgaların gıda proseslerinde kullanımı araştırılmış ve bu proseslerden birkaçı endüstriyel ölçekte başarılı olarak uygulanmıştır [7]. Gıda sanayisinde mikrodalganın uygulandığı prosesler Çizelge 4.1'de belirtilmiştir [18].

Çizelge 4.1 Gıda Proseslerinde Mikrodalga Uygulamaları [18]

Uygulama	Frekans (MHz)	Güç (kW)	Ürün
Temperleme Kesikli, Sürekli	915	30-70	Kırmızı et, balık eti, kümes hayvanları eti
Kurutma Vakumlu, Dondurarak	915/2450	30-50	Makarna, soğan, çerez gıdalar, meyve suları
Ön Isıtma	915	50-240	Domuz Pastırması, Köfte, Kümes hayvanları eti, sucuk, sosis, sardalye
Pastörizasyon, Sterilizasyon	2450	10-30	Taze makarna, hazır yemekler, poşet, ambalajlı gıdalar, yarı katı gıdalar, süt, dilim ekmek
Fırında Pişirme	915	2-10	Ekmek

4.6.1 Temperleme ve Buz Çözme

Temperleme ve buz çözme işlemleri için kullanılan ticari kesikli ve sürekli mikrodalga sistemleri 1970'lerden beri üretilmektedir. Pek çok sistem gıdaların sadece temperleme işleminde başarılı olarak kullanıldığı için, günümüzde mevcut olan sistemler mikrodalga temperleme sistemleri olarak satılmaktadır [18].

Geleneksel buz çözme ve temperleme işlemleri, 5-15 dakika süren mikrodalga prosesi ile kıyaslandığı zaman, 24 saat veya daha kalın örneklerde daha uzun süren karmaşık ve zaman alıcı proseslerdir. Temperleme işlemi, donmuş gıdaların sıcaklığının suyun donma noktasının altında olan daha yüksek bir sıcaklığa kadar ısıtılmasıdır. Gıdalar bu

sıcaklıkta hala sıkı yapıdadır ve kolaylıkla dilimlenebilir, küçük parçalar halinde kesilebilir. Çözme işlemi ise, materyalin her yerinde sıcaklığın 0°C'ye kadar ulaştığı ve yapısında serbest buzun bulunmadığı zaman tamamlanmaktadır [18].

Dondurulmuş et, balık, sebze, meyve, tereyağı ve meyve suyu konsantreleri birçok gıda üretim prosesi için yaygın olarak kullanılan hammaddelerdir. Donmuş materyallerin çözülmesi gıda proseslerinde önemli bir işlemdir. Çözülme süresinin en aza indirilmesi üründe mikrobiyal gelişmeyi, kimyasal bozulmayı, damlama ve dehidrasyonun neden olduğu aşırı su kaybını azaltabilmektedir [18].

Donmuş ürünler geleneksel olarak hava, su ve vakum altında yoğunlaşan buhar yardımıyla çözülmektedir. Geleneksel çözme işleminin birkaç dezavantajı vardır. Bunlar; çözme süresinin uzun oluşu, işlemde kullanılacak ekipmanlar için geniş alana ihtiyaç duyulması, işlem sırasında üründe bakterilerin gelişebilmesi, özellikle küçük parçalar halinde dondurulan ürünlerin çözülmesi sırasında damlama kaybının oluşması, üründe yüzey oksidasyonunun meydana gelmesi, renk değişimlerinin ortaya çıkması ve işlem sıvı içerisinde gerçekleştiği zaman fazla miktarda suyun tüketilmesidir [22].

Mikrodalga ile çözme işlemi geleneksel yöntemlere göre daha kısa sürede ve daha dar alana ihtiyaç duyularak gerçekleşmektedir. Ayrıca bu işlem ürünün aşırı su kaybını azaltmakta, mikrobiyolojik ve kimyasal olarak bozulmasını önlemektedir. Ancak ürünün belirli bölgelerinde meydana gelen aşırı ısınma gıdalara uygulanan bu işlemin kullanımını sınırlamaktadır. Bu yüzden mikrodalga ile çözme işlemi sırasında sıcaklığın homojen bir şekilde dağılımını sağlamak önemlidir. Donmuş ürünlerin mikrodalga ile çözülme hızı materyalin özelliklerine ve boyutlarına, elektromanyetik ışının büyüklüğüne ve frekansına bağlı olarak değişmektedir. Gıdaların sıcaklık ile değişen termal özellikleri, düzgün olmayan şekilleri ve heterojen yapıları çözme işlemini zorlaştırmaktadır [18].

Mikrodalga uygulamalarında genellikle 2450 MHz ya da 915 MHz frekanslarından biri kullanılmaktadır. Mikrodalga ile çözme işlemi için 915 MHz frekansının kullanılması daha uygundur. Çünkü 2450 MHz frekansında maksimum penetrasyon derinliği 10 cm iken, 915 MHz frekansında mikrodalga enerjisi ürünün 20 cm derinliğine kadar etki edebilmektedir. Ürünlerin 2450 MHz frekansında mikrodalga enerjisi ile çözülmesi sırasında bu frekanstaki dalgaların düşük penetrasyonundan dolayı yüzeyde oluşacak

aşırı ısınmayı engellemek için, işlem sırasında ürünün bulunduğu ortamda soğuk hava dolaşımı yapılmaktadır. Bu amaçla -30°C'deki soğuk hava kullanılabileceği gibi sıvı nitrojen, Freon R12 gibi kriyojenik sıvılar veya bu maddelere benzer, ürünün yüzeyi boyunca uygulanan maddeler kullanılmaktadır [18].

4.6.2 Haşlama

Haşlama işlemi meyve ve sebzelerin endüstriyel prosesleri içinde yer alan önemli bir aşamadır. Bu işlem sebzelerin sıcak suya (88-99°C, en yaygın metot), asit ve/veya tuz içeren sıcak ve kaynayan çözeltilere daldırılması ile veya buhar ve mikrodalga uygulaması ile gerçekleştirilen termal bir prosestir. Haşlama işleminin; ürünü temizlemesi, ürünün başlangıç mikrobiyal yükünü azaltması, bitkisel dokularda bulunan havayı uzaklaştırması ve ürün işlenmeden önce ürüne bir ön ısıtma sağlaması gibi birçok faydası bulunmaktadır. Ancak bu işlemin ürün kalitesinde kayıplara neden olması, çevresel etkisi ve enerji maliyetinin yüksek olması gibi bazı olumsuz yanları da bulunmaktadır. Ayrıca şeker, mineral ve vitamin gibi besin öğeleri su veya buhar ile yapılan haşlama işleminde çözünerek üründen uzaklaşabilmekte ve parçalanabilmektedir [18].

Taze buhar uygulaması veya kaynayan suya daldırma gibi geleneksel yöntemler haşlama işleminde hala yaygın bir şekilde kullanılmasına rağmen, son yıllarda yeni bir yöntem olarak mikrodalga ile haşlama işlemi de uygulanmaktadır. Bu işlem ile çok az veya hiç suya gerek duymaksızın ısı transferi etkili bir şekilde gerçekleşmektedir [29]. Mikrodalga ile haşlama işleminin birçok avantajı vardır. Bunlardan birisi; haşlama işlemi süresinin önemli ölçüde kısalmasıdır.

Mikrodalga uygulamasının diğer bir avantajı ise; haşlama sırasında üründeki çözünebilir bileşiklerin çözünmesini oldukça azaltması ve bu bileşiklerin gıdanın yapısında daha çok tutulmasını sağlamasıdır. Mikrodalga ile haşlanan ürünlerin tekstürel özelliklerinin kabul edilebilir sınırlar içinde olması bu uygulamanın diğer bir avantajıdır. Ayrıca mikrodalga uygulamasının daha kısa sürede gerçekleşmesine bağlı olarak ürünün tat-aromasının üründe daha iyi tutulduğu belirtilmiştir [18].

Mikrodalga ile yapılan haşlama işleminin bu avantajlarına rağmen, bazı dezavantajlarından da bahsedilmesi gerekmektedir. Bunlar; özellikle ıspanak ve lahana

gibi yapraklı sebzelerde ürün yüzeyinin kuruması, meyvelerde karamelizasyonun meydana gelmesi, ürünün boyutuna ve şekline bağlı olarak heterojen olarak ısınmasıdır [30]. Ayrıca mikrodalga proses ekipmanlarının maliyetinin yüksek oluşu bu uygulamanın ticari olarak kullanımını sınırlamaktadır [18].

4.6.3 Pastörizasyon ve Sterilizasyon

Mikrodalga ile yapılan sterilizasyon işlemi, geleneksel yöntemler ile yapılan sterilizasyon işlemine kıyasla ürünü 3 ile 5 kat daha hızlı ısıtabilmektedir. Bu kısa süre içinde ürünün sıcaklığı aşırı derecede yükselmediği için mikrodalga ile işlem gören ürünlerin geleneksel yöntemler ile işlem gören ürünlere göre daha iyi tat, tekstür ve görünüme sahip olduğu belirtilmiştir.

Pastörizasyon işleminde konvansiyonel ısı iletimi ile pastörizasyon sıcaklığına 30-45 dakikada ulaşılırken, mikrodalga ile sadece 3-5 dakikada ulaşılmaktadır. Bu kısa süreli ısıtma uygulamasından sonra ürünün rengi ve tat-aroması neredeyse değişmemiş olarak kalmaktadır. Bu yüzden mikrodalga teknolojisinin yararları içerisinde; ürün kalitesinin geliştirilmesi, ürünün raf ömrünün koruyucu maddeler kullanılmadan uzatılması, ürünün doğal görünüşünün, tazeliğinin ve tat-aromasının muhafaza edilmesi, ürünlerin uzun raf ömrüne sahip olmasından dolayı dağıtım maliyetlerinin düşük olması, enerji tasarrufunun sağlanması, magnetronların kullanım ömürlerinin uzun olmasından dolayı bakım masraflarının düşük olması, personel ihtiyacının fazla olmaması ve bu teknolojinin çevre dostu olması yer almaktadır [19].

Mikrodalga ile yapılan pastörizasyon ve sterilizasyon uygulamalarının avantajlarının yanı sıra bazı dezavantajları bulunmaktadır. Bunların başında; ürünlere uygulanan bu işlemlerin sürelerinin kısa olması nedeniyle ürünlerde mikroorganizmaların canlı kalabilmeleri yer almaktadır. Gıdalarda canlılığını sürdüren bakterilerin kontrol altına alınması için dört strateji tavsiye edilmektedir. Bunlar; gıdaların plastik film ile sarılması, gıdanın boyutunun mümkün olduğu kadar küçültülmesi, mikrodalga gücünün en aza indirilmesi ve işlem süresinin uzatılmasıdır [19].

4.6.4 Kurutma

Gıda ürünlerine uygulanan kurutma işleminin temel hedefi, suyun gıdalarda meydana gelen mikrobiyal bozulmaların önlenebildiği seviyeye kadar gıdalardan uzaklaştırılmasıdır. Kurutulmuş gıda maddelerinin rağbet görmelerinin temel sebepleri, ürünlerin raf ömrünün daha uzun olması ve hacimlerinin önemli miktarda azalmasıdır [19]. Kurutma işlemi gıdaların muhafazası için yaygın olarak kullanılan etkili bir tekniktir. Ancak kurutma sırasında materyalde bir takım değişimler meydana gelmektedir [18].

Geleneksel kurutma işleminin, işlemin yüksek sıcaklıkta ve uzun sürede gerçekleşmesinden dolayı ürünün tat-aroma, renk ve besin içeriği gibi kalite özelliklerinde ciddi hasarlara neden olması ve kurutulan ürünün bulk yoğunluğunu ve rehidrasyon kapasitesini azaltması gibi bir takım dezavantajları bulunmaktadır [36]. Diğer bir dezavantajı ise; yüksek sıcaklıkta ve uzun sürede gerçekleşen işlem sonucunda gıdalardan uçucu bileşiklerin buharlaşması ve su buharıyla birlikte oluşan bu kayıpların kurutulmuş ürünün karakteristik tat-aromasında önemli kayıplara neden olmasıdır. Doku sertleşmesi de meyvelerin hızlı bir şekilde kurutulması sonucunda oluşan yaygın bir sorundur [18].

Geleneksel kurutmanın diğer bir dezavantajı; düşük enerji verimliliği ve kurutma süresinin azalan hız evresi boyunca uzun olmasıdır. Bu evrede gıda materyallerinin ısıl iletkenliği düşük olduğu için kurutma sırasında gıdaların iç tabakalarına doğru ısı iletimi sınırlı kalmaktadır. Kurutma işleminde var olan problemlerin elimine edilmesi, önemli kalite kayıplarının önlenmesi, hızlı ve etkili ısıl işlemlerin başarılı bir şekilde yapılması isteği mikrodalga ile kurutma işlemine olan ilginin artmasına neden olmuştur [18].

Son yıllarda mikrodalga ile kurutma, gıdaların ve tarım ürünlerinin geniş çeşit aralığında alternatif kurutma yöntemi olarak popülerliğini arttırmıştır. Günümüzde gıda endüstrisi özellikle makarnaların kurutma; bisküvilerin ise son pişirme aşamasında mikrodalga enerjisinin önemli bir kullanıcısıdır [18]. Mikrodalga ile kurutma işlemi ticari olarak ilk defa patates cipsinin son kurutma aşamasında kullanılmıştır. Ancak işlem sırasında farklı patates türlerinin kurutma sürelerinin ve son nem miktarlarının farklı olmasından dolayı mikrodalganın cips sanayisinde kullanımında başarı sağlanamamıştır. Mikrodalga ile kurutma işleminin makarna üretiminde kullanılması günümüzde başarılı bir şekilde

yapılmaktadır. Bu proses üç aşamada gerçekleşmektedir. Bunlar sırasıyla sıcak hava ile yapılan ön kurutma, mikrodalga ile kurutma ve dengeleme aşamalarıdır [20].

Mikrodalga ile kurutma, nem transferi için itici kuvveti sağlayan iç bölgedeki ve yüzeydeki su buharı basınçlarının farkı sayesinde gerçekleşmektedir [18]. Mikrodalga ile yapılan kurutma işleminin geleneksel kurutma yöntemleri ile kıyaslandığında, işlem sırasında zaman ve yer tasarrufu sağlaması, daha kaliteli ürünlerin elde edilmesi ve enerji sarfiyatını azaltması gibi avantajları vardır. Bu avantajlarının yanı sıra; sadece mikrodalga ile yapılan kurutma işleminin üründe homojen olmayan ısıtmaya neden olması ve ürünün tekstüründe hasarlara yol açması gibi bazı temel dezavantajları da mevcuttur. Ayrıca mikrodalganın ürüne penetrasyonunun sınırlı olması işlemin diğer bir dezavantajıdır. Mikrodalga ile yapılan kurutma işlemi diğer kurutma yöntemleri ile kombine edilerek, bu yöntemin tek başına uygulanması sırasında karşılaşılan sorunların üstesinden gelinmektedir [18].

4.6.5 Pişirme

Mikrodalga ile yapılan pişirme işlemi kırmızı et, kümes hayvanları eti, balık eti, unlu mamuller ve sebzelerin pişirilmesi sırasında uygulanmıştır [20]. Genel olarak mikrodalga uygulamaları buhar, sıcak hava ve kızılötesi ısıtma ile birleştirilerek yapılmaktadır [18]. Pişirme işleminde mikrodalganın kullanılması özellikle kümes hayvanları ve domuz etinin ön pişirme veya pişirme aşamaları için uygundur [20]. Bu işlemin; tüketilen enerji miktarının düşük olması, ürün büzülmesinin kontrol altında tutulması ve ürünün renk, görünüm ve tadında genel olarak bir iyileşmenin gözlenmesi bakımından avantajları bulunmaktadır [18].

Unlu mamullerin mikrodalga fırında pişirilmesi işleminin temel sorunu, üründe kabuk oluşumunu ve yüzey esmerleşmesini gerçekleştirmede yetersiz kalışıdır [26]. Bu sorunların yanı sıra; ürün yüksekliğinin az oluşu, yoğun ve yapışkan yapının elde edilmesi, iç yapının sert oluşu ve son üründe istenmeyen nem değişiminin gözlenmesini içeren kalite problemleri de açığa çıkmaktadır. Bu olumsuz özelliklere bağlı olarak; mikrodalga ile pişirilen ürünler, tüketiciler tarafından genellikle sert içyapılı, kabuk ve istenilen cazip renk oluşmamış ürünler olarak değerlendirilmektedir. Mikrodalga ile

pişirilen ürünlerin tekstürü kötü, aroması zayıf olduğundan ve rengi oluşmadığından bu ürünlerin kabul edilebilirliğinde ciddi sorun vardır [18].

