

85101

**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

Prof. Dr. Mehmet Pala: *M. Pala*  
Prof. Dr. Selahattin Gökmen: *S. Gökmen*  
Prof. Dr. Hüseyin Ayşar: *H. Ayşar*

**MAYDANOZ VE DEREOTUNUN KURUTULMASI  
VE KURUMA KARAKTERİSTİKLERİNİN  
İNCELENMESİ**

**Kimya Müh. Nurcan TEYMUR**

**F.B.E. Kimya Mühendisliği Anabilim Dalında Hazırlanan**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Tez Danışmanı: Prof. Dr. Mehmet PALA**

**T.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU  
DOKÜMANTASYON MERKEZİ**

85101

**İSTANBUL, 1999**

## İÇİNDEKİLER

	Sayfa
İÇİNDEKİLER	ii
ŞEKİL LİSTESİ	v
ÇİZELGE LİSTESİ	vii
TEŞEKKÜR	viii
ÖZET	ix
ABSTRACT	x
1. GİRİŞ	1
2. KURUTMA	2
2.1 Kurutma İşlemi	2
2.2 Kurutucular	6
2.2.1 Sıcak havalı ( konveksiyon ) kurutucular	6
2.2.2 Valsli ( kondüksiyon ) kurutucular	8
2.2.3 Vakum kurutucular	9
2.2.4 Dondurarak kurutucular	9
2.2.5 Mikrodalgalı kurutucular	9
2.3 Gıda Maddelerinin İçerdikleri Suyun Kurumaya Etkisi	10
2.3.1 Su aktivitesi ve denge nemi	10
2.3.2 Sorpsiyon izotermi	11
2.3.3 Gıda işlemede suyun önemi	12
2.4 Kuruma Hızı ve Kuruma Hızı Eğrileri	12
2.5 Kurutma Sırasında Gıdalarda Meydana Gelen Kalite Değişimleri	15
2.5.1 Esmerleşme reaksiyonları	15
2.5.2 Lipid oksidasyonu	16

	Sayfa
2.5.3 Büzülme etkisi	16
2.5.4 Kurutulmuş ürünün tekrar su alma yeteneği	17
2.5.5 Koku ve tat kaybı	17
2.5.6 Besin değeri kaybı	18
2.5.7 Kitle yoğunluğunda değişimler	19
3. MAYDANOZ ve DEREOTU KURUTMA	20
4. MATERYAL ve YÖNTEM	22
4.1 Materyal	22
4.2 Yöntemler	22
4.2.1 Kurutma sistemi	22
4.2.1.1 Sıcak havalı kurutucu	22
4.2.1.2 Mikrodalgalı kurutucu	24
4.2.2 Kurutulan üründe ağırlık kaybı ölçümleri ve elde edilen verilerin kayıt edilmesi	26
4.2.3 Kuru madde tayini	26
4.2.4 Hava hızı ölçümleri	27
4.2.5 Renk ölçümleri	27
4.3 Kurutma Denemeleri	29
4.4 Kurutma Eğrilerinin Matematiksel Olarak Tanımlanması	31
5. SONUÇLAR ve TARTIŞMA	33
5.1 Maydanoz Kurutma İşlemi ve Kuruma Karakteristiklerinin Belirlenmesi	33
5.1.1 Renk analizi	35
5.1.2 Korelasyon katsayılarının hesaplanması	37

	Sayfa
5.1.3 Maydanoz kurutma sonuçlarının değerlendirilmesi	45
5.2 Dereotu Kurutma İşlemi ve Kuruma Karakteristiklerinin Belirlenmesi	47
5.2.1 Renk analizi	49
5.2.2 Korelasyon katsayılarının hesaplanması	51
5.2.3 Dereotu kurutma sonuçlarının değerlendirilmesi	59
KAYNAKLAR	62
ÖZGEÇMİŞ	64



## ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 2.1 Gıda maddeleri için tipik bir sorpsiyon izotermi	11
Şekil 2.2 Sabit sıcaklık ve nemde elde edilen kuru madde diyagramları	13
Şekil 4.1 Maydanoz ve dereotunun kurutulmasında kullanılan sıcak havalı kurutucunun şematik gösterimi	23
Şekil 4.2 Maydanoz ve dereotunun kurutulmasında kullanılan sıcak havalı kurutucunun genel görünüşü	23
Şekil 4.3 Maydanoz ve dereotunun kurutulmasında kullanılan mikrodalgalı kurutucunun şematik gösterimi	25
Şekil 4.4 Maydanoz ve dereotunun kurutulmasında kullanılan mikrodalgalı kurutucunun genel görünüşü	25
Şekil 4.5 Hunter Lab renk sisteminin 3 boyutlu koordinat sisteminde gösterimi	28
Şekil 4.6 Maydanoz ve dereotu kurutma akış diyagramı	30
Şekil 5.1 Maydanozun 70°C' de kuruma eğrisi	38
Şekil 5.2 Maydanozun 60°C' de kuruma eğrisi	38
Şekil 5.3 Maydanozun 55°C' de kuruma eğrisi	39
Şekil 5.4 Maydanozun 50°C' de kuruma eğrisi	39
Şekil 5.5 Maydanozun 45°C' de kuruma eğrisi	40
Şekil 5.6 Maydanozun 40°C' de kuruma eğrisi	40
Şekil 5.7 Değişik sıcaklıklarda kurutulmuş maydanozların kuruma eğrileri	41
Şekil 5.8 70°C' de kurutulmuş maydanozun nem içeriğinin zamanla değişimi	42
Şekil 5.9 60°C' de kurutulmuş maydanozun nem içeriğinin zamanla değişimi	42
Şekil 5.10 55°C' de kurutulmuş maydanozun nem içeriğinin zamanla değişimi	43

	Sayfa
Şekil 5.11 50°C' de kurutulmuş maydanozun nem içeriğinin zamanla değişimi	43
Şekil 5.12 45°C' de kurutulmuş maydanozun nem içeriğinin zamanla değişimi	44
Şekil 5.13 40°C' de kurutulmuş maydanozun nem içeriğinin zamanla değişimi	44
Şekil 5.14 Dereotunun 70°C' de kuruma eğrisi	52
Şekil 5.15 Dereotunun 60°C' de kuruma eğrisi	52
Şekil 5.16 Dereotunun 55°C' de kuruma eğrisi	53
Şekil 5.17 Dereotunun 50°C' de kuruma eğrisi	53
Şekil 5.18 Dereotunun 45°C' de kuruma eğrisi	54
Şekil 5.19 Dereotunun 40°C' de kuruma eğrisi	54
Şekil 5.20 Değişik sıcaklıklarda kurutulmuş dereotlarının kuruma eğrileri	55
Şekil 5.21 70°C' de kurutulmuş dereotunun nem içeriğinin zamanla değişimi	56
Şekil 5.22 60°C' de kurutulmuş dereotunun nem içeriğinin zamanla değişimi	56
Şekil 5.23 55°C' de kurutulmuş dereotunun nem içeriğinin zamanla değişimi	57
Şekil 5.24 50°C' de kurutulmuş dereotunun nem içeriğinin zamanla değişimi	57
Şekil 5.25 45°C' de kurutulmuş dereotunun nem içeriğinin zamanla değişimi	58
Şekil 5.26 40°C' de kurutulmuş dereotunun nem içeriğinin zamanla değişimi	58