Mikrodalga ile yapılan pişirme işleminde ısıtma süresinin kısa olması nedeniyle nişastanın hem jelatinizasyonu; hem de enzimatik olarak parçalanması yeterli ölçüde gerçekleşmemektedir. Ayrıca süreye bağlı olarak; gıdanın yüzeyinde karamelizasyon ve Maillard reaksiyonlarının meydana gelmesi için gereken sıcaklık artışı sağlanamamaktadır. Bu reaksiyonların meydana gelmemesi sonucunda ürünlerde istenilen tat-aroma ve renk bileşikleri ve/veya pigmentleri oluşmamakta; oluşan bazı tat-aroma bileşikleri de mikrodalga fırında pişirme veya ısıtma süresince ürünlerden uçarak kaybolmaktadır. Genel olarak geleneksel fırınlarda pişirilen keklerde oluşan aromalar, mikrodalga ile pişirilen keklerde oluşmamaktadır [46]. Mikrodalga fırında pişirilen ürünlerde kabuk oluşumunu ve yüzey esmerleşmesini sağlamak amacıyla ürünler geleneksel fırınlarda 200-300°C'de 4-5 dak süreyle tekrar pişirilmekte veya kızılötesi ısıtma uygulanmaktadır [18].

BÖLÜM 5

FESLEĞEN, KEREVİZ YAPRAĞI VE SEMİZOTU HAKKINDA GENEL BİLGİ

5.1 Fesleğen

Antioksidanların gıdaların bozunmasını önlemek amacıyla gıda katkı maddesi olarak kullanımı oldukça yaygındır. Antioksidanlar aktif oksijen ve yağ peroksidasyonu ile yakından ilgili oldukları için çeşitli hastalıklardan korunmada da önemli rol oynarlar.

Fesleğen (Ocimum basilicum), ballıbabagiller (Limiaceae) familyasından tek yıllık ve genellikle ılıman bölgelerde yetişen bir bitki türüdür. Türkiye'de reyhan veya fesleğen olarak bilinmektedir. Dünyada 65'in üzerinde türe sahip olan Ocimum cinsi, Asya, Afrika ve Orta Amerika'da doğal yayılış göstermektedir. Bunlardan O. Bacilium L. türü morfolojik özellikleri ve kimyasal içerikleri bakımından geniş varyasyon göstermektedir. Bu varyeteler değerli uçucu yağlarından ve güzel kokularından dolayı baharat, ilaç, gıda, parfümeri sanayilerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Reyhan uçucu yağları, antifungal, insektisit, antioksidant gibi biyolojik etkilerinden dolayı, giderek artan bir öneme sahiptir. Ayrıca reyhanın mor renkli çeşitleri gıda sanayisi için önemli bir antosiyan kaynağıdır. Bitkinin kullanılan kısımları taze çiçekli dalları ve tohumlarıdır. Uçucu yağ taşımaktadır. Bu yağ içinde estragol, linalol, cineol ve pinen vardır. Fesleğenin yaydığı koku sinekleri uzak tutar [21].

Fesleğen bitkisi, bir yerli Anadolu bitkisi değildir. Anavatanı olan İran dolaylarından gelmiştir. Akşamları açıkta yenilen yemeklerde masaların fesleğen ile süslenmesi, bebeklerin yanına fesleğen konulması, yaz aylarında evlerin açık camlarının önünde

fesleğen saksılarının olmasının sebebi fesleğenin yaydığı güzel kokunun yanında sinekleri kovucu özelliği olmasıdır.

Yetişkin fesleğenlerin boyları genellikle 20 ile 60 cm arasında değişir. Renkleri açık yeşilden koyu yeşile kadar değişen yaprakları yumuşak olup, 1-5 cm arasında uzunlukta ve 1-3 cm arasında genişlikte olurlar. Soğuğa karşı çok duyarlı olan fesleğen bitkisi, en çok sıcak ve kuru ortamları sever. C vitamini bakımından zengindir [22].



Şekil 5.1 Kuru ve Taze Fesleğenin Görünümleri [24]

Hem taze hem de kurutularak kullanılan fesleğen, pişirilerek ya da çiğ yenilen yemeklerde yaygın olarak kullanılır. Kendisi pişirildiğinde tadını çabuk yitirdiği için genelde yemeklere son anda katılır. Türk yemeklerinde ve salatalarda baharat olarak yaygın bir şekilde kullanılan fesleğen, öteki Akdeniz ülkelerinin yemeklerinde de önemli yer tutar [24]

5.2 Kereviz Yaprağı

Türkiye'de kereviz üretiminin geçmişi fazla eskiye dayanmamasına rağmen üretim ve tüketiminde son yıllarda artış olduğu görülmektedir. 90'lı yıllarda kereviz üretimi 10 000 ton iken 2000'li yıllarda bu rakam 16 500 tona ulaşmıştır. Ülkemizde yoğun olarak kök kereviz yetiştiriciliği yapılırken ekolojik koşullar ve tüketici tercihleri sap kerevizi üretiminin bazı bölgelerde yaygınlaşmasını sağlamıştır. Ülkemizde özellikle Ege ve Akdeniz bölgelerinde sap kereviz yetiştiriciliği yapılmaktadır. Sap kerevizinde tüketilen kısımlar yaprak sapları ve yaprak ayalarıdır. Wien (1997) sap kerevizinin kısa bir taca, rozet yapraklara ve ortalama 60 cm bitki boyuna sahip olduğunu, Pressman (1979) ise kültür formlarında bitki yüksekliğinin 24-41 cm olduğunu bildirmektedir [23].

Kerevizin anayurdu Akdenizdir. Eski Yunan, Romalılarca koku verici olarak ve ayrıca şifalı ot gibi kullanıldığı bilinmektedir. Yaprakları ise çeşitli dönemlerde hüznün ve

zaferin simgesi olmuştur. Homeros, İlyada'sında Archille in bu bitkiyi görkemli saçlarının tedavisinde kullandığından söz eder.



Şekil 5.2 Kereviz Yaprağnın Görünümleri [25]

Kerevizin yaprak ve saplarının, bol vitaminleri ve çeşitli madeni nedenleri ile çok faydalı olduğu bilinmektedir. Akdeniz mutfağının lezzetlerinden kereviz, içerdiği maddeler sayesinde sinirliliği önlemektedir. C vitamini yönünden oldukça zengin olan kereviz, vücudun günlük C vitamini ihtiyacının % 15'ini karşılar. 100 g kerevizde 2 mg. A vitamini, 4 mg kalsiyum, 10 mg potasyum ve 2 mg demir bulunmaktadır. İki orta boy kerevizde sadece 20 kalori vardır.

Son yıllarda yapılan araştırmalar kerevizin kanserden yüksek tansiyona, gripten kolesterole kadar her türlü hastalığa karşı savaştığını ortaya çıkarmıştır.

Amerika da yapılan deneylerde, kerevizin içindeki kimyasal maddelerin vücudun bağışıklık sistemini güçlendirdiği, canlılarda tümör oluşumunu önlediği ve tümör oluşum riskini % 38 ile % 50 oranında azalttığı gözlemlenmiştir.

Her gün kereviz yiyen ya da kereviz suyu içen hastaların tansiyonunun düştüğü ve kan basıncının dengelendiği görülür. Vücudun kaybettiği suyu yenilemenin en iyi yolu kereviz suyu içmektir. Kereviz suyu aynı zamanda stresi azaltır, uykusuzluğa iyi gelir ve baş ağrılarını engeller.

Diyet yapanlar için de faydalı olan kereviz suyu, tatlı ihtiyacını engeller. Sindirim sistemi ve böbrekleri dengeli çalıştırır. İyi çiğnenerek yenen kerevizler mideyi güçlendirir. Yorgunluğa ve iştahsızlığa iyi gelir [25]

5.3 Semizotu

Yeşil sebzeler arasında yer alan semizotu, bilinen en yaygın bitkiler sıralamasında 8. sırada olup, Dünya'nın pek çok bölgesinde yabani ot olarak geniş yayılım göstermektedir. Afrika, Güney Avrupa, Akdeniz Ülkeleri, Asya ve Avustralya'da yerli halklarca değişik şekillerde tüketilmektedir. Tanzanya'da sezon boyunca toplanan semizotlarının kaynatılarak yemeklerde tuz ve baharat gibi hoş bir lezzet katması amacıyla kullanıldığı; ayrıca Avustralya Aborjin'lerinin de tohumlarını ekmek yapımında kullandıkları bilinmektedir [25].

Semizotu değişik kültürlerde sebzenin yanı sıra ilaç olarak da kullanılmaktadır. Akdeniz Ülkeleri, Afrika'nın bazı bölgeleri ve Asya'da gerek sebze gerekse tıbbi bitki olarak kullanıldığı bildirilmektedir. Birleşik Arap Emirlikleri, Hindistan ve Pakistan'da idrar söktürücü, kas gevşetici, ateş düşürücü, antiseptik, kurt düşürücü, antienflamatuvar ve yara iyileştirici olarak folklorik kullanımı bulunmaktadır. Bu inanışların bir kısmı bilimsel çalışmalarla da kanıtlanmış ve % 10'luk semizotu ekstraktının analjezik, antienflamatuvar ve kas gevşetici etkileri ortaya konmuştur. Semizotu, sağlık için yararlı bir sebze olmasının yanında değişik tuzluluk tiplerine dayanıklı bir bitki olması; yetiştiricilikte canlı malç olarak kullanılabilmesi ve Dünya'nın pek çok bölgesinde yetiştirilebilmesi gibi nedenlerle pek çok kişinin kolayca ve ucuza temin edebileceği bir ürün olması önümüzdeki yıllarda popülaritesinin giderek artacağı beklentisini doğurmaktadır [24] .

Ülkemizde semizotu köklü olarak demetlenmiş şekilde, herhangi bir soğutma uygulanmadan piyasaya sunulmaktadır. Köklü olarak demetleme beraberinde değişik hijyen sorunları getirmektedir. Ayrıca herhangi bir soğutma sistemi içinde saklanmaması kalite kayıplarının yanında muhtemel besin kayıplarına da neden olmaktadır.



Şekil 5.3 Semizotunun Görünümleri [25]

BÖLÜM 6

KURUTULMUŞ GIDALARIN C VİTAMİNİ İÇERİĞİNİN İNCELENMESİNE İLİŞKİN ÇALIŞMALAR

Gıdaların kurutularak daha uzun süre saklanabilmesi, gıda teknolojileri için çok önemli bir konudur. Bu yüzden bu konuda yapılmış pek çok çalışma mevcuttur. Ancak, literatürde şimdiye kadar mikrodalga tekniği ile kereviz yaprağı, fesleğen ve semizotu numunelerinin kurutulmalarına ait çalışmalarda kurutmanın C vitamini üzerindeki etkisinin incelenmediği görülmüştür. Bu bölümde ise, konvansiyonel kurutucularla ve mikrodalga ile kurutma ile ilgili bazı gıdalara ait yapılan çalışmalar özetlenmiştir.

Pheng Ong ve Lim Law, (2011) tarafından yapılan çalışmada Malezyada yetişen Salak meyvesi kullanılarak sıcak hava ile kurutma ve ısı pompasıyla kurutma kinetikleri çeşitli kurutma denemeleri yapılarak çalışılmıştır. İzotermal kurutma denemesi sıcak hava ile kurutma ve ısı pompasıyla kurutma için sırasıyla 40-90^{0}C ve 26-37^{0}C sıcaklık aralıkları kullanılarak yapılmıştır. Isı pompasında kesikli kurutma çalışmaları periyodik olarak sıcak hava akışı sağlanarak ve sabit hava sıcaklığı olarak iki ayrı şekilde gerçekleştirilmiştir. Salak meyvesi içindeki nem miktarı yüksek olduğu zaman bağıl nemin ve hava akış hızının önemli olduğu gözlemlenmiştir buna karşılık rutubet miktarı düşük olduğu zaman sıcaklığın etkisi hakim olmuştur.

Kesikli kurutmayı ve ürün kalitesininin gelişimini optimize etmek için kurutma koşulları ile kurutmanın farklı basamaklarındaki rutubet taşınım mekanizmasına göre oynanmalıdır. Isısal bozulmalardan dolayı fenolik bileşiklerin miktarındaki azalmanın önemli olmasıyla birlikte askorbik asit miktarındaki azalma da önemli derecededir. Deneylerden düşük sıcaklıktaki kurutulmuş hava ile çalışan ısı pompası kullanılarak

yapılan kurutma sadece kurutma kinetiğini arttırmamış aynı zamanda kararlı final ürün elde edilmesini sağladığı anlaşılmıştır. Uygun kurutma metodunu fenolik bileşiklerin ve askorbik asitin yüksek miktarda kalmasını sağlayan ısı pompası ile kurutma olduğunu belirlemişlerdir.

Scala vd., (2011) tarafından yapılan çalışmada konveksiyonel kurutma ile kurutulan pepino meyvesinin kalitesi üzerindeki değişimler incelenmiştir. Fizikokimyasal özellikler, renk, enzimatik olmayan kahverengileşme, C vitamini, fenolik bileşiklerin miktarı ve antioksidan aktivitesi üzerinde işlem sıcaklıklarının (50, 60, 70, 80 ve 90^{0}C) etkisi denenmiştir. Taze pepino numunesi ve kurutulan pepino numuneleri karşılaştırıldığında protein miktarında önemli azama gözlemlenmiştir. Bitkinin orjinal rengiyle karşılaştırıldığında kromatik bağladaki enzimatik olmayan kahverengileşme nedeniyle renk kaybı gözlemlenmiştir. C vitamini ve fenolik bileşiklerin miktarında sıcaklığın artmasıyla kayda değer bir azalma olmuştur. Özellikle düşük sıcaklıkta yapılan denemede antioksidan aktivitesinde önemli ölçüde azama olmuştur.

Mota vd., (2010) 30, 50 ve 60^{0}C sıcaklıklarda yürütülen çalışmada konveksiyonel metod ile kurutulan soğanın kurutma kinetiğinin çalışılması amaçlanmıştır. Fick'in difüzyon yasası kullanılarak modellenmiştir. Taze ve farklı sıcaklıklarda kurutulmuş soğanın kimyasal karakterizasyonu analiz edilip kurutmanın etkisi incelenmiştir. Bu amaçla nem miktarı, şeker miktarı, protein miktarı, asidik özelliği ve C vitamini analizleri yapılmıştır. Sonuçlardan soğanın bazı kimyasal özelliklerinin (kül, protein ve fiber gibi) sıcaklıktan etkilenmediği buna karşın diğer özelliklerinin (şeker, asidik özellik, ve C vitamini) önemli ölçüde etkilendiği elde edilmiştir.

Kaya vd., (2010) Bu çalışmada kivi meyvesinin kurutma kinetiği 35, 45, 55 ve 65^{0}C hava sıcaklıkları, 0.3, 0.6 ve 0.9 ms^{-1} hava akış hızları ve % 40, % 55, % 70 ve % 85 bağıl nem içeriğine sahip hava kullanılarak belirlenmeye çalışılmıştır. Nem difüzivitesi Fick'in difüzyon modeli ile elde edilmiştir. Kurutma zamanına bağlı olarak numunedeki C vitamini miktarları incelenmiştir. Kurutucu hava sıcaklığının artması ile C vitamini miktarının azaldığı buna karşılık C vitamini bozulmasının kurutucu hava neminin artması ile azaldığı belirlenmiştir.

Polatçı ve Tarhan, (2009) tarafından yapılan çalışmada aromatik bitkilerden olan reyhan (O*cimum basilicum*), farklı kurutma yöntemleriyle ve farklı kurutma şartlarında

kurutulmuştur. Araştırma kapsamında beş farklı kurutma yöntemi (doğrudan değmeli kurutucuda kurutma, etüvde kurutma, gölgede kurutma, güneşte kurutma ve mikrodalga fırında kurutma) kullanılmıştır. Kurutma denemeleri üç tekerrürlü yapılmıştır. Çalışma kapsamında reyhanın kuruma özellikleri, renk değerleri ve uçucu yağ oranı belirlenmiştir.