## ÇİZELGE LİSTESİ

	Sayfa
Çizelge 5.1 Kurutma kabiniinde gerçekleştirilen maydanoz kurutma denemelerine ait kuruma süreleri, taze ve kuru üründeki nem miktarları	33
Çizelge 5.2 Mikrodalga tünelineinde gerçekleştirilen maydanoz kurutma denemelerine ait kuruma süreleri, taze ve kuru üründeki nem miktarları	34
Çizelge 5.3 Kurutma kabiniinde yapılan kurutma denemeleri ile mikrodalga tünelineinde yapılan denemelerin karşılaştırılması	34
Çizelge 5.4 Kabin kurutucuda kurutulmuş maydanozların renk analiz sonuçları	35
Çizelge 5.5 Mikrodalgalı kurutucuda kurutulmuş maydanozların renk analiz sonuçları	36
Çizelge 5.6 Matematiksel modeller kullanılarak hesaplanmış korelasyon katsayıları	37
Çizelge 5.7 Kurutma kabiniinde gerçekleştirilen dereotu kurutma denemelerine ait kuruma süreleri, taze ve kuru üründeki nem miktarları	47
Çizelge 5.8 Mikrodalga tünelineinde gerçekleştirilen dereotu kurutma denemelerine ait kuruma süreleri, taze ve kuru üründeki nem miktarları	48
Çizelge 5.9 Kurutma kabiniinde yapılan kurutma denemeleri ile mikrodalga tünelineinde yapılan denemelerin karşılaştırılması	48
Çizelge 5.10 Kabin kurutucuda kurutulmuş dereotlarının renk analiz sonuçları	49
Çizelge 5.11 Mikrodalgalı kurutucuda kurutulmuş dereotlarının renk analiz sonuçları	50
Çizelge 5.12 Matematiksel modeller kullanılarak hesaplanmış korelasyon katsayıları	51
Çizelge 5.13 Kurutma kabiniinde gerçekleştirilen maydanoz ve dereotu kurutma denemelerine ait kuruma sürelerinin karşılaştırılması	62

## **TEŞEKKÜR**

Yüksek lisans tezimi hazırlarken değerli bilgi ve tecrübeleri ile beni yönlendiren tez danışmanım Sayın Prof. Dr. Mehmet PALA' ya, anlayış ve desteğinden dolayı Kimya Mühendisliğı Bölüm Başkanımız Sayın Prof. Dr. Salih DİNÇER' e, tüm çalışmam boyunca benden yardım ve desteğini esirgemeyen Arş. Gör. Dr. İbrahim DOYMAZ' a, yardımlarından dolayı Arş. Gör. Serkan BARIŐ' a benden ilgi ve yardımlarını esirgemeyen tüm bölümümüz öğretim üyeleri, araştırma görevlileri ve çalışanlarına, İ.T.Ü. KOSGEB Teknoloji Geliştirme Merkezi'ndeki denemelerim sırasında bana yol gösteren Kimya Yüksek Mühendisi Sayın Harun Reşit KURANER' e sonsuz teşekkür ederim.

Yüksek lisans tezimi hazırlarken bana karşı gösterdikleri sabır ve destekten dolayı aileme ve eşime teşekkürü bir borç bilirim.



## ÖZET

Bir tarım ülkesi olan Türkiye, önemli bir sebze ve meyve üretim potansiyeline sahiptir. Bol miktarda üretilen bu meyve ve sebzeleri saklama yöntemlerinden birisi de, güneşte ve yapay kurutucularda kurutmaktır. Maydanoz ve dereotu da, yemeklere koku ve tat vermek amacıyla, halk tarafından güneşte kurutularak saklanan sebzelerdendir. Ancak doğada kuruma, güneş ısıyla gerçekleşmekte olduğundan, kurumanın her yerde ve her zaman bu yolla sağlanması olanaksızdır. Ayrıca, kurutma süresinin uzun olması ve genel olarak kurutulmuş ürün kalitesinin düşük olması nedeniyle her ürünün güneşte kurutulması doğru da değildir. Bu yüzden birçok ürünün diğer yöntemlerle kurutulma yolları geliştirilmiştir. Bu çalışmada, yapay kurutucularla yapılan kurutma işleminin maydanoz ve dereotu üzerindeki etkileri incelenmiştir.

Maydanoz ve dereotlarının kurutulması APV & PASILAC firması yapımı kurutma kabini ve MAKİMSAN firması yapımı mikrodalgalı kurutucuda gerçekleştirilmiştir. Kuru madde analizleri sonucunda maydanozların %16.7-21.7, dereotlarının ise %12.3-18.5 arasında kuru madde içerdiği belirlenmiştir. Maydanozlar kabin kurutucuda yaklaşık %6.4, mikrodalgalı kurutucuda ise yaklaşık %6 nem içeriğine kadar, dereotları ise kabin kurutucuda yaklaşık %6.4, mikrodalgalı kurutucuda ise yaklaşık %4.7 nem içeriğine kadar kurutulmuşlardır. Kurutma deneyleri her iki sistemde de 40, 45, 50, 55, 60 ve 70°C sıcaklıklarda gerçekleştirilmiştir.

Gerek kurutma kabini, gerekse mikrodalga tüneline gerçekleştirilen maydanoz ve dereotu kurutma denemelerinin sonucunda; sıcaklık artışının kurutma işlemini hızlandırdığı görülmüş ve mikrodalga tüneline kurutma işleminin çok daha kısa sürede gerçekleştiği anlaşılmıştır. Kurutulmuş ürünlerde ürün kalitesini belirleyen önemli kriterlerden biri de renktir. Gerek kurutma kabini, gerekse mikrodalga tüneline kurutulmuş olan maydanoz ve dereotlarında yapılan renk ölçüm sonuçları birbiriyle uyumludur. Ancak, 70°C’ de kurutulmuş olan dereotlarında renkte önemli değişimler meydana gelmektedir. Bu durum 60°C’ den sonra enzimatik olmayan esmerleşme reaksiyonlarının hızında artmanın meydana geldiğini göstermektedir. Kurutma işleminin istenen sonuçları vermesi için dereotunun 70°C’ den daha düşük sıcaklıklarda kurutulması gerektiği anlaşılmaktadır. Kurutma kabini, her iki ürün ile gerçekleştirilmiş denemeler için Page ve Exponential denklemler uygulanarak korelasyon katsayıları hesaplanmıştır. Sonuçta, Page denklemi uygulanarak bulunan  $r^2$  değerlerinin Exponential denklem uygulanarak bulunanlardan daha yüksek olduğu saptanmıştır.

## **ABSTRACT**

**Turkey has a high potential of fruits and vegetables production. The most important store method of these fruits and vegetables is drying, in open atmosphere by exposing them to the sun shine or in mechanical dryers. Parsley and dill are also dehydrated by sun drying to put in meals for good flavor and aroma. But, due to the sun drying is carried out with the sun shine, it isn't suitable for all fruits and vegetables and it can't be possible to be carried out in everywhere. So that, drying ways by the other methods of many products are developed. In this study, the effects of drying operation carried out by the other dryer on the parsley and dill, were examined.**

**For parsley and dill, drying experiments were carried out in a hot-air dryer made by APV & PASILAC and in a microwave dryer made by MAKİMSAN. At the end of the dry substances content analysis, it was observed that dills have 12.3-18.5% and parsley have 16.7-21.7% dry substances content. Parsley were dehydrated till 6.4% water content in hot dryer and they were dehydrated till 6% water content in microwave dryer. Dills were also dehydrated in hot-air dryer till 6.4% water content and in microwave drier they were dehydrated till 4.7% water content. Drying experiments were carried out with air at 40, 45, 50, 55, 60 and 70°C temperatures in both systems.**

**Drying experiments carried out in hot-air drier and in microwave drier showed that drying rate was accelerated by the temperature increasing and it was understood drying in microwave drier was carried out at very short time.**

**The color is one of the important factor in determining of dehydrated product quality. The results of the color analysis of the parsley and dill dehydrated in hot-air and in microwave dryers were consistent with each other. But the result of the experiments of dill dehydrated at 70°C temperature were not consistent with the results above. This shows that dills are not durable to 70°C and for better drying results, must be dehydrated at a temperature lower then 70°C.**

**For the experiments of parsley and dill carried out in a hot-air drier, Page and Exponential equations were obtained and by the application of these equations correlation coefficients were calculated. As a result, it was observed that  $r^2$  values calculated from Page equation were higher then the  $r^2$  values calculated from Exponential equations.**

## 1. GİRİŞ

Bir tarım ülkesi olan Türkiye, gerek ekolojik şartları ve gerekse coğrafi konumu nedeniyle önemli bir sebze ve meyve üretim potansiyeline sahiptir. Bol miktarda üretilen bu meyve ve sebzeleri saklama yöntemlerinden birisi de, güneşte ve yapay kurutucularda kurutmaktır. Ülkemizde, doğal kurutma dediğimiz yöntemle, yani güneşte kurutulan sebze ve meyvelerimiz oldukça çok çeşitlidir. Ancak, bunların, birkaçı dışında, ticari bir değeri yoktur ve bu yüzden aileler bunları, yalnızca kendi tüketimleri için kuruturlar. Maydanoz ve dereotu, yemeklere koku ve tat vermek amacıyla, ailelerin kendi tüketimleri için kuruttukları ve ticari değeri olmayan bitkilerdir.

Gıdaların kurutularak dayandırılmaları yöntemi, insanın doğadan öğrendiği ve bu yüzden ilk çağlardan beri uygulanmakta olan en eski muhafaza yöntemidir. Bu yöntem doğada çoğu zaman kendi kendine gerçekleşmektedir. Ancak doğada kuruma, güneş ısıyla gerçekleşmekte olduğundan, kurumanın her yerde ve her zaman bu yolla sağlanması olanaksızdır. Ayrıca, her ürünün güneşte kurutulması kalitenin korunması açısından doğru da değildir. Bu yüzden birçok ürünün diğer yöntemlerle kurutulma yolları geliştirilmiştir.

Birçok gıda muhafaza yöntemi vardır, ancak kurutma bunlar arasında en çok tercih edilenidir. Öncelikle, gıdanın içerdiği su, onun bozulmasına olanak vermeyecek kadar azaltıldığı için kesin bir muhafaza olanağı doğmaktadır. Kurutulmuş gıdalar, aynı zamanda besin öğeleri açısından da yoğunlaştırılmış bir nitelik kazanırlar. Ayrıca kurutma en ucuz dayandırma yöntemidir. Çünkü kurutulmuş gıda üretiminde, daha az işçilik ve daha az ekipman gerektiği gibi bunların depolanması ve taşınmasında da daha az masraf yapılır.

Bu çalışmada, yapay kurutucularla yapılan kurutma işleminin maydanoz ve dereotu üzerindeki etkilerinin incelenmesi amaçlanmıştır. Maydanoz ve dereotlarının, sıcak havalı kurutucuda ve mikrodalgalı kurutucuda kurutma işlemine tabi tutulması sonucunda kuruma hızı ve zamanı, son ürünün rengi ve kurutma işleminin ürün üzerindeki etkilerinin incelenmesi ve ayrıca deneysel verilerden hareket ederek modelleme çalışmaları yapılmıştır.

## 2. KURUTMA

### 2.1 Kurutma İşlemi

Gıdaların uzun süre bozulmadan korunmaları için değişik saklama yöntemleri uygulanmaktadır. Bu saklama yöntemleri fiziksel, kimyasal ve biyolojik olmak üzere üç grupta toplanır. Kurutma, dondurma, konsantre etme ve sterilizasyon gibi işleme teknikleri fiziksel yöntemleri oluşturmakta ve sanayide en çok uygulama alanı bulan yöntemlerin başında gelmektedir. Kimyasal saklama yöntemleri arasında; gıdalara kimyasal koruyucu maddelerin katılması, tuzlama ve şekerleme sayılabilir. Enzimatik ve mikrobiyolojik asitlendirme, biyolojik saklama yöntemi olarak tanımlanmaktadır.

Genel olarak kurutma; gıda maddelerinin içerdikleri suyun büyük bir bölümünün kontrollü koşullarda ısı uygulayarak buharlaştırma yada süblimasyon yolu ile uzaklaştırılması işlemi olarak tanımlanır. Kurutma sonucu gıdalarda nem düzeyi düşürülmekte, böylelikle kimyasal ve enzimatik reaksiyonlar ile mikroorganizmaların gelişmesi engellenerek gıdalar uzun süre bozulmadan korunabilmektedir (Pala, 1987; Galiboğlu, 1990; Anon, 1992).