Doğrudan değmeli kurutucuda kurutma işlemi 63-66 saat sürmüştür. Doğrudan değmeli kurutucuda iki farklı karıştırma sıklığında kurutma yapılmış ve karıştırmanın kuruma zamanına ve kuru ürün kalitesine önemli bir etkisinin olmadığı görülmüştür. Etüvde kurutma işlemi iki farklı sıcaklıkta (45^0C, 55^0C) yapılmış ve kurutma işlemi sırası ile 50 ve 34 saat sürmüştür. Mikrodalgada kurutma iki farklı güç seviyesinde yapılmıştır. Mikrodalgada kurutma işlemi diğer yöntemlerine kıyasla çok hızlı olmuş ve 9-22 dakika içerisinde tamamlanmıştır. Ancak mikrodalgada kurutmanın kalite özellikleri bakımından reyhan bitkisi kurutmak için uygun olmadığı belirlenmiştir. Gölgede ve güneşte kurutma yöntemlerinin aromatik bitkilerin kalite özelliklerini bozduğu görülmüştür. Araştırma sonuçları, 45-55^0C sıcaklıktaki havayla kurutmanın reyhanbitkisi için uygun olduğu görülmüştür.

Karaaslan ve Tunçer, (2009) tarafından yapılan çalışmada kırmızıbiberin kurutulması mikrodalga fan destekli konveksiyonel fırın kombinasyonunda incelenmistir. Kırmızıbiber, mikrodalga, mikrodalga-sıcak hava kombinasyonu ve sıcak havayla kurutulmustur. Kırmızıbiberin kuruma zamanı, kuruma oranı değerleri üzerindeki mikrodalga, mikrodalga ile sıcak hava ve sadece sıcak havayla kurutmanın etkileri arastırılmıstır. Mikrodalga enerjisi ile yapılan kurutma denemelerinde kullanılan güç seviyeleri 180, 360, 540, 720, 900 W olarak seçilmistir.

Sıcak hava ile kurutma denemeleri ise 100, 180, 230^0C' de yapılmıstır. Mikrodalga ve sıcak hava birleşiminde ise 180 W+100^0C, 180 W+180^0C, 180 W+230^0C, 540 W+100^0C, 540 W+180^0C, 540 W+230^0C' de kurutma islemleri gerçeklesmistir. Bir laboratuar kurutucusunda ürünlerin kuruma süresinin belirli bir anındaki nem içeriğini belirlemek amacıyla Newton, Page, Gelistirilmis Page, Henderson ve Pabis, Logaritmik, Wang ve Singh, Difüzyon yaklasımı, Verma, Etki Terimli Eksponansiyel, Basitlestirilmis Fick Difüzyonu, Midilli ve ark. modelleri birbiri ile karsılastırılmıstır. Bu modellerin performansları; gözlemlenen ve tahmini nem oranları arasında belirtme katsayısı

değeri (R^2), tahmini standart hatası (SEE) ve kalanların kareleri toplamına (RSS) göre karsılastırılmıstır. Elde edilen sonuçlara göre tüm ürünlerde Midilli ve ark. Modelinin ürünlerin kuruma davranışını diğerlerinden daha iyi açıkladığı belirlenmistir.

Dadalı ve Özbek, (2008) yaptıkları çalışmada bamya ve ıspanak sebzelerinin kurutma kinetiklerini incelenmiş, mikrodaga tekniği ile kurutulması sırasında meydana gelen renk değişimleri ve kurutma sonucundaki rehidratasyon oranları, C vitamini değerleri ve doku özelliklerindeki değişimler araştırılmıştır. Yapılan çalışma sonucunda; uygulanan mikrodalga gücü arttıkça ve kurutulan numune ağırlığı azaldıkça numunelerin kurutma sürelerinin azaldığı görülmüştür. Kurutulan bamya numunesinde renk değişimleri gözlenirken, ıspanak numunesinde renk değişimleri gözlemlenmemiştir. Biyokimyasal değişimlerin daha iyi açıklanabilmesi için, C vitamini kayıpları da incelenmiştir. Mikrodalga ile kurutma tekniği ile kurutulmaları sonucunda bamya ve ıspanak numunelerinin sahip oldukları C vitamini değerlerinin sırasıyla % 40.32 ve % 27.5'ini kaybettikleri gözlemlenmiştir. Ayrıca, aktivasyon enerji değerleri, elde edilen kinetik sabitler kullanılarak Arhenius denklemi temel alınarak türetilen bir eksponansiyel denklem ile hesaplanmıştır. Mikrodalga tekniği ile kurutulan bamya ve ıspanak numuneleri ile kurumaya ait aktivasyon enerjileri sırası ile 5.54 $W.g^{-1}$ ve 10.84 $W.g^{-1}$ olarak bulunmuştur.

Zhang vd., (2007) yaptıkları çalışmada kabak numunesinin kurutulmasında hava ile kurutma, vakumla kurutma ve dondurarak kurutma yöntemlerini denemişlerdir. Kurutma metotlarının C vitamini miktarı, renk ve kurutulan numunenin yığın yoğunluğu üzerinde önemli etkileri olduğu gözlemlenmiştir. Dodurarak kurutma uygulanan gıdalarda daha yüksek C vitamini miktarı kaldığı, rengin ve şeklin en iyi şekilde korunduğu görülmüştür.

Vallejo vd., (2006) yaptıkları çalışmada brokoli numunesini 4 ayrı tip pişirme metodunu; yüksek basınçta kaynatma, düşük basınçta kaynatma, buharda pişirme ve mirodalgada pişirme; kullanarak pişirmişler ve yöntemlerin C vitamini üzerindeki etkisini incelemişlerdir. Sonuçlar dört farklı pişirme prosesinin ve etkilerinin çok farklı olduğunu göstermiştir. Mikrodalga kulanarak yapılan pişirme yönteminin yüksek C vitamini kaybından (% 40) ötürü açıkça avantajsız olduğu görülmüştür. Buhar ile pişirme ile C vitamini miktarı üzerinde en minimum etki gözlenmiştir.

Devahastin vd., (2006) yaptıkları çalışmada zengin bir C vitamini kaynağı olan hint çayının kurutulmasını incelemişlerdir. Sebze hem taze olarak hem de Hint çayı olarak tüketilebilmektedir. Kurutma ve çay hazırlama basamaklarının her ikisi de bitkinin kalitesini etkilemektedir. Bu çalışmada hava ile kurutma, vakumla kurutma ve düşük basınçta buhar ile kurutma yöntemleri ve C vitamini üzerindeki etkileri incelenmiştir. C vitamini azalmasının kurutma tekniği ve çay yaparken kullanılan suyun sıcaklığına bağlı olduğu belirlenmiştir. Düşük basınçta buhar ile kurutmanın C vitamini miktarının kalmasında hava ile kurutma ve vakum ile kurutmadan daha iyi olduğu görülmüştür.

Sharma and Prasad, (2005) yaptıkları çalışmada sarımsak kurutulmasında mikrodalga uygulamalarını incelemişlerdir. Mikrodalga gücü, hava sıcaklığı ve hava akış hızı ayarlanabilen laboratuvar tipi mikrodalga geliştirmişlerdir. 40, 50, 60 ve 70^0C hava sıcaklıkları; 1.0 ve 2.0 m/s hava akış hızları ve 10, 20, 30 ve 40 W mikrodalga güçleri kullanılarak yapılan deneylerde tek çeşit sarımsak kullanmışlardır. Mikrodalga+hava ile kurutma 1.85 kg su / kg katı madde olan başlangıç rutubet değerinden 0.06 kg su / kg katı kalana kadar uygulanmıştır.Hava akış hzı 1.0 m/s değerinden 2 m/s değerine yükseltildiğinde kurutma zamanı da arttırılmıştır. Renk ve C vitamini değerleri taze ve kurutulmuş sarımsak için incelenmiştir. Rehidratasyon değeri belirlenmiştir. Ticari amaçlı konveksiyonla kurutulan sarımsak numuneleri lokal marketten mikrodalga+konveksiyonla karşılaştırma yapmak amacıyla temin edilmiştir. Mikrodalga+konvesiyon kullanılarak yapılan kurutmanın ticari numuneden kalite bakımından daha üstün olduğu belirlenmiştir. Proses parametrelerinin optimizasyonu yapılmıştır. 40 W mikrodalga gücü, 70^0C hava sıcaklığı ve 1.0 m/s hava akış hızında kurutulan sarımsak numunelerinin en iyi kaliteye sahip olduğu ve düşük enerji tüketimini sağladığı belirlenmiştir.

Lister vd., (2005) Yeni Zellenda'da yetişen üç farklı domates türünü renk, askorbik asit, fenolikler ve toplam antioksidan aktivitesi için incelemişlerdir. Hava ile kurutulan domateste önemli bir renk kaybı olmamıştır. Hava ile kurutulan gıdaların toplam antioksidan aktivitesinde de önemli bir azalma olmamıştır. Zorlanmış konveksiyonla 42^0C'de 48 saat boyunca kurutulan türlerin askorbik asit, toplam antioksidan aktivitesi ve toplam fenoliklerde önemli azalma meydana gelmiştir. Bu çalışma ticari kurutma

sonrasında en iyi renk ve besin değerini sağlayabilmek amacıyla üç farklı tür ile yürütülmüştür.

Aktaş vd., (2004) yaptıkları çalışmada fındık kurutulmasında uygun bir standard bulunmaması nedeniyle, fındık kurutulması ile ilgili veriler detaylı bir şekilde irdelenmiştir. Bu verilere bağlı olarak enerji maliyeti düşük, sıcaklık, nem ve ağırlık kontrollü güneş enerjili bir kurutma fırını tasarımı yapılmıştır. Böylece güneş enerjili kurutma sistemlerinin fındık kurutulmasına uygulanabilirliği ortaya konulmuştur.

Gültekin vd., (2004) yaptıkları çalışmada hava ile kurutma boyunca kuşburnu içindeki askorbik asit bozunumunun kinetiğini incelemişlerdir. Kurutma boyunca C vitaminindeki değişim kurutma süresi, kurutucu hava sıcaklığı ve de nem miktarından etkilenmiştir. Kuşburnundaki C vitamini bozunum hızı birinci derece kinetik ile tanımlanmıştır. Modelin sıcaklığa bağlılığı Arhenius eşitliği ile açıklanmıştır. Aktivasyon enerjisi ve reaksiyon hız sabiti nem miktarının bir fonksiyonu olarak tanımlanmıştır. Ek olarak parçalara ayrılmış kuşburnu numuneleri hava ve farklı hava+CO_2 oranlarında hazırlanmış atmosferlerde kurutulmuştur. Kurutmadan önce kuşburnu numunelerinin parçalara ayrılması kurutma işlemini hızlandırmış ve C vitamini tutumunu arttırmıştır. C vitamini kaybının hava+CO_2 karışımındaki O_2 oranına bağlı olarak arttığı görülmüştür.

Mc Minn vd., (2004) mikrodalga ve konveksiyonla kurutma süresince patatesin yapısı ve kalitesindeki değişimi incelemek amacıyla çalışmayı yapmışlardır. Numuneleri kurutmak için hem mikrodalga ile kurutmada hem de konveksiyon ile kurutmada modifiye edilmiş mikrodalga fırın kullanmışlardır. Kurutulmuş patates numunelerindeki C vitamini ve rehidratasyon özellikleri incelenmiştir. C vitamini kaybının birinci derece kinetik modele uyduğu ve hava sıcaklığı, mikrodalga gücü ve su miktarına bağlı olduğu gözlemlenmiştir. Numunedeki nem miktarı ile hacimsel büzülme ve C vitamini kaybının doğru orantılı olduğu belirlenmiştir. Mikrodalga ile kurutulmuş numunelerin daha yüksek rehidratasyon potensiyeline sahip olduğu görülmüştür.

Alklınt vd., (2003) yaptıkları çalışmada taze kuşburnundaki vitamin miktarlarını, ticari kuşburnu ürünlerini ve kurutma sırasında kuşburnunda kalan vitamin miktarlarını incelemişlerdir. 3 yıl boyunca yapılan çalışmalar kuşburnunun zengin bir vitamin kaynağı olduğunu göstermiştir. Kuşburnu genellikle taze tüketilmez bu nedenle kurutma önemli bir basamaktır. Vitamin bozunumunun kurutma süresine bağlı olduğu

görülmüştür. Gereken kurutma süresinin numunenin kesilmesiyle ya da sıcaklığın arttırılmasıya azaltılabildiği saptanmştır. Askorbik asit miktarının da aynı faktörlerden etkilendiği belirlenmiştir.

Adom vd., (1997) yapmış oldukları çalışmada, farklı 3 dilim kalınlığı için (5.0-10.0 ve 15.0 mm) bamya numunesinin güneşte kurutulması sırasında viskozite, mikrobiyal aktivite, toplam C vitamini değeri ve kül miktarı değerlerinin değişimleri gözlemlenmiştir. Yapılan çalışmalar neticesinde, 96 saat süren güneşte kurutma işlemi sonucunda, dilim kalınlığının; toplam C vitamini, viskozite, renk değişimi ve mikrobiyal aktivite üzerinde etkili olduğu, bunun yanında, toplam kül miktarını etkilemediği görülmüştür.

BÖLÜM 7

MATERYAL VE YÖNTEM

7.1 Kullanılan Materyaller

- 2-6, Diklorofenolindo fenol sodyum dihidrat tuzu
- Askorbik asit standard çözeltisi
- % 3'lük Metafosforik asit-asetik asit çözeltisi

Fesleğen, semizotu ve kereviz yaprağının mikrodalga teknigi ile kurutulması sırasında kullanılan fesleğen, semizotu ve kereviz yaprağı numuneleri yerel bir marketten temin edilmistir. Numuneler, deneylere başlamadan önce 1 gün süre ile buzdolabında bekletilerek nem içeriklerinin dengeye gelmesi saglanmıstır. Fesleğen, semizotu ve kereviz yaprağının mikrodalga teknigi ile kurutulması sırasındaki askorbik asit kaybının belirlenmesinde kullanılan 2-6, Diklorofenolindo fenol sodyum dihidrat boyar maddesi (Ürünkodu: 152870010) ve Asetik asit (Ürün kodu: 64-19-7) Acros firmasından, askorbik asit standardı (Ürün kodu: 200-066-2) JT Baker firmasından ve Metafosforik asit (Ürün kodu: K4108346) MERCK firmasından saglanmıs olup çalısmalar süresince oda koşullarında saklanmıştır.

7.2 Kullanılan Cihazlar

Mikrodalga fırın

Fesleğen, semizotu ve kereviz yaprağının mikrodalga teknigi ile kurutulması çalısmaları, Arçelik firması tarafından üretilen MD 594 ürün koduna sahip mikrodalga fırın ile

yapılmıstır. Deneylerde kullanılan mikrodalga sisteminin genel görünümü Şekil 7.1'de ve mikrodalga fırınına ait teknik özellikler Çizelge 7.1'de verilmistir.



Şekil 7.1 Mikrodalga fırının genel görünümü

Çizelge 7.1 Mikrodalga Fırının Teknik Özellikleri

Özellikler	Değerler
Dış genişlik	512 mm
Dış derinlik	420 mm
Dış yükseklik	307 mm
Fırın hacmi	28 L
Net ağırlık	16 kg
Programlama/Saat	Dijital
Mikrodalga frekansı	2450 MHz
Mikrodalga çıkıs gücü	1800 Watt
Besleme gerilimi	230 V AC/50 Hz
Izgara gücü	1250 Watt

7.3 Deneylerin Yapılışı

7.3.1 C Vitamini Miktarının Belirlenmesi

Kurutulmuş gıdaların C vitamini miktarının belirlenmesi için; mikrodalga tekniği kullanılarak yapılan kurutma işlemlerinin ilk bölümünde; 25 g semizotu, fesleğen ve kereviz yaprağı farklı mikrodalga çıkış güçlerinde (180-900 W) belirlenen süreler boyunca kurutulmuştur. Kurutulan numunelerin C vitamini miktarları zamana karşı belirlenmiştir. Deneyler üçer kez yapılmış ve elde edilen değerlerin ortalamaları alınmıştır.

Kurutulmuş gıdaların C vitamini miktarının belirlenmesi için; mikrodalga tekniği kullanılarak yapılan kurutma işlemlerinin ikinci bölümünde ise; 360 W sabit mikrodalga çıkış gücü için farklı miktarlarda (25-100 g) semizotu, fesleğen ve kereviz yaprağı belirlenen süreler boyunca kurutulmuştur. Kurutulan numunelerin C vitamini miktarları zamana karşı belirlenmiştir.