Gıda maddelerine kurutma işleminin uygulanmasının pek çok amacı vardır. Bunlar:

- Ürünün nemini, mikrobiyal gelişme veya diğer reaksiyonları sınırlamaya yeterli seviyeye düşürerek, uzun süreli depolamalarda, ürünün bozulmasını önlemek.
- Nem miktarının düşürülmesiyle, aroma ve besin değeri gibi kalite özelliklerinin korunmasını sağlamak.
- Ürün hacmini azaltarak, gıda maddesinin önemli bileşenlerinin taşınmasında ve depolanmasında verimliliği arttırmak.
- Kullanımı kolay ürün geliştirmek veya üretmek (Evranoz ve Çataltaş, 1989).

Gıdaları kurutma yöntemi ile değerlendirmenin diğer yöntemlere göre bazı üstünlükleri vardır. Bunlar aşağıdaki gibi özetlenebilir:

- Kuru maddede artış
- Kullanıma uygun (hazır) olma
- Dayanma süresinde artış
- Kitle yoğunluğunda olumlu değişiklik

Gıdaları kurutma yöntemi ile değerlendirmenin yukarıda sayılan üstünlüklerine karşın renginde, lezzetinde, yapısında, beslenme değeri ve depolama stabilitesinde kendisini gösteren bazı olumsuz yönleri de vardır. Kurutma koşulları ve sistemlerinin yanlış seçimi ve uygulanması sonucu oluşan bu olumsuz yönler şu şekilde özetlenebilir:

- Kabuk bağlama
- Renk esmerleşmesi
- Kitle yoğunluğunda olumsuz değişiklik
- Beslenme değerinde kayıplar
- Mikroflorada olumsuz değişiklik

Kurutma işlemi iki ana yöntemle gerçekleştirilir. Bunlar:

**1.Doğal Kurutma:** Güneş ısısından yararlanılarak ürünün yapısındaki su oranının azaltılması için uygulanan basit yöntem “ doğal kurutma ” denir. Ancak her ürünün güneşte kurutulma olanağı yoktur ve bazı ürünlerde bu yöntemin uygulanması doğru da değildir. Güneşte kurutmada hijyenik koşulların kontrolü zordur. Kurutulan ürün açık alanda, çeşitli böcek, kuş ve benzer hayvanlara karşı korumasızdır ve tozlanır. Kurutma için geniş alanlara gereksinim vardır. Kurutma işlemi çok yavaş gerçekleştiğinden kuruma süresi uzundur. Genellikle % 15 su oranından daha aşağıya inilemez. Kısaca değinilen bu olumsuz yönleriyle doğal kurutma birçok gıda için uygun ve yeterli bir yöntem değildir.

**2.Yapay Kurutma:** Kurutma işleminin kapalı alanlarda ve kontrol edilebilir koşullarda yapılması yöntemine “ yapay kurutma ” denir. Bu işlem için İngilizce’de “dehydration” kavramı kullanılmaktadır.

Bu tanımda, yapıdaki suyun tamamının ya da tamamına yakın bir bölümünün ürünün özelliklerinde önemli değişiklikler yapmaksızın, kontrol edilebilir koşullar altında üründen uzaklaştırılması kavramı yatmaktadır. Kurutulmuş ürünlerdeki başlıca kriter, bunların yapılarına suyun tekrar verilmesi (rehidrasyon) halinde eski durumlarına çok yakın bir hal almaları ya da eski durum ile rehidre durum arasındaki farkın, fark edilemeyecek kadar önemsiz olmasıdır.

Kurutma işlemi bu şekilde iki ana gruba ayrılmakla birlikte, çeşitli açılardan ayrıca gruplandırılması da olanaklıdır. Bu gruplamalardan birisi, kurutulacak maddedeki suyun uzaklaştırılması amacıyla gerekli ısının buraya taşınma yöntemine dayanmaktadır. Buna göre ise, Konveksiyon Kurutma , Kontakt Kurutma , Radyasyon Kurutma , Dondurarak Kurutma ve Mikrodalga ile Kurutma olmak üzere başlıca beş farklı kurutma yöntemi bulunmaktadır.

**1. Konveksiyon Kurutma:** Bu yöntemde suyun buharlaşması için gerekli ısı, bir gaz tarafından yani çoğunlukla olduğu gibi hava tarafından taşınır. Sıcak gaz (hava) kurutulacak maddenin içinden, üzerinden ve arasından geçirilir. Bu yöntem genel olarak Sıcak hava kurutma tekniği olarak bilinir.

**2. Kontakt Kurutma:** Bu yöntemde ise buharlaşma için gerekli ısı kondüksiyonla taşınır. Yani, kurutulacak madde hareketsiz kalırken veya hareket ederken temas ettiği sıcak yüzeyden maddeye ısı taşınır.

**3. Radyasyon Kurutma:** Bu yöntemde kurutulacak maddeye ısı, herhangi maddi bir taşıyıcı gerekmeksizin, bir radyasyon alanından ulaştırılır. Bu yöntem, gıdaların kurutulmasında yaygın olarak kullanılmaz.

**4. Dondurarak Kurutma:** Bu yöntem, yukarıda açıklanmış bulunan kurutma yöntemlerinden tamamen farklı ilkelere dayanmaktadır. Gıdaların muhafazasında en modern işleme yöntemlerinden biridir. Bu yöntemle gıdaların doğal yapısı bozulmamakta ve besin içeriği korunmaktadır. Kurutma yöntemleri içerisinde en iyi olanıdır.

Bu yöntemle kurutulacak ürün önce dondurulmakta ve böylece gıdadaki su bulunduğu yerde buz kristallerine dönüştürülmekte ve daha sonra buzun, üçlü noktanın altında, uygun koşullarda süblimasyonu sağlanmaktadır.

**5. Mikrodalga ile Kurutma:** Bu yöntemde, gıda maddesine gönderilen mikrodalgalar önce gıda içindeki su molekülleri tarafından emilir. Gıda maddesine mikrodalgalar gönderilmeden önce su moleküllerindeki pozitif ve negatif yükler gıda içerisinde rastgele dağılmışlardır. Fakat, mikrodalgaları emen moleküller, bu mikrodalgaların elektrik alanına göre dizilirler. Elektrik alan saniyede milyonlarca defa salınır ve gıda içindeki molekülleri uyararak konumlarını değiştirir. Bu hızlı molekül salınımları ısı oluşturarak gıda maddesinin ısınmasını sağlarlar.

Bu yöntemin diğer yöntemlerden en büyük farkı ve avantajı, ısıyı doğrudan gıda maddesinin içinde oluşturmasıdır. Yani ısı transferi sorunu ortadan kalkar. Geleneksel kurutma sistemlerinde önce maddenin yüzeyi kurur, zamanla ısı iç kısımlara yayılır. Fakat mikrodalga ile kurutmada ısı doğrudan gıdanın içinde oluşturulur. Gıda içindeki su molekülleri, diğer yöntemlerle ısıtma işlemlerinden çok daha kısa sürede aynı derecede ısınır ve gıda maddesinden uzaklaşır (Sokhansanj ve Jayas, 1987; Okos ve ark., 1992; Anon, 1992).