7.3.1.1 Kullanılan Çözeltilerin Hazırlanması

- **2,6 diklorofenolindofenol çözeltisinin hazırlanması;** 50 mg 2,6 diklorofenolindofenol 50 ml su ile çözülür ve çözeltiye 42 mg sodyum hidrojen karbonat eklenir. Çözeltinin hacmi 200ml'ye distile su ile tamamlanır ve çözelti filtre kağıdından geçirilerek amber balonjojede kullanılana kadar bekletilir.
- **% 3 (w/v) Metafosforik asit / asetik asit çözeltisinin hazırlanması;** 15 g metafosforik asit 40 ml asetik asit içinde çözülür. Çözelti 500 ml'ye distile su ile tamamlanır. Çözelti filtre edilir ve buzdolabında 4 ± 0.5^{0}C saklanır.
- **Askorbik asit standart çözeltisinin hazırlanması;** 50 mg kurutulmuş askorbik asit standartı % 3'lük metafosforik asit / asetik asit çözeltisinde çözülür.
- **Askorbik asit standart çözeltisinin titrasyonu ve faktör hesaplanması;** 1 ml sandart askorbik asit çözeltisi 6 ml % 3'lük metafosforik asit / asetik asit çözeltisi ile karıştırılır ve üzerine 30 ml distile su eklenir. Elde edilen çözelti 2,6 diklorofenolindofenol çözeltisi ile pembe renk sabit kalıncaya kadar titre edilir ve titrant hacmi kaydedilir.

Semizotu, fesleğen ve kereviz yaprağı numunelerinin mikrodalga tekniği ile kurutulması sonucunda C vitamini miktarlarının belirlenmesi amacıyla; semizotu, fesleğen ve kereviz yaprağı Bölüm 7.3.1'de açıklandığı şekilde kurutulmuştur. Kurutma sonrasında numunelerin C vitamini miktarlarını belirlemek amacıyla kurutulan numunelerin üzerine 100 ml % 3'lük metafosforik asit/asetik asit çözeltisi eklenip yüksek hızda metalik olmayan bir karıştırıcı ile 2 dakika karıştırılmıştır. Elde edilen çözelti süzüldükten sonra 5 ml filtrat alınıp üzerine 30 ml distile su eklenmiştir daha sonra çözelti 2,6 dikorofenolindofenol çözeltisi ile titre edilmiştir. Belirlenen titrant hacimleri kaydedilmiştir.

7.3.1.2 C vitamini miktarlarının belirlenmesi için yapılan hesaplamalar

Semizotu, fesleğen ve kereviz yaprağı numunelerinin mikrodalga tekniği ile kurutulması sonucunda elde edilen kurutulmuş ürünlerin C vitamini değerlerinin belirlemesi, standart askorbik asit çözeltisinin 2,6 dilorofenolindofenol boyar maddesi ile titrasyonu sonucunda harcanan titrant miktarının, kurutulmuş ürünlerin yine aynı çözelti ile titrasyonu sonucunda harcanan titant miktarına oranı yardımıyla mg C vitamini / 100 g numune cinsinden hesaplanır.

$$\text{mg C vit}/100\text{ g numune} = \frac{N_t \cdot S_n}{S_t} \tag{7.1}$$

Denklem 7.1'de,

N_t: Numune çözeltisinde harcanan titrant miktarı (ml)

S_n: Standart C vitamini (askorbik asit) çözeltisi (mg C Vit / 100 g numune)

S_t: Standart çözeltide harcanan titrant miktarı (ml)

olarak tanımlanmıştır.

7.3.2 C Vitamini Kayıplarının Belirlenmesi İçin Yapılan Modelleme Çalışmaları

7.3.2.1 Sıfırıncı Dereceden Kinetik Model

Sıfırıncı dereceden kinetik model Denklem 7.2'de sunulmuştur.

$C = C_0 \pm kt$ (7.2)

Denklem 7.2'de;

C: Herhangi bir t anındaki C vitamini miktarı

C_0: t=0 anındaki C vitamini miktarı

k: Kinetik sabit (dak^{-1})

t: Kurutma zamanı (dak)

olarak tanımlanmıştır.

7.3.2.2 Birinci Dereceden Kinetik Model

Birinci deeceden kinetik model Denklem 7.3'te sunulmuştur.

$C = C_0 \exp(\pm kt)$ (7.3)

Denklem 7.3'te;

C: Herhangi bir t anındaki C vitamini miktarı

C_0: t=0 anındaki C vitamini miktarı

k: Kinetik sabit (dak^{-1})

t: Kurutma zamanı (dak)

olarak tanımlanmıştır.

Denklem 7.2 ve 7.3'te belirtilen (+) ve (-) bozunma ve oluşma reaksiyonlarını temsil etmektedir [2].

7.3.3 Aktivasyon Enerjisinin Hesaplanması

Kinetik sabitler kulanılarak semizotu, fesleğen ve kereviz yaprağı numuneleri için aktivasyon enerjileri Arhenius denklemi temel alınarak türetilen eksponansiyel bir denklem kullanılarak hesaplanmıştır(Gökçe Tez).

$$k = k_0 \cdot \exp\left(\frac{E_a . m}{P}\right) \quad (7.4)$$

Denklem 7.4'te;

k: C vitamini bozunma kinetiği sabiti (dak^{-1})

k_0: Eksponansiyel sabit

m: numune ağırlığı (g)

E_a: Aktivasyon enerjisi ($W.g^{-1}$)

P: Mikrodalga çıkış gücü (W)

olarak tanımlanmıştır.

7.3.4 İstatiksel Hesaplamalar

İstatiksel verilerin hesaplanması için Curve Expert 1.3 programı kullanılmıştır. Bu program yardımı ile deneysel ve hesaplanan değerler arasındaki sapma, en küçük kareler metodu kullanılarak hesaplanmıştır. İstatiksel değerler Denklem 7.5 ve 7.6'da sunulmuştur.

$$SSR = \sum_{m=1}^{N_d} (C_m^{obs} - C_m^{cal})^2 \tag{7.5}$$

$$\delta^2 \approx s^2 = \frac{(SSR)_{min}}{(m-p)} \tag{7.6}$$

Denklem 7.5 ve 7.6'da;

m: Gözlem sayısı

N_d: Toplam deney sayısı

p: parametre sayısı ve

δ: Standart sapma

olarak tanımlanmıştır.

BÖLÜM 8

ARAŞTIRMA BULGULARI

8.1 Mikrodalga Çıkış Gücünün Semizotu Numunesinin C Vitamini Miktarları Üzerindeki Etkisi

Mikrodalga ile kurutma tekniği kullanılarak 25 g semizotu numunesi beş farklı mikrodalga çıkış gücünde, 180, 360, 540, 720 ve 900 W, belirlenen sürelerde belirli bir nem içeriğine kadar kurutulması sonucunda elde edilen kurutulmuş ürünler, AOAC, (1990) tarafından belirlenen titrimetrik yöntem ile mg vitamin C/100 g numune cinsinden hesaplanmıştr. Elde edilen değerler Çizelge 8.1-8.5'te verilmiştir.

Elde edilen sonuçlardan semizotu numunesindeki C vitamini miktarının mikrodalga çıkış gücünün artmasıyla azaldığı görülmüştür. Bunun nedeni, semizotu numunesinin kurutma süresince maruz kaldığı yüksek sıcaklıklar neticesinde C vitaminin bozunması olarak gösterilebilir.

Çizelge 8.1 180 W gücünde kurutulan semizotu numunelerinin deneysel yolla elde edilen C vitamini miktarının zamanla değişimi (Numune ağırlığı= 25 g)

Zaman (dak)	C vitamini miktarı (mg/100 g numune)	% Azalma
0	21.61	% 0
6	18.10	% 16
12	15.18	% 30
18	12.85	% 41
24	11.09	% 49
36	9.93	% 54
43	8.76	% 59

Çizelge 8.2 360 W gücünde kurutulan semizotu numunelerinin deneysel yolla elde edilen C vitamini miktarının zamanla değişimi (Numune ağırlığı= 25 g)

Zaman (dak)	C vitamini miktarı (mg/100 g numune)	% Azalma
0	21.61	% 0
4	17.52	% 19
8	14.01	% 35
12	11.68	% 46
16	10.51	% 51
21	9.34	% 57
27	8.18	% 62

Çizelge 8.3 540 W gücünde kurutulan semizotu numunelerinin deneysel yolla elde edilen C vitamini miktarının zamanla değişimi (Numune ağırlığı= 25 g)

Zaman (dak)	C vitamini miktarı (mg/100 g numune)	% Azalma
0	21.61	% 0
3	15.65	% 28
6	13.91	% 36
9	12.17	% 44
12	10.43	% 52
17	8.69	% 60
21	6.96	% 68

Çizelge 8.4 720 W gücünde kurutulan semizotu numunelerinin deneysel yolla elde edilen C vitamini miktarının zamanla değişimi (Numune ağırlığı= 25 g)

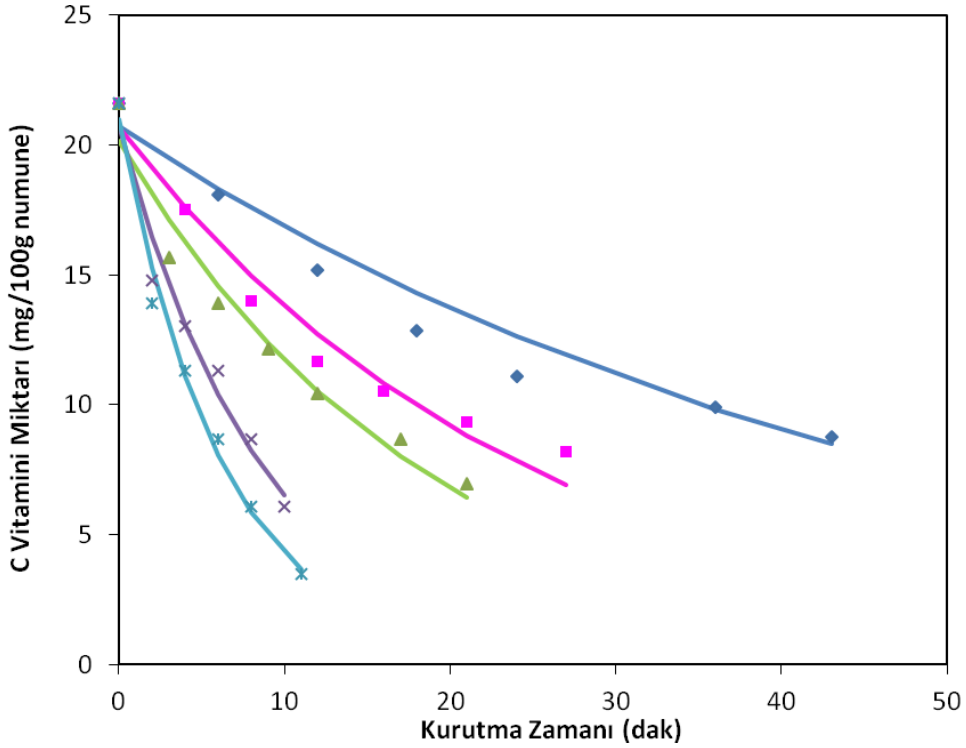
Zaman (dak)	C vitamini miktarı (mg/100 g numune)	% Azalma
0	21.61	% 0
2	14.78	% 32
4	13.04	% 40
6	11.30	% 48
8	8.69	% 60
10	6.09	% 72

Çizelge 8.5 900 W gücünde kurutulan semizotu numunelerinin deneysel yolla elde edilen C vitamini miktarının zamanla değişimi (Numune ağırlığı= 25 g)

Zaman (dak)	C vitamini miktarı (mg/100 g numune)	% Azalma
0	21.61	% 0
2	13.91	% 36
4	11.30	% 48
6	8.69	% 60
8	6.09	% 72
11	3.48	% 84

C vitamini miktarının farklı mikrodalga çıkış güçlerinde zamana karşılık değişimi incelenmiştir (Şekil 8.1). Şekil 8.1'den anlaşılabileceği gibi, C vitamini değeri kuruma zamanı boyunca düşmüştür. C vitamini miktarı 21.61 mg/100 g numune değerinden 180 W mikrodalga çıkış gücünde 8.76 mg/100 g numune değerine, 900 W mikrodalga çıkış gücünde ise 3.48 mg/100 g numune değerine düşmüştür. Deneysel verilere dayanılarak yapılan matematiksel modelleme sonucunda, tüm mikrodalga çıkış güçleri için, C vitamini miktarı ile zaman arasındaki değişim sıfırıncı ve birinci derece kinetik modele göre incelenmiştir. Yapılan matematiksel modelleme sonucunda, tüm mikrodalga çıkış güçleri için, C vitamini miktarı ile zaman arasındaki değişimin yüksek R^2 ve düşük standart sapma (δ) değerleri ile birinci derece kinetik modeli uyduğu görülmüştür. C vitamini miktarının zamana karşılık değişimi için kurulan matematiksel modele ait katsayılar ve yapılan istatistiksel analiz sonucunda elde edilen istatistik veriler Çizelge 8.6'da verilmiştir.

Yapılan matematiksel modelleme sonucunda; birinci dereceden kinetik denkleme ait hız sabiti(k); mikrodalga çıkış gücü 180 W değerinden 900 W değerine arttırıldığında, 0.0207 dak^{-1} değerinden 0.15906 dak^{-1} değerine artma göstermiştir. Bu sonuç, gıdanın içinde meydana gelen yüksek sıcaklık neticesinde termal bozunma reaksiyonlarının daha hızlı gerçekleştiğini göstermektedir [2].



Şekil 8.1 Farklı mikrodalga çıkış güçlerinde semizotu numunesine ait C vitamini değerlerinin kurutma zamanı ile değişimi ◆ 180 W, ■ 360 W, ▲ 540 W x 720 W, * 900 W, — Modeller (Numune ağrlığı= 25 g)

Çizelge 8.6 Farklı mikrodalga çıkış güçlerinde semizotu numunesinin C vitamini değerlerinin kurutma süresince değişimine ait sıfırıncı ve birinci dereceden kinetik modele ait katsayılar ve istatiksel veriler (Numune ağırlığı= 25 g)

	Sıfırıncı Dereceden Kinetik Model				**Birinci Dereceden Kinetik Model**			
Mikrodalga Çıkış Gücü (W)	**k**	**C_0**	**R^2**	**δ**	**k**	**C_0**	**R^2**	**δ**
180	0.2811	19.5275	0.9479	1.6178	0.0207	20.7396	0.9822	0.9541
360	0.4778	19.2700	0.9429	1.7607	0.0406	20.6972	0.9829	0.9736
540	0.6176	18.7757	0.9486	1.6979	0.0543	20.1645	0.9808	1.0449
720	1.3942	19.5575	0.9674	1.5281	0.1153	20.7426	0.9832	1.1018
900	1.5352	19.7791	0.9595	2.0273	0.1591	20.9879	0.9934	0.8228

*Katsayılara ait birimler; k; dak^{-1}; C_0; mg C Vitamini/100 g numune

8.2 Sabit Mikrodalga Çıkış gücünde Semizotu Numune Miktarı Değişiminin C Vitamini Miktarları Üzerindeki Etkisi

Mikrodalga ile kurutma tekniği kullanılarak 360 W sabit mikrodalga çıkış gücünde semizotu numunesinin farklı miktarlarda, 25, 50, 75 ve 100 g, belirlenen sürelerde belirli bir nem içeriğine kadar kurutulması sonucunda elde edilen kurutulmuş ürünler, AOAC, (1990) tarafından belirlenen titrimetrik yöntem ile mg vitamin C/100 g numune cinsinden hesaplanmıştr. Elde edilen değerler Çizelge 8.7-8.10'da verilmiştir.

Gıdanın kütlesi ile istenilen ısıtmanın gerçekleşmesi için gerekli olan mikrodalga gücü arasında direkt bir ilişki vardır [16]. Elde edilen sonuçlardan, semizotu numunesindeki C vitamini miktarının numune miktarının artmasıyla arttığı görülmüştür.

Çizelge 8.7 25 g kurutulan semizotu numunelerinin deneysel yolla elde edilen C vitamini miktarının zamanla değişimi (Mikrodalga gücü= 360 W)

Zaman (dak)	C vitamini miktarı (mg/100 g numune)	% Azalma
0	21.61	% 0
4	17.52	% 19
8	14.01	% 35
12	11.68	% 46
16	10.51	% 51
21	9.34	% 57
27	8.18	% 62

Çizelge 8.8 50 g kurutulan semizotu numunelerinin deneysel yolla elde edilen C vitamini miktarının zamanla değişimi (Mikrodalga gücü= 360 W)

Zaman (dak)	C vitamini miktarı (mg/100 g numune)	% Azalma
0	21.61	% 0
6	17.67	% 18
12	16.28	% 25
18	14.88	% 31
24	13.49	% 38
30	12.09	% 44
36	10.69	% 51

Çizelge 8.9 75 g kurutulan semizotu numunelerinin deneysel yolla elde edilen C vitamini miktarının zamanla değişimi (Mikrodalga gücü= 360 W)

Zaman (dak)	C vitamini miktarı (mg/100 g numune)	% Azalma
0	21.61	% 0
7	17.88	% 17
14	16.67	% 23
21	15.46	% 28
28	14.24	% 34
35	13.03	% 40
42	11.52	% 47

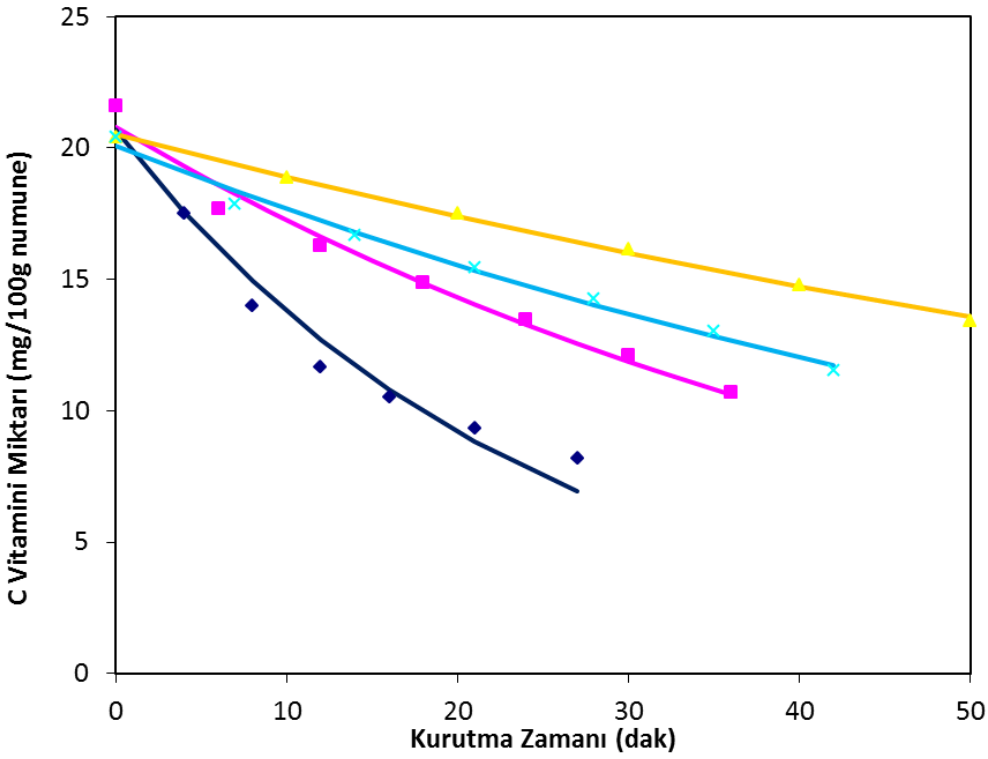
Çizelge 8.10 100 g kurutulan semizotu numunelerinin deneysel yolla elde edilen C vitamini miktarının zamanla değişimi (Mikrodalga gücü= 360 W)

Zaman (dak)	C vitamini miktarı (mg/100 g numune)	% Azalma
0	21.61	% 0
10	18.86	% 13
20	17.50	% 19
30	16.14	% 25
40	14.77	% 32
50	13.41	% 38

C vitamini miktarının farklı numune miktarlarında zamana karşılık değişimi incelenmiştir (Şekil 8.2). Şekil 8.2'den anlaşılabileceği gibi, C vitamini değeri kuruma zamanı boyunca düşmüştür; buna karşılık kuturulan numune miktarı arttıkça artmıştır. C vitamini miktarı 21.61 mg/100 g numune değerinden 25 g numune miktarı kullanılarak yapılan deneylerde 8.18 mg/100 g numune değerine, 100 g numune miktarı kullanılarak yapılan deneylerde ise 13.41 mg/100 g numune değerine düşmüştür. Deneysel verilere dayanılarak yapılan matematiksel modelleme sonucunda, tüm numune miktarları için, C vitamini miktarı ile zaman arasındaki değişim sıfırıncı ve birinci derece kinetik modele göre incelenmiştir. Yapılan matematiksel modelleme sonucunda, tüm numune miktarları için, C vitamini miktarı ile

zaman arasındaki değişimin yüksek R^2 ve düşük standart sapma (δ) değerleri ile birinci derece kinetik modele uyduğu görülmüştür. C vitamini miktarının zamana karşılık değişimi için kurulan matematiksel modele ait katsayılar ve yapılan istatistiksel analiz sonucunda elde edilen istatistik veriler Çizelge 8.11'de verilmiştir.

Yapılan matematiksel modelleme sonucunda; birinci dereceden kinetik denkleme ait hız sabiti (k); Numune miktarı 25 g değerinden 100 g değerine arttırıldığında, 0.0406 dak^{-1} değerinden 0.00826 dak^{-1} değerine azalma göstermiştir. Bu sonuç, numune miktarı azaldığında mikrodalga gücünün numune üzerinde yüksek sıcaklık meydana getirdiğini neticesinde termal bozunma reaksiyonlarının daha hızlı gerçekleştiğini göstermektedir [2].



Şekil 8.2 Farklı miktarlarda kurutulan semizotu numunelerinin C vitamini değerlerinin kurutma zamanı ile değişimi ◆ 25 g, ■ 50 g, x 75 g, ▲ 100 g, — Modeller (Mikrodalga çıkış gücü= 360 W)

Çizelge 8.11 Farklı miktarlarda kurutulan semizotu numunelerine ait C vitamini değerlerinin kurutma süresince değişimine ait sıfırıncı ve birinci dereceden kinetik modele ait katsayılar ve istatiksel veriler (Mikrodalga Çıkış Gücü= 360 W)

	Sıfırıncı Dereceden Kinetik Model				**Birinci Dereceden Kinetik Model**			
Numune Miktarı (g)	**k**	**C_0**	**R^2**	**δ**	**k**	**C_0**	**R^2**	**δ**
25	0.4778	19.2700	0.9429	1.7607	0.0406	20.6972	0.9829	0.9736
50	0.2778	20.2472	0.9786	0.8301	0.0207	20.8018	0.9894	0.5848
75	0.1984	19.7705	0.9919	0.4185	0.0128	20.0965	0.9953	0.3208
100	0.1394	20.3376	0.9991	0.0727	0.0083	20.5173	0.9996	0.1244

*Katsayılara ait birimler; k; dak^{-1}; C_0; mg C Vitamini/100 g numune

8.3 Mikrodalga Çıkış Gücünün Fesleğen Numunesinin C Vitamini Miktarları Üzerindeki Etkisi

Mikrodalga ile kurutma tekniği kullanılarak 25 g fesleğen numunesi beş farklı mikrodalga çıkış gücünde, 180, 360, 540, 720 ve 900 W, belirlenen sürelerde belirli bir nem içeriğine kadar kurutulması sonucunda elde edilen kurutulmuş ürünler, AOAC, (1990) tarafından belirlenen titrimetrik yöntem ile mg vitamin C/100 g numune cinsinden hesaplanmıştr. Elde edilen değerler Çizelge 8.12-8.16'da verilmiştir.

Elde edilen sonuçlardan fesleğen numunesindeki C vitamini miktarının mikrodalga çıkış gücünün artmasıyla azaldığı görülmüştür. Bunun nedeni, fesleğen numunesinin kurutma süresince maruz kaldığı yüksek sıcaklıklar neticesinde C vitaminin bozunması olarak gösterilebilir.

Çizelge 8.12 180 W gücünde kurutulan fesleğen numunelerinin deneysel yolla elde edilen C vitamini miktarının zamanla değişimi (Numune ağırlığı= 25 g)

Zaman (dak)	C vitamini miktarı (mg/100 g numune)	% Azalma
0	21.19	% 0
5	18.89	% 11
10	13.33	% 37
15	11.11	% 48
20	8.89	% 58
25	6.67	% 69
28	5.56	% 74

Çizelge 8.13 360 W gücünde kurutulan fesleğen numunelerinin deneysel yolla elde edilen C vitamini miktarının zamanla değişimi (Numune ağırlığı= 25 g)

Zaman (dak)	C vitamini miktarı (mg/100 g numune)	% Azalma
0	21.19	% 0
3	12.22	% 42
6	10.00	% 53
9	7.78	% 63
12	5.56	% 74
16	3.33	% 84

Çizelge 8.14 540 W gücünde kurutulan fesleğen numunelerinin deneysel yolla elde edilen C vitamini miktarının zamanla değişimi (Numune ağırlığı= 25 g)

Zaman (dak)	C vitamini miktarı (mg/100 g numune)	% Azalma
0	21.19	% 0
2	10.00	% 53
4	7.78	% 63
6	4.44	% 79
8	2.22	% 90
11	2.22	% 90

Çizelge 8.15 720 W gücünde kurutulan fesleğen numunelerinin deneysel yolla elde edilen C vitamini miktarının zamanla değişimi (Numune ağırlığı= 25 g)

Zaman (dak)	C vitamini miktarı (mg/100 g numune)	% Azalma
0	21.19	% 0
1	6.67	% 69
2	4.44	% 79
3	2.22	% 90
5	1.11	% 95
7	1.11	% 95

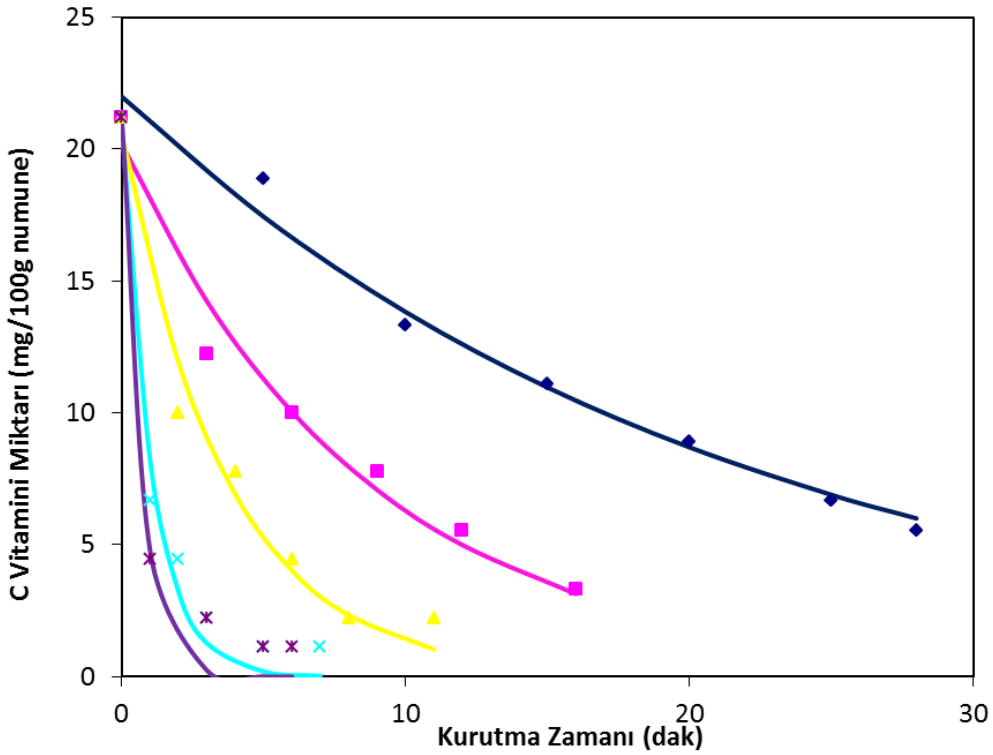
Çizelge 8.16 900 W gücünde kurutulan fesleğen numunelerinin deneysel yolla elde edilen C vitamini miktarının zamanla değişimi (Numune ağırlığı= 25 g)

Zaman (dak)	C vitamini miktarı (mg/100 g numune)	% Azalma
0	21.19	% 0
1	4.44	% 79
3	2.22	% 90
5	1.11	% 95
6	1.11	% 95

C vitamini miktarının farklı mikrodalga çıkış güçlerinde zamana karşılık değişimi incelenmiştir (Şekil 8.3). Şekil 8.3'ten anlaşılabileceği gibi, C vitamini değeri kuruma zamanı boyunca düşmüştür. C vitamini miktarı 21.19 mg/100 g numune değerinden 180 W mikrodalga çıkış gücünde 5.56 mg/100 g numune değerine, 900 W mikrodalga çıkış gücünde ise 1.11 mg/100 g numune değerine düşmüştür. Deneysel verilere dayanılarak yapılan matematiksel modelleme sonucunda, tüm mikrodalga çıkış güçleri için, C vitamini miktarı ile zaman arasındaki değişim sıfırıncı ve birinci derece kinetik modele göre incelenmiştir. Yapılan matematiksel modelleme sonucunda, tüm mikrodalga çıkış güçleri için, C vitamini miktarı ile zaman arasındaki değişimin yüksek R^2 ve düşük standart sapma (δ) değerleri ile birinci derece kinetik modeli uyduğu görülmüştür. C vitamini miktarının zamana karşılık değişimi için kurulan matematiksel

modele ait katsayılar ve yapılan istatistiksel analiz sonucunda elde edilen istatistik veriler Çizelge 8.17'de verilmiştir.

Yapılan matematiksel modelleme sonucunda; birinci dereceden kinetik denkleme ait hız sabiti(k); mikrodalga çıkış gücü 180 W değerinden 900 W değerine arttırıldığında, 0.04636 dak^{-1} değerinden 1.49022 dak^{-1} değerine artma göstermiştir. Bu sonuç, gıdanın içinde meydana gelen yüksek sıcaklık neticesinde termal bozunma reaksiyonlarının daha hızlı gerçekleştiğini göstermektedir [2].



Şekil 8.3 Farklı mikrodalga çıkış güçlerinde fesleğen numunesine ait C vitamini değerlerinin kurutma zamanı ile değişimi ◆ 180 W, ■ 360 W, ▲ 540 W, x 720 W, * 900 W, — Modeller (Numune ağrlığı= 25 g)

Çizelge 8.17 Farklı mikrodalga çıkış güçlerinde fesleğen numunesinin C vitamini değerlerinin kurutma süresince değişimine ait sıfırıncı ve birinci dereceden kinetik modele ait katsayılar ve istatiksel veriler (Numune ağırlığı= 25 g)

	Sıfırıncı Dereceden Kinetik Model				**Birinci Dereceden Kinetik Model**			
Mikrodalga Çıkış Gücü (W)	**k**	**C_0**	**R^2**	**δ**	**k**	**C_0**	**R^2**	**δ**
180	0.5683	20.5953	0.9858	1.0967	0.0464	21.9853	0.9923	0.8118
360	1.0036	17.7076	0.9358	2.4879	0.1163	20.1718	0.9851	1.2156
540	1.5745	16.1112	0.8822	3.7782	0.2716	20.5035	0.9874	1.2716
720	2.1967	12.7146	0.7449	5.7354	0.9325	20.8436	0.9883	1.3106
900	2.5734	13.7365	0.7636	6.4058	1.4902	21.1434	0.9889	1.4677

*Katsayılara ait birimler; k; dak^{-1}; C_0; mg C Vitamini/100 g numune

8.4 Sabit Mikrodalga Çıkış gücünde Fesleğen Numune Miktarı Değişiminin C Vitamini Miktarları Üzerindeki Etkisi

Mikrodalga ile kurutma tekniği kullanılarak 360 W sabit mikrodalga çıkış gücünde fesleğen numunesinin farklı miktarlarda, 25, 50, 75 ve 100 g, belirlenen sürelerde belirli bir nem içeriğine kadar kurutulması sonucunda elde edilen kurutulmuş ürünler, AOAC, (1990) tarafından belirlenen titrimetrik yöntem ile mg vitamin C/100 g numune cinsinden hesaplanmıştr. Elde edilen değerler Çizelge 8.18-8.21'de verilmiştir.