Kurutulacak materyale hangi kurutma yönteminin ve hatta bu yöntem için de hangi tip cihazın kullanılacağı, materyalin nitelikleri ve kurutulmuş ürünün kullanım alanı vb. gibi çeşitli faktörlere bağlıdır. Bu hususta maddenin özellikle, sıvı, katı veya yarı katı halde oluşu gibi fiziksel niteliği çok önemlidir. Diğer taraftan yüksek sıcaklık dereceleri gıda maddelerinin niteliklerinde önemli değişikliklere neden olduğundan, herhangi bir gıdanın kurutulmasında uygulanan yöntem dikkatle seçilmelidir (Cemeroğlu ve Acar, 1986; Pala, 1987; Saldamlı ve Saldamlı, 1990).

## 2.2 Kurutucular

Sıvı, yarı sıvı ve katı gıdaların kurutulması amacıyla yapılmış olan kurutucular birkaç temel yöntemeye dayanan makine ve ekipmanlardır. Son üründen istenen nitelikler, en az ürün zararı, üstün tekrar su alma özelliği, ekonomik koşulların çeşitli ve farklı olmaları gibi faktörler, kurutucuların tasarım ve çalışma ilkeleri yönünden çeşitli tiplere ayrılmasına yol açmıştır.

Temel yöntemler göz önüne alınarak, kurutucular, şu şekilde sınıflandırılabilir (Saldamlı ve Saldamlı, 1990):

### 1. Sıcak havalı (konveksiyon) kurutucular

- Fırın kurutucular
- Kabin (dolap) kurutucular
- Tünel kurutucular
- Bantlı kurutucular
- Sandık kurutucular
- Püskürtmeli kurutucular

### 2. Valsli (kondüksiyon) kurutucular

### 3. Vakum kurutucular

### 4. Dondurarak kurutucular

### 5. Mikrodalgalı kurutucular

#### 2.2.1 Sıcak havalı (konveksiyon) kurutucular

Sıcak havalı bütün kurutucular, içerisinde ısıtılmış havanın sirküle edebileceği kapalı sistemlerdir. Sistemde ayrıca ham ve son ürünün iletimini sağlayan yardımcı makinalar, çeşitli ekipmanlar ve kontrol aletleri de yer alır. Havanın hareketi genellikle çeşitli tipte fan ve vantilatörlerle sağlanır, ısıtılması ise doğrudan ya da dolaylı ısıtma yöntemi ile yapılır.

**Fırın kurutucular:** Hava taşınımlı kurutucuların en basit tipidir. İki katlı kurutucuda, altta bir fırın ya da brülör ile ısıtılan hava, tabanı ızgaralı olan ikinci kata yükselir. Izgaralar üzerine serpilmiş ürün ara sıra karıştırılır.

**Kabin (dolap) kurutucular:** Fırın kurutucuların biraz geliştirilmiş bir tipi olan kabin kurutucular çok çeşitlidir, ancak ilke aynıdır. Kurutulacak katı, yarı sıvı ya da sıvı haldeki ürün, durumuna göre ızgaralı, delikli kerevetlere ya da düz tavalara ince bir tabaka oluşturacak şekilde serilir. Kerevetler üst üste getirilerek bir vagon halinde kabine verilir.

Belli bir kanaldan ya da kabin içindeki ayarlı panjurlu yan duvarlardan verilen sıcak hava, sabit kerevetler ya da sıvı ürünler için tavalar arasından dolaşır ve yine kabinin yan duvarlarından ya da belli bir kanaldan dışarı atılır.

**Tünel kurutucular:** Kabin kurutucunun geliştirilmiş bir tipi olan tünel kurutucuda kerevet istifleri bir ray boyunca arabalar halinde bir tünel içinde hareket ederler. Sıcak havanın yönü ile kerevetlerin yönü farklı olabilir. Ürün ve hava aynı yönde hareket ederlerse bunlara paralel akış tüneli denir. Ürün ve havanın birbirlerine karşıt yönde hareket ettiği tünellere ise ters akış tüneli denir. Bir başka tünel kurutucu tipi ise çapraz akış tünelidir. Bu tip, ters akış tüneli ile kabin kurutucunun bir kombinasyonudur. Hava, tünel boyunca yer yer ısıtılarak çapraz olarak tünele verilmektedir.

**Bantlı kurutucular:** Bu kurutucularda, tünel kurutuculardaki raylı-araba sisteminin yerini hareketli bir bant almıştır. Paslanmaz çelik örgü zincirden yapılmış olan bandın taşıdığı ürüne alttan ve üstten sıcak hava verilmektedir.

Sıcak havalı bantlı kurutucunun özel bir tipi tekne bantlı kurutucudur. Burada hava, bandın aralıklarından geçecek şekilde alttan üste doğru verilmektedir. Bu tip kurutucuların geliştirilmiş bir başka tipi pnömatik kaldırmalı kurutucudur. İlke, ürün yüzeyinin sürekli değiştirilerek sıcak hava ile daha fazla temas etmesini sağlamaktır. Bu tür kurutucuların geliştirilmiş bir başka tipi, akışkan yatak kurutucudur. Burada kurutulacak ürün, alttan verilen yüksek hızdaki sıcak ve kuru hava ile adeta askıda kalan hafif bir kaynama görünümünde sürekli olarak karıştırılan bir yatak durumundadır.

Sıvı ve yarı sıvı halindeki gıdaların köpük haline getirildikten sonra bantlı bir kurutucuda kurutulmaları bu tip kurutucuların bir başka uygulamasıdır. Bu yöntemde gözenekli bandın altından verilen yumuşak hava, ürün kurutma hücreğine girmeden önce, bant üzerindeki köpükte binlerce küçük krater oluşturur ki, bu olayda kurutma hızını arttırmaktadır. Köpük kurutma yöntemi, ürünün renk ve aroma niteliklerini üstün, ve maliyetini düşük tuttuğundan oldukça önemli bir yöntemdir.

**Sandık kurutucular:** Özellikle sebzelerde, kurutmanın son aşamasında tünel ve bantlı kurutucularda kurutulmuş ürünün son nem oranına düşürülmesi amacıyla kullanılırlar. Ana kurutucudan genellikle % 10-15 nemli çıkan ürün sandık kurutucularda % 3-6 nem düzeyine kadar kurutulur. Ürün sandıklara doldurulur. Doldurma ve boşaltma, ürün giriş ve çıkış boğazlarına birleşik bantlı götürücülerle yapılır. Sandığın tabanı elek şeklinde deliklidir. Alttan verilen sıcak hava yukarıya doğru, sandıklardaki kurutulmuş üründen geçer ve sandık dışına atılır.