Gıdanın kütlesi ile istenilen ısıtmanın gerçekleşmesi için gerekli olan mikrodalga gücü arasında direkt bir ilişki vardır [16]. Elde edilen sonuçlardan, fesleğen numunesindeki C vitamini miktarının numune miktarının artmasıyla arttığı görülmüştür.

Çizelge 8.18 25 g kurutulan fesleğen numunelerinin deneysel yolla elde edilen C vitamini miktarının zamanla değişimi (Mikrodalga gücü= 360 W)

Zaman (dak)	C vitamini miktarı (mg/100 g numune)	% Azalma
0	21.19	% 0
3	12.22	% 42
6	10.00	% 53
9	7.78	% 63
12	5.56	% 74
16	3.33	% 84

Çizelge 8.19 50 g kurutulan fesleğen numunelerinin deneysel yolla elde edilen C vitamini miktarının zamanla değişimi (Mikrodalga gücü= 360 W)

Zaman (dak)	C vitamini miktarı (mg/100 g numune)	% Azalma
0	21.19	% 0
5	13.14	% 38
10	10.86	% 49
15	8.57	% 60
20	6.29	% 70
25	4.00	% 81

Çizelge 8.20 75 g kurutulan fesleğen numunelerinin deneysel yolla elde edilen C vitamini miktarının zamanla değişimi (Mikrodalga gücü= 360 W)

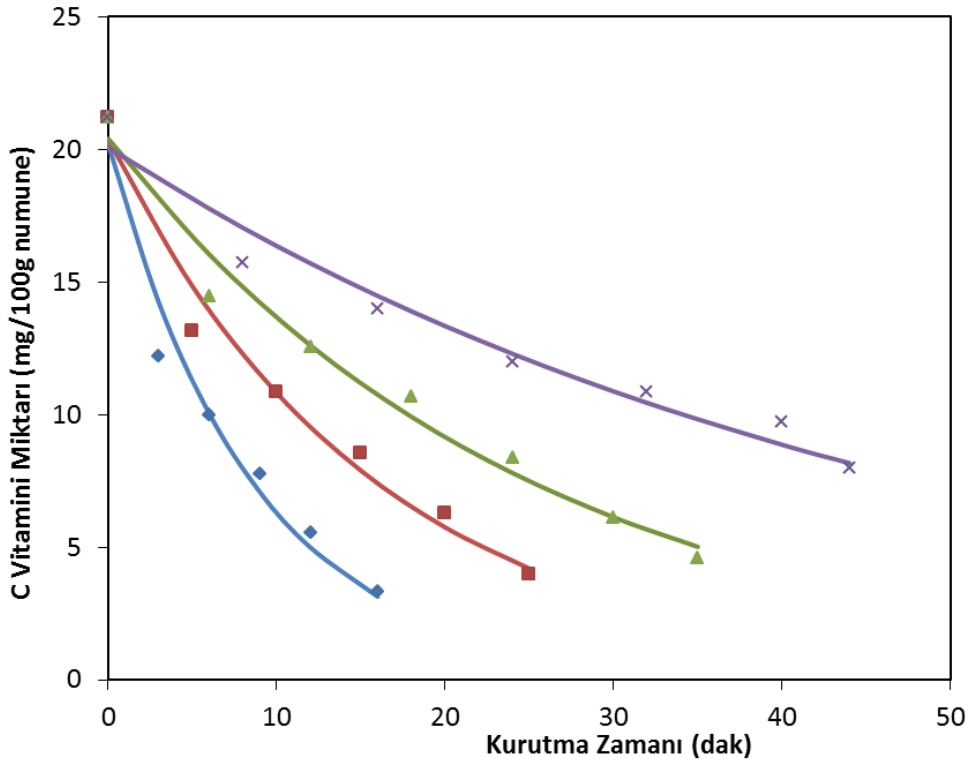
Zaman (dak)	C vitamini miktarı (mg/100 g numune)	% Azalma
0	21.19	% 0
6	14.48	% 32
12	12.57	% 41
18	10.67	% 50
24	8.38	% 60
30	6.09	% 71
35	4.57	% 78

Çizelge 8.21 100 g kurutulan fesleğen numunelerinin deneysel yolla elde edilen C vitamini miktarının zamanla değişimi (Mikrodalga gücü= 360 W)

Zaman (dak)	C vitamini miktarı (mg/100 g numune)	% Azalma
0	21.19	% 0
8	15.71	% 26
16	14.00	% 34
24	12.00	% 43
32	10.86	% 49
40	9.71	% 54
44	8.00	% 62

C vitamini miktarının farklı numune miktarlarında zamana karşılık değişimi incelenmiştir (Şekil 8.4). Şekil 8.4'ten anlaşılabileceği gibi, C vitamini değeri kuruma zamanı boyunca düşmüştür; buna karşılık kuturulan numune miktarı arttıkça artmıştır. C vitamini miktarı 21.19 mg/100 g numune değerinden 25 g numune miktarı kullanılarak yapılan deneylerde 3.33 mg/100 g numune değerine, 100 g numune miktarı kullanılarak yapılan deneylerde ise 8.00 mg/100 g numune değerine düşmüştür. Deneysel verilere dayanılarak yapılan matematiksel modelleme sonucunda, tüm numune miktarları için, C vitamini miktarı ile zaman arasındaki değişim sıfırıncı ve birinci derece kinetik modele göre incelenmiştir. Yapılan matematiksel modelleme sonucunda, tüm numune miktarları için, C vitamini miktarı ile zaman arasındaki değişimin yüksek R^2 ve düşük standart sapma (δ) değerleri ile birinci derece kinetik modele uyduğu görülmüştür. C vitamini miktarının zamana karşılık değişimi için kurulan matematiksel modele ait katsayılar ve yapılan istatistiksel analiz sonucunda elde edilen istatistik veriler Çizelge 8.11'de verilmiştir.

Yapılan matematiksel modelleme sonucunda; birinci dereceden kinetik denkleme ait hız sabiti(k); Numune miktarı 25 g değerinden 100 g değerine arttırıldığında, 0.1163 dak^{-1} değerinden 0.0204 dak^{-1} değerine azalma göstermiştir. Bu sonuç, numune miktarı azaldığında mikrodalga gücünün numune üzerinde yüksek sıcaklık meydana getirdiğini neticesinde termal bozunma reaksiyonlarının daha hızlı gerçekleştiğini göstermektedir [2].



Şekil 8.4 Farklı miktarlarda kurutulan fesleğen numunelerinin C vitamini değerlerinin kurutma zamanı ile değişimi ◆ 25 g, ■ 50 g, ▲ 75 g, x 100 g, — Modeller (Mikrodalga çıkış gücü= 360 W)

Çizelge 8.22 Farklı miktarlarda kurutulan fesleğen numunelerine ait C vitamini değerlerinin kurutma süresince değişimine ait sıfırıncı ve birinci dereceden kinetik modele ait katsayılar ve istatiksel veriler (Mikrodalga Çıkış Gücü= 360 W)

	Sıfırıncı Dereceden Kinetik Model				**Birinci Dereceden Kinetik Model**			
Numune Miktarı (g)	**k**	**C_0**	**R^2**	**δ**	**k**	**C_0**	**R^2**	**δ**
25	1.0036	17.7076	0.9358	2.4879	0.1163	20.1718	0.9851	1.2156
50	0.6218	18.4475	0.9563	1.9886	0.0632	20.3508	0.9881	1.0456
75	0.4299	18.8147	0.9713	1.4683	0.0401	20.4003	0.9889	0.9142
100	0.2587	19.1294	0.9615	1.3287	0.0204	20.0639	0.9816	0.9233

*Katsayılara ait birimler; k; dak^{-1}; C_0; mg C Vitamini/100 g numune

8.5 Mikrodalga Çıkış Gücünün Kereviz Yaprağı Numunesinin C Vitamini Miktarları Üzerindeki Etkisi

Mikrodalga ile kurutma tekniği kullanılarak 25 g kereviz yaprağı numunesi beş farklı mikrodalga çıkış gücünde, 180, 360, 540, 720 ve 900 W, belirlenen sürelerde belirli bir nem içeriğine kadar kurutulması sonucunda elde edilen kurutulmuş ürünler, AOAC, (1990) tarafından belirlenen titrimetrik yöntem ile mg vitamin C/100 g numune cinsinden hesaplanmıştr. Elde edilen değerler Çizelge 8.23-8.27'de verilmiştir.

Elde edilen sonuçlardan kereviz yaprağı numunesindeki C vitamini miktarının mikrodalga çıkış gücünün artmasıyla azaldığı görülmüştür. Bunun nedeni, kereviz yaprağı numunesinin kurutma süresince maruz kaldığı yüksek sıcaklıklar neticesinde C vitaminin bozunması olarak gösterilebilir.

Çizelge 8.23 180 W gücünde kurutulan kereviz yaprağı numunelerinin deneysel yolla elde edilen C vitamini miktarının zamanla değişimi (Numune ağırlığı= 25 g)

Zaman (dak)	C vitamini miktarı (mg/100 g numune)	% Azalma
0	30.00	% 0
6	23.33	% 22
12	19.17	% 36
18	17.50	% 42
24	15.00	% 50
32	13.33	% 56

Çizelge 8.24 360 W watt gücünde kurutulan kereviz yaprağı numunelerinin deneysel yolla elde edilen C vitamini miktarının zamanla değişimi (Numune ağırlığı= 25 g)

Zaman (dak)	C vitamini miktarı (mg/100 g numune)	% Azalma
0	30.00	% 0
5	20.00	% 33
10	16.67	% 44
15	14.17	% 53
20	11.67	% 61
25	9.17	% 69

Çizelge 8.25 540 W gücünde kurutulan kereviz yaprağı numunelerinin deneysel yolla elde edilen C vitamini miktarının zamanla değişimi
(Numune ağırlığı= 25 g)

Zaman (dak)	C vitamini miktarı (mg/100 g numune)	% Azalma
0	30.00	% 0
3	19.17	% 36
6	15.83	% 47
9	13.33	% 56
12	10.83	% 64
16	8.33	% 72

Çizelge 8.26 720 W watt gücünde kurutulan kereviz yaprağı numunelerinin deneysel yolla elde edilen C vitamini miktarının zamanla değişimi
(Numune ağırlığı= 25 g)

Zaman (dak)	C vitamini miktarı (mg/100 g numune)	% Azalma
0	30.00	% 0
2	17.50	% 42
4	15.00	% 50
6	12.50	% 58
8	8.33	% 72
10	7.50	% 75

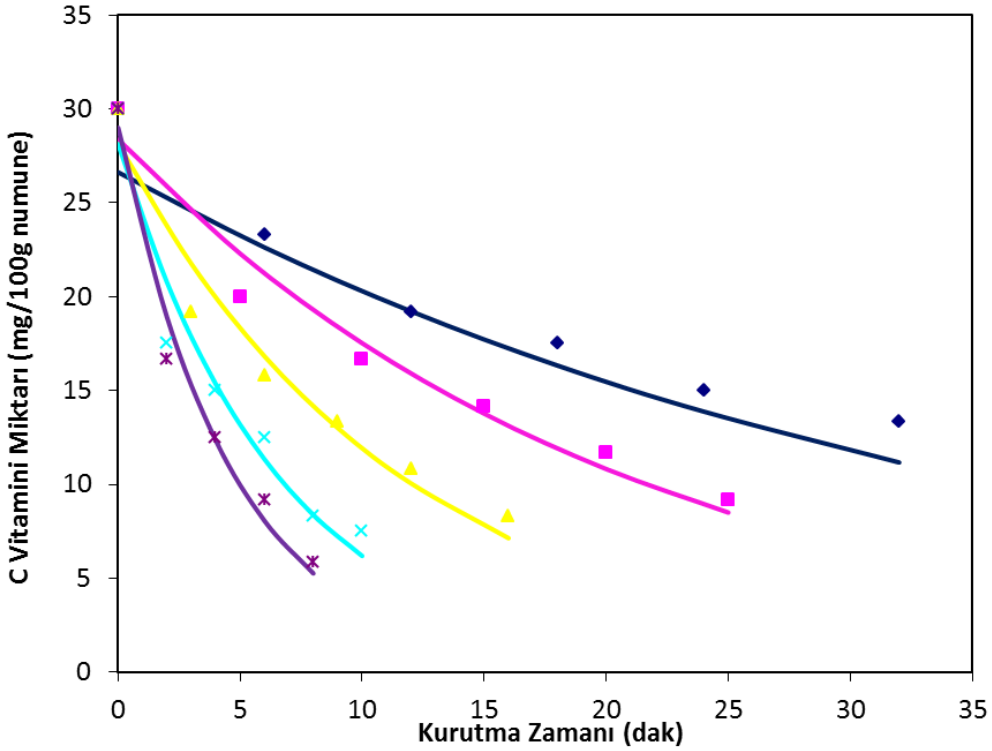
Çizelge 8.27 900 W gücünde kurutulan kereviz yaprağı numunelerinin deneysel yolla elde edilen C vitamini miktarının zamanla değişimi
(Numune ağırlığı= 25 g)

Zaman (dak)	C vitamini miktarı (mg/100 g numune)	% Azalma
0	30.00	% 0
2	16.67	% 44
4	12.50	% 58
6	9.17	% 69
8	5.83	% 81

C vitamini miktarının farklı mikrodalga çıkış güçlerinde zamana karşılık değişimi incelenmiştir (Şekil 8.5). Şekil 8.5'ten anlaşılabileceği gibi, C vitamini değeri kuruma

zamanı boyunca düşmüştür. C vitamini miktarı 30.00 mg/100 g numune değerinden 180 W mikrodalga çıkış gücünde 13.33 mg/100 g numune değerine, 900 W mikrodalga çıkış gücünde ise 5.83 mg/100 g numune değerine düşmüştür. Deneysel verilere dayanılarak yapılan matematiksel modelleme sonucunda, tüm mikrodalga çıkış güçleri için, C vitamini miktarı ile zaman arasındaki değişim sıfırıncı ve birinci derece kinetik modele göre incelenmiştir. Yapılan matematiksel modelleme sonucunda, tüm mikrodalga çıkış güçleri için, C vitamini miktarı ile zaman arasındaki değişimin yüksek R^2 ve düşük standart sapma (δ) değerleri ile birinci derece kinetik modeli uyduğu görülmüştür. C vitamini miktarının zamana karşılık değişimi için kurulan matematiksel modele ait katsayılar ve yapılan istatistiksel analiz sonucunda elde edilen istatistik veriler Çizelge 8.28'de verilmiştir.

Yapılan matematiksel modelleme sonucunda; birinci dereceden kinetik denkleme ait hız sabiti (k); mikrodalga çıkış gücü 180 W değerinden 900 W değerine arttırıldığında, 0.02715 dak^{-1} değerinden 0.2135 dak^{-1} değerine artma göstermiştir. Bu sonuç, gıdanın içinde meydana gelen yüksek sıcaklık neticesinde termal bozunma reaksiyonlarının daha hızlı gerçekleştiğini göstermektedir [2].



Şekil 8.5 Farklı mikrodalga çıkış güçlerinde kereviz yaprağı numunesine ait C vitamini değerlerinin kurutma zamanı ile değişimi ◆ 180 W, ■ 360 W, ▲ 540 W, x 720 W, * 900 W, — Modeller (Numune ağrlığı= 25 g)

Çizelge 8.28 Farklı mikrodalga çıkış güçlerinde kereviz yaprağı numunesinin C vitamini değerlerinin kurutma süresince değişimine ait sıfırıncı ve birinci dereceden kinetik modele ait katsayılar ve istatiksel veriler (Numune ağırlığı= 25 g)

	Sıfırıncı Dereceden Kinetik Model				**Birinci Dereceden Kinetik Model**			
Mikrodalga Çıkış Gücü (W)	**k**	**C_0**	**R^2**	**δ**	**k**	**C_0**	**R^2**	**δ**
180	0.4944	27.3029	0.9519	2.0959	0.0272	26.6302	0.9814	1.3119
360	0.7524	26.3492	0.9474	2.6583	0.0482	28.3787	0.9818	1.5785
540	1.2212	25.6122	0.9309	3.1538	0.0858	28.1393	0.9775	1.8229
720	2.0357	25.3175	0.9263	3.4637	0.1515	28.1329	0.9739	2.0885
900	2.7917	26.0000	0.9411	3.6609	0.2135	29.0047	0.9890	1.5997

*Katsayılara ait birimler; k; dak^{-1}; C_0; mg C Vitamini/100 g numune

8.6 Sabit Mikrodalga Çıkış gücünde Kereviz Yaprağı Numune Miktarı Değişiminin C Vitamini Miktarları Üzerindeki Etkisi

Mikrodalga ile kurutma tekniği kullanılarak 360 W sabit mikrodalga çıkış gücünde kereviz yaprağı numunesinin farklı miktarlarda, 25, 50, 75 ve 100 g, belirlenen sürelerde belirli bir nem içeriğine kadar kurutulması sonucunda elde edilen kurutulmuş ürünler, AOAC, (1990) tarafından belirlenen titrimetrik yöntem ile mg vitamin C/100 g numune cinsinden hesaplanmıştr. Elde edilen değerler Çizelge 8.29-8.32'de verilmiştir.

Gıdanın kütlesi ile istenilen ısıtmanın gerçekleşmesi için gerekli olan mikrodalga gücü arasında direkt bir ilişki vardır [16]. Elde edilen sonuçlardan, kereviz yaprağı numunesindeki C vitamini miktarının numune miktarının artmasıyla arttığı görülmüştür.

Çizelge 8.29 25 g kurutulan kereviz yaprağı numunelerinin deneysel yolla elde edilen C vitamini miktarının zamanla değişimi (Mikrodalga gücü= 360 W)

Zaman (dak)	C vitamini miktarı (mg/100 g numune)	% Azalma
0	30.00	% 0
5	20.00	% 33
10	16.67	% 44
15	14.17	% 53
20	11.67	% 61
25	9.17	% 69

Çizelge 8.30 50 g kurutulan kereviz yaprağı numunelerinin deneysel yolla elde edilen C vitamini miktarının zamanla değişimi (Mikrodalga gücü= 360 W)

Zaman (dak)	C vitamini miktarı (mg/100 g numune)	% Azalma
0	30.00	% 0
6	22.93	% 24
12	19.44	% 35
18	15.28	% 49
24	13.19	% 56
30	11.11	% 63

Çizelge 8.31 75 g kurutulan kereviz yaprağı numunelerinin deneysel yolla elde edilen C vitamini miktarının zamanla değişimi (Mikrodalga gücü= 360 W)

Zaman (dak)	C vitamini miktarı (mg/100 g numune)	% Azalma
0	30.00	% 0
8	25.69	% 14
16	22.92	% 24
24	18.75	% 38
32	16.67	% 44
40	12.50	% 58

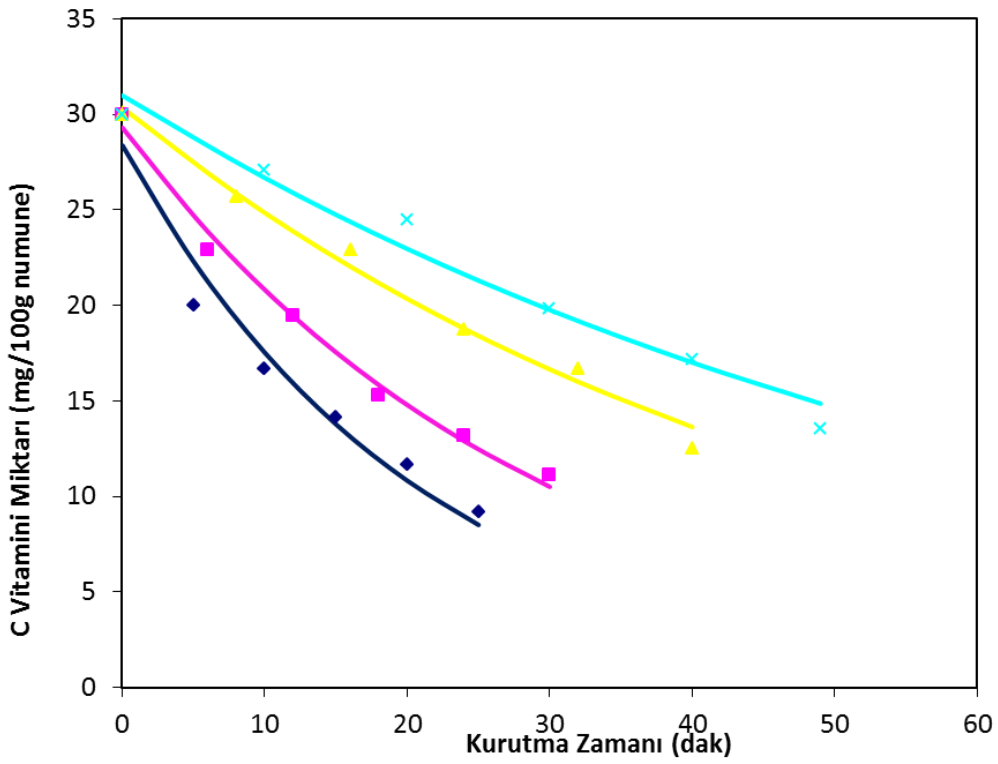
Çizelge 8.32 100 g kurutulan kereviz yaprağı numunelerinin deneysel yolla elde edilen C vitamini miktarının zamanla değişimi (Mikrodalga gücü= 360 W)

Zaman (dak)	C vitamini miktarı (mg/100 g numune)	% Azalma
0	30.00	% 0
10	27.08	% 10
20	24.48	% 18
30	19.79	% 34
40	17.19	% 43
49	13.54	% 55

C vitamini miktarının farklı numune miktarlarında zamana karşılık değişimi incelenmiştir (Şekil 8.6). Şekil 8.6'dan anlaşılabileceği gibi, C vitamini değeri kuruma zamanı boyunca düşmüştür; buna karşılık kuturulan numune miktarı arttıkça artmıştır. C vitamini miktarı 30.00 mg/100 g numune değerinden 25 g numune miktarı kullanılarak yapılan deneylerde 9.17 mg/100 g numune değerine, 100 g numune miktarı kullanılarak yapılan deneylerde ise 13.54 mg/100 g numune değerine düşmüştür. Deneysel verilere dayanılarak yapılan matematiksel modelleme sonucunda, tüm numune miktarları için, C vitamini miktarı ile zaman arasındaki değişim sıfırıncı ve birinci derece kinetik modele göre incelenmiştir. Yapılan matematiksel modelleme sonucunda, tüm numune miktarları için, C vitamini miktarı ile zaman arasındaki değişimin yüksek R^2 ve düşük standart sapma (δ) değerleri ile birinci derece kinetik modele uyduğu görülmüştür. C vitamini miktarının zamana karşılık

değişimi için kurulan matematiksel modele ait katsayılar ve yapılan istatistiksel analiz sonucunda elde edilen istatistik veriler Çizelge 8.33'te verilmiştir.

Yapılan matematiksel modelleme sonucunda; birinci dereceden kinetik denkleme ait hız sabiti (k); Numune miktarı 25 g değerinden 100 g değerine arttırıldığında, 0.0482 dak^{-1} değerinden 0.0149 dak^{-1} değerine azalma göstermiştir. Bu sonuç, numune miktarı azaldığında mikrodalga gücünün numune üzerinde yüksek sıcaklık meydana getirdiğini neticesinde termal bozunma reaksiyonlarının daha hızlı gerçekleştiğini göstermektedir [2].



Şekil 8.6 Farklı miktarlarda kurutulan kereviz yaprağı numunelerinin C vitamini değerlerinin kurutma zamanı ile değişimi ◆ 25 g, ■ 50 g, ▲ 75 g, x 100 g, —Modeller (Mikrodalga çıkış gücü= 360 W)

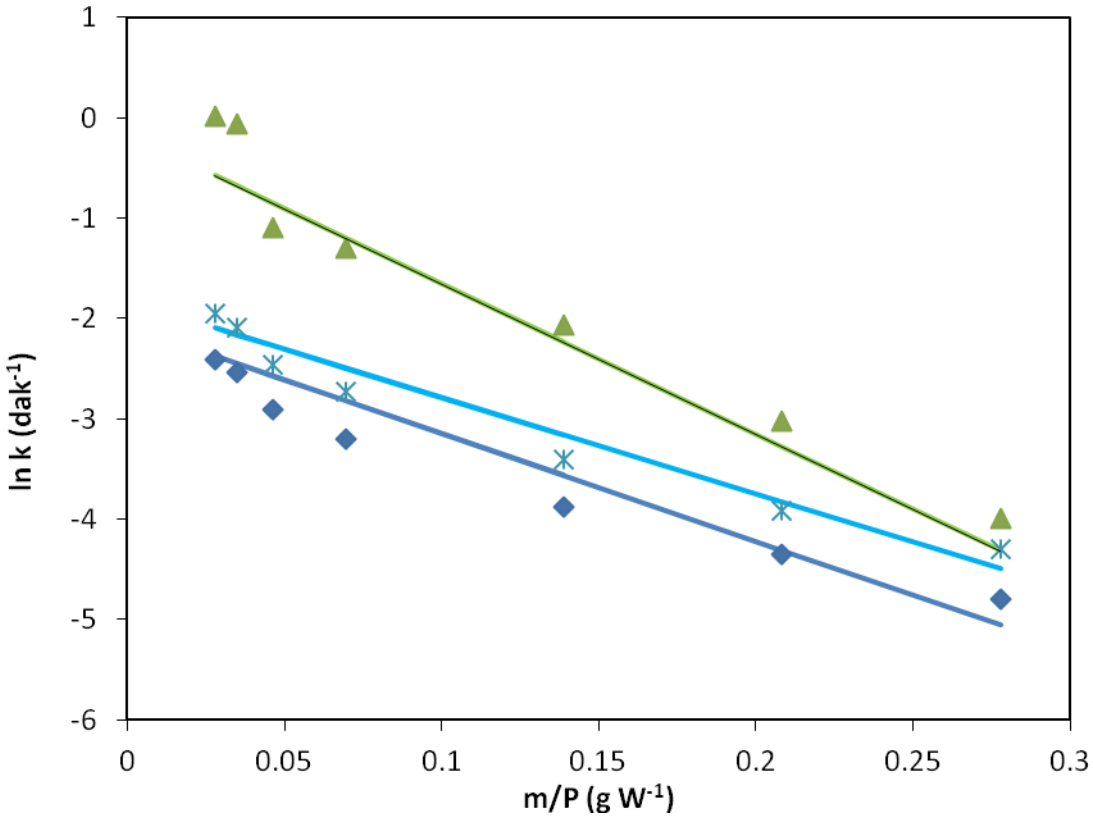
Çizelge 8.33 Farklı miktarlarda kurutulan kereviz yaprağı numunelerine ait C vitamini değerlerinin kurutma süresince değişimine ait sıfırıncı ve birinci dereceden kinetik modele ait katsayılar ve istatiksel veriler (Mikrodalga Çıkış Gücü= 360 W)

	Sıfırıncı Dereceden Kinetik Model				**Birinci Dereceden Kinetik Model**			
Numune Miktarı (g)	**k**	**C_0**	**R^2**	**δ**	**k**	**C_0**	**R^2**	**Δ**
25	0.7524	26.3492	0.9474	2.6583	0.0482	28.3787	0.9818	1.5785
50	0.6085	27.7844	0.9745	1.7594	0.0342	29.2985	0.9956	0.7340
75	0.4241	29.5700	0.9908	0.5711	0.0200	30.3432	0.9934	0.8148
100	0.2587	19.1294	0.9615	1.3287	0.0149	30.9819	0.9865	1.1438

*Katsayılara ait birimler; k; dak^{-1}; C_0; mg C Vitamini/100 g numune

8.7 Semizotu, Fesleğen ve Kereviz Yaprağı Numuneleri İçin C Vitamini Miktarı Değişimine Ait Aktivasyon Enerjilerinin Hesaplanması

Semizotu numunesinin C vitamini miktarı değişimi kinetiğine ait aktivasyon enerjisi Denklem 7.4 kullanılarak hesaplanmıştır. 4 faklı numune miktarı ve 5 farklı mikrodalga çkış gücü için hesaplanan birinci dereceden kinetik denklemlerin kinetik sabitleri olan k (dak^{-1}) kullanılanarak, ln(k) değerlerine karşılık m/P değerlerinin çizilmesi ile elde edilen eksponansiyel eğrinin eğiminden aktivasyon enerji değerleri bulunmuştur (Şekil 8.7). Çizelge 8.34'ten de görüldüğü gibi; Arhenius denklemi temel alınarak türetilen eksponansiyel denklem ile kinetik hız sabitleri için aktivasyon enerjisi değerleri yüksek R^2 ve düşük standart sapma (δ) istatistik verileri ile hesaplanmıştır. Aktivasyon enerjisi değeri semizotu için 10.70 $W.g^{-1}$; fesleğen için 14.98 $W.g^{-1}$; kereviz yaprağı için 9.61 $W.g^{-1}$ olarak bulunmuştur.



Şekil 8.7 Numune Miktarı/Mikrodalga Çıkış Gücü oranının C Vitamini bozunma kinetik sabitlerine etkisi (◆ Semizotu, ▲ fesleğen, x kereviz yaprağı, — Modeller)

Çizelge 8.34 Semizotu, Fesleğen, Kereviz Yaprağı numuneleri için aktivasyon enerjisi değerleri ile birinci dereceden kinetik modele ait katsayılar ve istatiksel veriler

Numune	**E_a (W.g^{-1})**	**R^2**	**δ**
Semizotu	10.70	0.9807	0.1971
Fesleğen	14.98	0.9819	0.2922
Kereviz Yaprağı	9.61	0.9803	0.1971

Bu çalışmanın yararı ise, elde edilen aktivasyon enerjisi değerleri kullanılarak herhangi bir mikrodalga çıkış gücü ve numune ağırlığı için C vitamini bozunma kinetiği sabiti olan k değeri hesaplanabilir.

BÖLÜM 9

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, semizotu, fesleğen ve kereviz yaprağı numunelerinin mikrodalga tekniği ile kurutulmasına, uygulanan mikrodalga çıkış gücünün ve sabit mikrodalga çıkış gücünde kurutulan numune miktarının, numunedeki C vitamini miktarı üzerindeki etkisi incelenmiş ve aktivasyon enerjileri hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir.

A) Semizotu Numunesi İçin; Farklı mikrodalga çıkış güçlerinde ve farklı numune miktarlarında kurutulan semizotu numunesindeki C vitamini miktarı mikrodalga çıkış gücü arttıkça ve kurutulan numune miktarı azaldıkça azalmıştır. Sabit numune miktarında yapılan deneylerde C vitamini miktarı 21.61 mg/100 g numune değerinden 180 W mikrodalga çıkış gücünde % 56 azalma ile 8.76 mg/100 g numune değerine, 900 W mikrodalga çıkış gücünde ise % 84 azalma ile 3.48 mg/100 g numune değerine düşmüştür. Sabit mikrodalga çıkış gücünde yapılan deneylerde ise C vitamini miktarı 21.61 mg/100 g numune değerinden 25 g numune miktarı kullanılarak yapılan deneylerde % 62 azalma ile 8.18 mg/100 g numune değerine, 100 g numune miktarı kullanılarak yapılan deneylerde ise % 38 azalma ile 13.41 mg/100 g numune değerine düşmüştür. Yapılan kinetik modelleme sonucunda C vitamini miktarındaki değişimin birinci derece kinetiğe uyduğu görülmüştür. Semizotu numunesindeki C vitamini miktarındaki numune miktarı ve mikrodalga çıkış gücüne bağlı olan değişimin aktivasyon enerjisi 10.70 $W.g^{-1}$ olarak hesaplanmıştır.