**Püskürtmeli kurutucular:** Püskürterek kurutma yöntemi sıvı, yarı sıvı, püre ve ince pulp halindeki yarı işlenmiş ya da işlenmiş gıdaların kurutulmasında uygulanan en gelişmiş yöntemlerden birisidir. Püskürterek kurutmada ilke, ürünün bir kurutucu hücreesindeki sıcak hava içerisine atomize edilerek kurutulmasıdır (Hall, 1965; Saldamlı ve Saldamlı, 1990; Anon, 1992; Okos ve ark., 1992) .

### 2.2.2 Valsli (kondüksiyon) kurutucular

Bu tip kurutucularda genellikle yarı sıvı, püre ve lapa gibi daha önceden koyulaştırılmış ürünler işlenir. Ürün, buharla ya da sıcak su ile ısıtılan ve ekseni etrafında belirli bir hızla dönmekte olan, dökme demirden yapılmış bir silindirin yüzeyine ince bir film oluşturacak şekilde yayılır. Sıcak yüzeyle temas eden ürün, ürünün cinsine ve film kalınlığına bağlı olarak birkaç saniye içinde yada bir dakikaya uzayabilen sürelerde kurur. Üründen ayrılan buhar, sistemin üzerindeki bir fan yardımıyla uzaklaştırılır. Kurutulmuş film halindeki ürün valsın yüzeyinden kazıyıcı bir bıçak yardımıyla sıyrılır. Çok ince ve kırılmış yufka görünümündeki ürün bir ekipman yardımıyla parçalanarak ambalajlanır (Evranoz ve Cataltaş, 1989; Saldamlı ve Saldamlı, 1990; Okos ve ark., 1992; Anon, 1992).

### 2.2.3 Vakum kurutucular

Isıya duyarlı gıdaların kurutulmasında kullanılan vakum kurutucularda, kurutma vakum altında düşük derecelerde yapılır. Sıcaklık 100°C' nin altında olduğundan aroma değişikliği ve diğer ısı zararları söz konusu değildir.

Vakum kurutucuların en yaygın olanları raflı ve bantlı vakum kurutuculardır. Raflı vakum kurutucularda, hücre içindeki raflar, sirküle eden buhar, sıcak su yada elektriksel yöntemle ısıtılır. Raflar, kendilerine temas eden ürüne ısıyı, ısıl iletim yada ısıl ışımaya şeklinde aktarırlar. Bantlı vakum kurutucularda vakum hücresi tank şeklindedir. Kurutulacak ürün, sonsuz dönüş hareketli paslanmaz çelik bandın üzerinde ilerlerken kurur ve bandın sonunda sıyrılarak alınır (Hall, 1965; Cemeroğlu ve Acar, 1986; Saldamlı ve Saldamlı, 1990; Okos ve ark., 1992).

### 2.2.4 Dondurarak kurutucular

Dondurarak kurutma cihazı, buharlaştırma hücresi (veya vakum hücresi) ve kondenser olmak üzere başlıca iki ana bölümden oluşur. Her iki ünite mekanik bir pompa veya buhar enjektörü ile sağlanan vakum altında tutulur. Kurutma sırasında üründen süblimasyonla alınan ısı, bir ısıtma düzeniyle devamlı olarak ürüne verilir. Dondurarak kurutmada kurutulan materyale ısı, kondüksiyonla veya radyasyonla ulaştırılır.

Dondurarak kurutucuların kesikli ve sürekli çalışan tipleri vardır. Sürekli çalışan kurutucularda en önemli sorun kondensere ulaşan buharın devamlı olarak uzaklaştırılmasıdır (Cemeroğlu ve Acar, 1986; Saldamlı ve Saldamlı, 1990; Okos ve ark., 1992).

### 2.2.5 Mikrodalgalı kurutucular

Mikrodalgalı kurutucular elektromanyetik dalgalarla oluşturulan radyant enerjiden yararlanılarak gıdanın yapısındaki suyun kurutulmasında kullanılan sistemlerdir.

Mikrodalgalı ısıtma işlemlerinde genellikle mikrodalgalı fırınlar kullanılır. Basit bir mikrodalga fırını, bir mikrodalga jeneratörü ve gerekirse çalıştırılan ve çalıştığı anda mikrodalgaları tüm kabine dağıtan bir fan olan bir kabindir. Ürün, mikrodalgaların ürüne kolayca sızabilmesini sağlayan ızgaralı sehpa veya raflara yerleştirilir. Ancak bazen, fan yerine ızgaralı sehpanın dönmesini sağlayan bir mekanizma da yapılabilmektedir.

Fırın içine gönderilen mikrodalga enerjisi gıdaya geçmektedir. Işınlardan gıda içine geçen kısmı absorblandığı için ışın zayıflar, ışınların fırın içindeki metal duvarlara çarpıp yanması işlemi, ısıtma prosesi içindeki enerji tükenene kadar sürer (Saldamlı ve Saldamlı, 1990; Okos ve ark., 1992; Anon, 1992).

### 2.3 Gıda Maddelerinin İçerdikleri Suyun Kurumaya Etkisi

#### 2.3.1 Su aktivitesi ve denge nemi

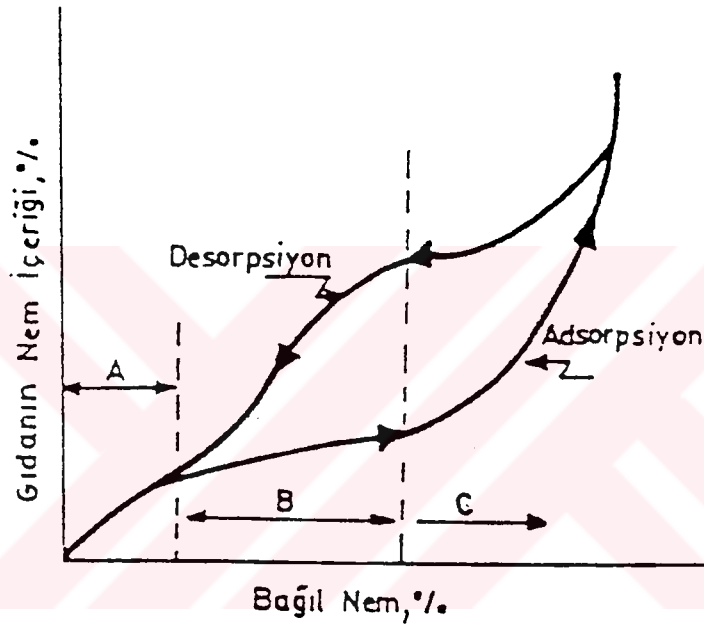
Su Aktivitesi ( $a_w$ ) gıda maddeleri tarafından tutulan suyun özelliğini gösteren bir terimdir ve gıda maddesinin içerdiği suyun buhar basıncının ( $p$ ), aynı sıcaklıkta saf suyun buhar basıncına ( $p_0$ ) oranı olarak tanımlanır. Nem içeriği belli bir gıda maddesi, sıcaklığı ve bağıl nemi sabit bir ortamda, yeterli bir süre bekletilirse, havadaki su buharı basıncıyla, gıda maddesi tarafından tutulan suyun buhar basıncı arasındaki farka bağlı olarak, gıda maddesi nem alır veya nem verir. Denge halinde, gıda maddesinde gözlenen ağırlık değişimi durur. Bu durumda, gıda maddesi tarafından tutulan suyun buhar basıncı, havadaki su buharı basıncına eşittir. İçinde bulunduğu havayla denge halinde bulunan gıda maddesinin içerdiği nem miktarı denge nemi, denge halindeki gıda maddesini çevreleyen havanın bağıl nemine de denge bağıl nemi denir. Denge bağıl nemi ve su aktivitesi arasındaki ilişki şu şekildedir:

$$a_w = \text{Havanın denge bağıl nemi} / 100 = p / p_0 \quad (2.1)$$

Kurutma işlemi sırasında, denge nemi, kurutma sıcaklığına ve kurutmada kullanılan havanın bağıl nemine bağlı olarak kuru ürünün içerebileceği en az su miktarını gösterir (Pala ve Saygı, 1983; Evranuz, 1988; Doymaz, 1998).

### 2.3.2 Sorpsiyon izotermi

Bir gıda maddesinin, belli bir sıcaklık ve basınçta, nem içeriği ile su aktivitesi arasındaki ilişki sorpsiyon izotermi ile belirlenir. Her gıdanın kendine özgü bir sorpsiyon izotermi vardır ve bu izoterm deneysel olarak saptanır. Çünkü gıda maddelerinin içeriklerinde değişik ve farklı oranlarda öğeler bulunmaktadır. Şekil 2.1’ de gıdalara özgü tipik bir sorpsiyon izotermi gösterilmiştir.



Şekil 2.1 Gıda maddeleri için tipik bir sorpsiyon izotermi

Şekilde gösterilen A bölgesinde su, materyal yüzeyinde tek bir molekül katmanı halinde sıkı sıkıya tutulmaktadır. Bu yüzden kurutmada bu bölgedeki suyun uzaklaştırılması zordur ve çoğu kez olanaksızdır. B bölgesi ise, alttaki tek moleküllü su tabakası üzerinde çoklu su tabakasının bulunduğunu göstermektedir. Bu tabakada su gittikçe azalan bir adsorpsiyon ısıyla bağlanmış olduğundan, bu suyun gevşek olarak bağlanmış bulunduğu kabul edilmektedir. C bölgesindeki su ise, gözeneklerde yoğunlaşmış halde bulunan ve içinde çeşitli maddelerin çözüldüğü serbest sudur (Pala ve Saygı, 1983; Cemeroğlu ve Acar, 1986; Okos ve ark., 1992).

### 2.3.3 Gıda işlemede suyun önemi

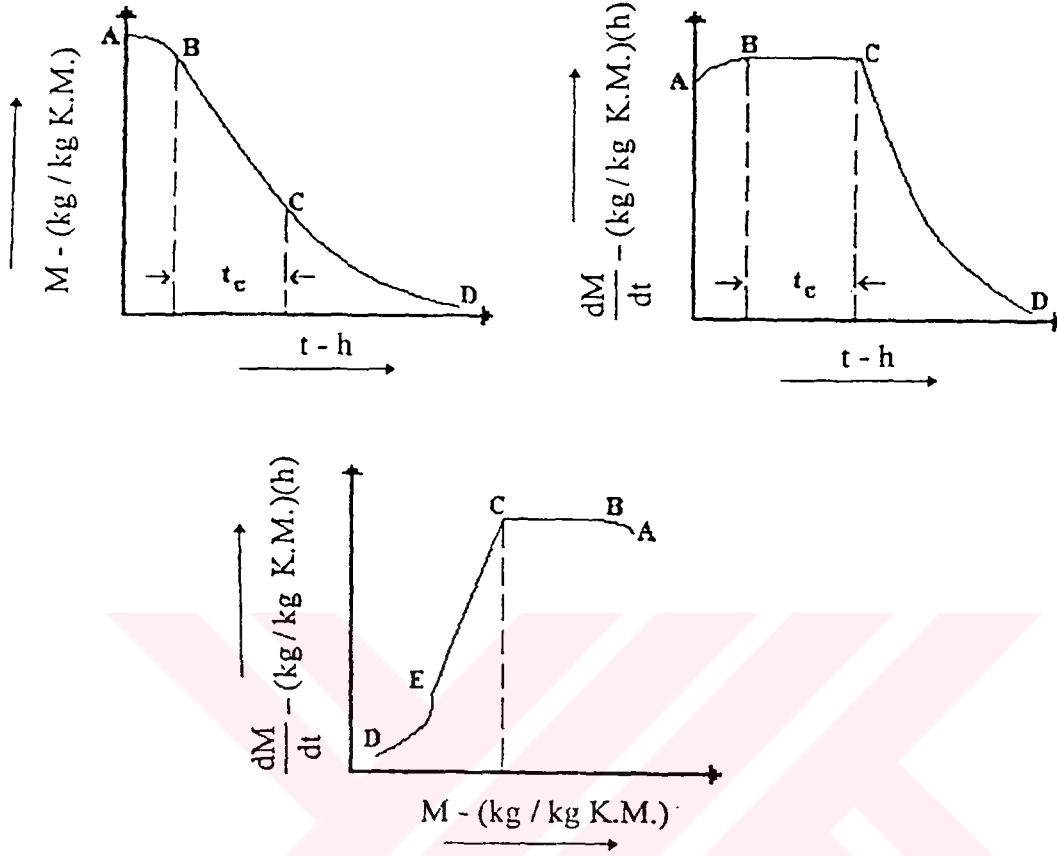
Bilindiği gibi tüm gıdalar su içermekte ve özellikle yüksek oranda su içeren gıdalarda biyolojik ve kimyasal bozulmalar daha kolay olmaktadır. Su ile gıdaların öteki içerik maddeleri arasındaki karşılıklı etkileşim değişik şekillerde olmaktadır. Tuz, şeker ve organik asitler suda çözünür durumda bulunurken, proteinler, kolloidler ve yağlar çözünmez durumdadırlar. Bir çok gıda maddesi, suyu değişik şekillerde adsorbe ederler. Bu bakımdan gıdaların bozulmalarının önlenmesinde ve dayanıklı duruma getirilmesinde suyun büyük önemi bulunmaktadır. Beslenme fizyolojisi açısından gıdalardaki önemli içerik maddelerinin korunması, işleme ve depolama koşullarına bağlıdır. İşleme ve depolamada özellikle suyun fiziksel ve kimyasal durumu gıdaların kalitelerini etkilemektedir.