B) Fesleğen Numunesi İçin; Farklı mikrodalga çıkış güçlerinde ve farklı numune miktarlarında kurutulan fesleğen numunesindeki C vitamini miktarı mikrodalga çıkış

gücü arttıkça ve kurutulan numune miktarı azaldıkça azalmıştır. Sabit numune miktarında yapılan deneylerde C vitamini miktarı 21.19 mg/100 g numune değerinden 180 W mikrodalga çıkış gücünde % 74 azalma ile 5.56 mg/100 g numune değerine, 900 W mikrodalga çıkış gücünde ise % 95 azalma ile 1.11 mg/100 g numune değerine düşmüştür. Sabit mikrodalga çıkış gücünde yapılan deneylerde ise C vitamini miktarı 21.19 mg/100 g numune değerinden 25 g numune miktarı kullanılarak yapılan deneylerde % 84 azalma ile 3.33 mg/100 g numune değerine, 100 g numune miktarı kullanılarak yapılan deneylerde ise % 62 azalma ile 8.00 mg/100 g numune değerine düşmüştür. Yapılan kinetik modelleme sonucunda C vitamini miktarındaki değişimin birinci derece kinetiğe uyduğu görülmüştür. Fesleğen numunesindeki C vitamini miktarındaki numune miktarı ve mikrodalga çıkış gcüne bağlı olan değişimin aktivasyon enerjisi 14.98 $W.g^{-1}$ olarak hesaplanmıştır. Polatçı ve Tarhan (2009) tarafından yapılan çalışmada aromatik bitkilerden olan fesleğen, farklı kurutma yöntemleriyle ve farklı kurutma şartlarında kurutulmuştur. Araştırma kapsamında beş farklı kurutma yöntemi (doğrudan değmeli kurutucuda kurutma, etüvde kurutma, gölgede kurutma, güneşte kurutma ve mikrodalga fırında kurutma) kullanılmıştır. Çalışma kapsamında fesleğenin kuruma özellikleri, renk değerleri ve uçucu yağ oranı belirlenmiştir. Mikrodalgada kurutma işlemi diğer yöntemlerine kıyasla çok hızlı tamamlanmıştır. Ancak mikrodalgada kurutmanın kalite özellikleri bakımından fesleğen bitkisi kurutmak için uygun olmadığı belirlenmiştir. Araştırma sonuçlarından, 45-55^{0}C sıcaklıktaki havayla kurutmanın fesleğen bitkisi için uygun olduğu görülmüştür.

C) Kereviz Yaprağı numunesi İçin; Farklı mikrodalga çıkış güçlerinde ve farklı numune miktarlarında kurutulan kereviz yaprağı numunesindeki C vitamini miktarı mikrodalga çıkış gücü arttıkça ve kurutulan numune miktarı azaldıkça azalmıştır. Sabit numune miktarında yapılan deneylerde C vitamini miktarı 30.00 mg/100 g numune değerinden 180 W mikrodalga çıkış gücünde % 56 azalma ile 13.33 mg/100 g numune değerine, 900 W mikrodalga çıkış gücünde ise % 81 azalma ile 5.83 mg/100 g numune değerine düşmüştür. Sabit mikrodalga çıkış gücünde yapılan deneylerde ise C vitamini miktarı 30.00 mg/100 g numune değerinden 25 g numune miktarı kullanılarak yapılan deneylerde % 69 azalma ile 9.17 mg/100 g numune değerine, 100 g numune miktarı kullanılarak yapılan deneylerde ise % 55 azalma ile 13.54 mg/100 g numune değerine

düşmüştür. Yapılan kinetik modelleme sonucunda C vitamini miktarındaki değişimin birinci derece kinetiğe uyduğu görülmüştür. Kereviz yaprağı numunesindeki C vitamini miktarındaki numune miktarı ve mikrodalga çıkış gücüne bağlı olan değişimin aktivasyon enerjisi 9.61 $W.g^{-1}$ olarak hesaplanmıştır.

Farklı mikrodalga çıkış gücü ve numune miktarları kullanılarak yapılan deneyler sonucunda elde edilen C vitamini değerleri Çizelge 9.1'de verilmiştir.

Çizelge 9.1 Farklı mikrodalga çıkış gücü ve numune miktarlarında yaplan deneyler sonrasında elde edilen C vitamini miktarları (mg C Vitamini/100 g numune)

Numune	**Başlangıç Miktarı***	**Mikrodalga Çıkış Gücü (W)/ Numume Miktarı (g)**						
		3.6	**4.8**	**7.2**	**14.4**	**21.6**	**28.8**	**36**
Semizotu	21.61	13.41	11.52	9.73	8.18	6.96	6.09	3.48
Fesleğen	21.19	8.00	4.57	4.00	3.33	2.22	1.11	1.11
Kereviz Yaprağı	30.00	13.54	12.50	12.22	9.17	8.33	7.50	5.83

*(mg C Vitamini/100 g numune)

Çizelge 9.2 Farklı mikrodalga çıkış gücü ve numune miktarlarında yaplan deneyler sonrasında numunelerdeki C vitamini % azalma değerleri

Numune	**Başlangıç Miktarı***	**Mikrodalga Çıkış Gücü (W)/ Numume Miktarı (g)**						
		3.6	**4.8**	**7.2**	**14.4**	**21.6**	**28.8**	**36**
Semizotu	21.61	% 38	% 47	% 55	% 62	68 %	% 72	% 84
Fesleğen	21.19	% 62	% 78	% 81	% 84	90 %	% 95	% 95
Kereviz Yaprağı	30.00	% 55	% 58	% 59	% 69	% 72	% 95	% 95

*(mg C Vitamini/100 g numune)

Bu çalışmada semizotu, fesleğen ve kereviz yaprağının mikrodalga ile kurutulması sonucunda C vitamini değişimi oranları ile; literatürde C vitamini ile ilgili yapılan çalışmalardan elde edilen kurutma sonrası C vitamini değişimi oranlarının karşılaştırılması Çizelge 9.3'te verilmiştir.

Çizelge 9.3 Kurutma işlemi sonrasında C vitamini değişimi oranlarının karşılaştırılması

Literatür Çalışmaları	**Kurutma yöntemi**	**Kurutulan Gıda**	**C Vitamini Değişimi**
Devahastin vd., (2007)	Vakumla Kurutma	Hint Çayı	75^0C, 7 kPa, 145 dak % 20 azalma
Zhang vd., (2007)	Vakum ile kurutma	Lahana	70^0C, 28 kPa, 12 saat % 53.69 azalma
Shitanda ve Wanjala, (2010)	Güneşte Kurutma	Hint keneviri	% 90 azalma
Marques vd., (2007)	Dondurarak Kurutma	Mango	0.13 mbar, -30^0C'de % 38 azalma
Erle ve Schuert, (2000)	Ozmotik dehidratasyon	Soğan ve Çilek	200^0C çözelti sıcaklığında % 40 azalma
Kaya vd., (2010)	Hava ile kurutma	Kivi	350^0C sıcaklık, % 50 azalma; 650^0C sıcaklık, % 88 azalma
Mota vd., (2010)	Hava ile kurutma	Soğan	300^0C'de % 93 azalma; 700^0C'de % 95 azalma
Gültekin vd., (2008)	Hava ile kurutma	Kuşburnu	500^0C'de; % 40 azalma
Lister vd., (2005)	Hava ile kurutma	Domates	250^0C'de % 75 azalma
Alklınt vd., (2003)	Hava ile kurutma	Kuş Burnu	700^0C, 2 saat 40 dak, % 11 azalma

Çizelge 9.3 Devamı

Literatür Çalışmaları	Kurutma yöntemi	Kurutulan Gıda	C Vitamini Değişimi
Prasad ve Sharma, (2005)	Mikrodalga+hava ile kurutma	Sarımsak	10 W, 400^{0}C, 1 m/s hava akış hızında % 11.70 azalma
Dadalı ve Özbek, (2008)	Mikrodalga ile kurutma	Bamya ve ıspanak	180 W mikrodalga çıkış gücünde bamya ve ıspanak için sırasıyla
McMinn vd., (2004)	Mikrodalga ile kurutma	Patates	10.5 W ve 38 W mikrodalga güçlerinde sırasıyla % 25 ve % 55 azalma
Bu Çalışmada	Mikrodalga ile kurutma	Semizotu, fesleğen ve kereviz yaprağı	180 W mikrodalga çıkış gücünde sırasıyla % 59, % 74 ve % 56 azalma

- Bundan sonraki çalışmalarda semizotu, kereviz yaprağı ve fesleğen numunelerinin mikrodalga ile kurutma sonrasında şeker miktarı, protein miktarı, asidik özelliğindeki değişimler ile birlikte mikrodalga ile kurutmanın A ve B vitaminleri ve diğer mineraller üzerindeki etkisi incelenebilir.
- Semizotu, fesleğen ve kereviz yaprağı numuneleri mikrodalga dışındaki kurutma yöntemleri ile kurutulup, kurutma yönteminin C vitamini üzerindeki etisi incelenebilir.
- Mikrodalga yöntemi ile kurutulmuş farklı gıdalar için de benzer çalışma yapılarak C vitamini içerikleri belirlenebilir.

KAYNAKLAR

[1] Aktaş, M., Ceylan, İ. ve Doğan, H., (2004) ”Güneş Enerjili Kurutma Sistemlerinin Fındık Kurutulmasına Uygulanabilirliği”, Teknoloji Dergisi, Cilt 7 (4): 557-564.

[2] Dadalı, G., (2007), Bamya ve Ispanağın Mikrodalga Tekniği Kullanılarak Kurutulması, Doku ve Renk Özelliklerinin İncelenmesi ve Modellenmesi, Yüksek Lisans Tezi, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

[3] Bingöl, G. ve Devres, O., (2010), Gıda İşletmelerinde Kurutma Teknolojilerinin Temel İlkeleri IV, 4, İstanbul.

[4] Cemeroğlu, B., Karadeniz, F. ve Özkan, M., (2003), “Meyve ve Sebze İşleme Teknolojisi” Gıda Teknolojisi Derneği, 28: 541-542.

[5] Abe, T. ve Afzal, T., M., (1997), “Thin-layer infrared radiation drying of rough rice”, Journal of Agricultural Engineering Research, 67: 289-297.

[6] Vega-Mercado, H., Gongora-Nieto, M. ve Barbosa- Canovas, G.V., (2001), “Advances in dehydration of foods”, Journal of Food Engineering, 49: 271-289.

[7] Barbosa-Canovas, G. V. ve Vega-Mercado, H., (1996), “Dehydration of Foods”, First Edition, Chapmann & Hall Publication., New York.

[8] Kanat, A., (2001), T.Ü. KOSGEB'de Gelistirilmekte Olan Mikrodalga Fırında Elma Meyvesinin Kurutulmasına Yönelik Bir Çalısma, Yüksek Lisans Tezi, TÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Edirne.

[9] Cohen, J.S. ve Yang, T.C.S., (1995), “Progress in food dehydration, Trends in Food Science and Technology, 6: 20-25.

[10] Franzen, K.A., (1988), Nonenzymatic Browning of Skim Milk During Dehydration M.S. Thesis, Purdue University, West Lafayette, IN.

[11] Okos, M., Campanella, O. ve Narsimhan, G., (2007), “Food Dehydration, in Handbook of Food Engineering”, Taylor and Francis Group, London, 601-744.

[12] Mishkin, M., Karel, M., ve Saguy, I., (1982), "Applications of optimization in food dehydration" Food Technology, 36: 101-109.

[13] Nonhebel, M.A. ve Moss, A.H., (1971), "Drying of Solids in the Chemical Industry", CRC Press, Ohio, USA.

[14] Ekechukwu, O.V. ve Norton, B., (1999), " Review of solar-energy drying systems II: an overview of solar drying technology", Energy Conversion & Management, 40: 615-655.

[15] Esper, A. ve Mühlbauer, W., (1998), "Solar drying- an effective means of food preservation" , Renewable Energy, 15: 95-100.

[16] Datta, A.K. ve George, J.P., (2002), "Development and validation of heat and mass transfer models for freeze-drying of vegetable slices", JournaTaylor & Francis Group, LLC., Floridal of Food Engineering, 52(1): 89-93.

[17] Ratti, C., (2001), "Hot air and freeze-drying of high-value foods: a review", Journal of Food Engineering, 49: 311-319.

[18] Konak, İ.,Ü., Certel, M. ve Helhel, S., (2009), "Gıda Sanayisinde Mikrodalga Uygulamaları" Electronic Journal of Food Technologies, 3: 20-31.

[19] Thostenson, E.T. ve Chou, T.W., (1999), "Microwave processing: Fundamentals and applications", Composites A, 30: 1055-1071.

[20] Banik, S., Bandyopadhyay, S. ve Ganguly, S., (2003), "Bioeffects of microwave-a brief review", Bioresource Technol, 87:155-159.

[21] Javanmardı, J. ve Khalıghı, A., (2002), "Chemical Characterization of Basil found in Local Accessions and Used in Traditional Medicines in İran" J. Agric. Food Chem., 50: 5878-5883.

[22] Jayasınghe, C. ve Gotoh, N., (2003), "Phenolic Composition and Antioxidant Activity of Sweet Basil", J. Agric Food Chem., 51: 4442-4449

[23] Bozokalfa, K. ve Eşiyok, D., (2004), "Fosfor ve Potasyum Uygulamalarının Sap Kerevizinde Verim ve Kalite Özelliklerine Etkisi" Ege Üniv. Ziraat Fak. Derg., 41(3): 45-53.

[24] Tarım ve Bahçe Portalı, Baharat ve Çaylar, www.bahce.biz/bitki/baharat/htm, 01 Aralık 2011.

[25] 50 Mucize Bitki, Giriş, www.50mucizebitki.com, 01 Aralık 2011.

[26] Pheng Ong, S. ve Lim Law, C., (2011), "Drying Kinetics and Antioxidant Phytochemicals Retention of Salak Fruit under different Drying and Pretreatment Condition" 29(4): 429-441.

[27] Scala, K., Galvez, V. ve Uribe, E., (2011), " Changes of quality characteristics of pepino fruit during convective drying" International Journal of Food Science and Technology, 46: 746-753.

[28] C., Luciano, C. ve Dias, A., (2010), "Convective drying of Onion: Kinetics and nutritional evaluation", Food and Bioproducts Processing, 88: 115-123.

[29] Kaya, A., Aydın O. ve Kolaylı S., (2010), " Effect of Different drying Conditions on the Vitamin C content of Hayward kiwifruits" Food and Bioproducts Processing 88: 165-173.

[30] Polatçı, H. ve Tarhan. S., (2009), " Farklı kurutma Yöntemlerinin Reyhan Bitkisinin Kuruma Süesine ve Kalitesine Etkisi" GOÜ. Ziraat Fakültesi Dergisi, 26(1): 61-70.

[31] Erentürk, S., Gülaboğlu, S. ve Gültekin, S., (2005), "The effects of cutting and drying medium on the vitamin C content of roseship during drying", Journal of Food Engineering, 68: 513-518.

[32] Dadalı, G. ve Ozbek, B., (2007), " Kinethic thermal degradation of vitamin C during microwave drying of okra and spinach", International Journal of Food Sciences and Nutrition, 60(1): 21-31.

[33] Gong, Z., Zhang, M. ve Sun, J., (2007), "Physico-Chemical Properties of Cabbage Powder as Affected by Drying Methods", Drying Technology, 25: 913-916.

[34] Stralsjö, L., Alklınt, C., Olsson, E. ve Sjöholm, I., (2003), "Total Folate Content and Retention in Rosehips after Drying", Agricultural and Food Chemistry, 51: 4291-4295.

[35] Shitanda, D. ve Wanjala, N.,V., (2010), "Effect of Different Methods on the Quality of Jute", Drying Technology, 24 (1): 95-98.

[36] Kongsoontornkijkul, P., Ekwongsupasarn, P., Chiewchan, N. ve Devahastin, S., (2007), "Effects of Drying Methods and Tea Preparation Tempretaure on the amount of Vitamin C in Indian Gooseberry Tea", Drying Technolgy, 24 (11): 1509-1513.

[37] Sharma, G., P. ve Prasad, S., (2006), "Optimization of process parameters for microwave drying of garlic cloves", Journal of Food Engineering, 75: 441-446.

[38] Kerkhofs, N.,S., Lıster, C.,E. ve Savage, G.,P., (2005), "Change in Colour and Antioxidant Content of Tomato Cultivars Following Forced-Air Drying", Plant Foods for Human Nutrition, 60: 117-121.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Zeynep AKPINAR
Doğum Tarihi ve Yeri : 13/05/1985-İstanbul
Yabancı Dili : İngilizce
E-posta : zeynepakpinar1985@hotmail.com

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Alan	Okul/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Y. Lisans	Kimya Mühendisliği	Yıldız Teknik Üniversitesi	2012
Lisans	Kimya Mühendisliği	Marmara Üniversitesi	2007
Lise	Fen Bilimleri	Beşiktaş Lisesi	2002

İŞ TECRÜBESİ

Yıl	Firma/Kurum	Görevi
2012	AHK Gözetme ve Analiz Hizmetleri AŞ.	Operasyon Sorumlusu
2010	Yalçın Gümüç Baskı Çık. San. Ltd. Şti.	Üretim Mühendisi
2007	Liman Kimya Maden Analiz Lab.	Analiz Sorumlusu

Bildiri

1. 4^{th} International Congress on Food and Nutrition, 2011