Gıdaların stabilitelerinde su ile ilgili parametreler, su ve kuru madde niceliği, gıdalarda bulunan suyun özellikleri ve gıda üzerindeki etkisinin tanımlanmasında yeterli olmamaktadır. Gıdalardaki reaksiyonların hızına etkili olan suyun ölçütü olarak değişik parametreler kullanılmaktadır. Son yıllarda bu parametreler arasında suyun kimyasal aktivitesi üzerinde araştırmalar yoğunlaşmaktadır. Gıda içerisinde oluşan ve su ile ilgili tepkime değişmelerin, mikrobiyolojik gelişmelerle, enzimatik etkilere ve su aktivitesine bağlı olduğu bilinmektedir. Bu yüzden gıdalarda niteliği bozucu etkilerde su aktivitesinin önemi yadsınamaz (Pala ve Saygı, 1983; Pala, 1987, Doymaz, 1998).

### 2.4 Kuruma Hızı ve Kuruma Hızı Eğrileri

Kuruma olayı, basit olarak, ıslak olan öğeden suyun uzaklaştırılması olarak tanımlanmıştır. Kurutma sırasında, gıda maddesine, sıcak hava ile temas ettiği zaman suyun buharlaşması için gerekli ısı verilir. Ayrıca hava, buharlaşmış olan suyun gıda yüzeyinden ayrılmasını sağlar. Kuruma olayı sırasında kuruma hızını etkileyen faktörler; sıcaklık derecesi, kurutucu havanın nemi ve hızı, üründe maksimum yüzey alanı sağlayan geometrik şekil (parça büyüklüğü, şekli, kalınlığı), kurutma ortamının basıncı (atmosferik, vakum) gibi fiziksel faktörler ile ürünün kendine özgü diğer özelliklerdir (van Arsdel, 1973; Pala, 1987; Saldamlı ve Saldamlı, 1990).

Kurutulmakta olan bir gıda maddesinin nem düzeyi ile kuruma süresi arasındaki ilişki kuruma eğrileri ile belirlenebilir. Şekil 2.2' de kuruma eğrileri görülmektedir.



**Şekil 2.2 Sabit sıcaklık ve nemde elde edilen kuru madde diyagramları**

Bu kuruma diyagramlarından da kolayca anlaşılacağı gibi kurumada 3 önemli aşama meydana gelmektedir. İlk olarak nem, doymuş halde bulunan yüzeyden buharlaştırılarak uzaklaştırılır; daha sonra, doymuş olarak bulunan yüzey alanı, kademeli olarak azalır; bunu örneğin iç kısımlarından suyun buharlaşması izler.

Kuruma hızı eğrisi; bir ön ısınma periyodu, A-B, sabit kuruma debisi periyodu, B-C ve azalan debi periyodu, C-E' nin varlığını açıkça göstermektedir.

**Birinci aşama (A-B Bölgesi):** Gıda maddesinin yüzey koşullarının sıcak ile dengeye gelmesidir. Genel olarak bu bölümde kuruma hızında bir artma görülmekle birlikte tüm kuruma işleminin çok az bir bölümünü oluşturduğundan göz önüne alınmayabilir.

**İkinci aşama (B-C Bölgesi):** Bu aşama sabit kuruma bölgesi olarak bilinir. Sabit kuruma periyodu sırasında genellikle kurutulacak maddeye ait yüzeyin tamamıyla ıslak durumda olduğu kabul edilir. Sıcaklığı, nemi ve hızı belli olan herhangi bir hava akımında buharlaşma hızı, katı maddeye bağlı değildir ve aynı şartlar altındaki sıvı yüzeyinde meydana gelen buharlaşma debisine eşittir. Bu aşamada kuruma hızı, sıcak hava ile kuruma yüzeyi arasındaki ısı transferine bağlıdır. Kuruma sırasındaki kütle transferi ile ısı transferi belli bir denge oluşturur. Bu nedenle de kuruma yüzeyi sıcaklığı sabit kalır. Sabit yüzey sıcaklığı bu durumda yaş termometre sıcaklığına eşdeğerdir. Buharlaşmanın olduğu yüzeye nem transferi, yüzeyde gerçekleşmekte olan buharlaşmadan daha hızlı olduğu sürece, bu tip kuruma devam eder.

**Üçüncü aşama (C-D Bölgesi):** Gıda maddesinin yüzeyinin tamamen kuruması ile, yani başka bir tanımlama ile kuruma hızının gıda içerisinden gelen difüzyon hızını aşması durumunda kuruma hızı düşmeye başlar. İşte bu noktada sabit kuruma hızı dönemi sona erer ve azalan kuruma hızı dönemi başlar. Bu noktadaki nem içeriği kritik nem olarak tanımlanmaktadır. Kritik nem, gıdaların bileşimleri ile ilgili olup, her gıda için farklı düzeylerde dir. Ancak, birçok gıdanın kritik nemi, ürünün % 58-65 bağıl nemli hava ile dengeye eriştiği anda içerdiği su miktarına eşittir. Kritik nem noktasından itibaren yüzey sıcaklığı yükselir ve kuruma durumuna göre kuru termometre sıcaklığına doğru yaklaşılır. Genellikle azalan hız periyotları iki kısımdan oluşur.

Birinci azalan hız periyodunda (C-D), ıslak yüzey kurumaya başlar ve kuruma hızı zamanla azalır. Yüzey tamamen kurduğunda, buharlaşma maddenin iç kısımlarında olur. Gıda maddesinin içerdiği su maddenin içerisinde buharlaşır ve yüzeye doğru hareket eder. Azalan hız periyodu boyunca gıda maddesi içerisinde nem hareketi, kuruma hızını kontrol eden faktördür. İkinci azalan hız bölgesinde, özellikle hava hızı gibi dış etkenlerin önemi azalır. Azalan hız periyodu boyunca maddeden uzaklaştırılan nem miktarı azdır, ancak bu periyot sabit hız periyodunda daha uzun sürede gerçekleşmektedir (van Arsdel ,1973; Cemeroğlu ve Acar, 1986; Pala, 1987; Evranuz ve Çataltaş, 1989; Okos ve ark., 1992; Menon ve Mujumdar, 1995).

## 2.5 Kurutma Sırasında Gıdalarda Meydana Gelen Kalite Değişimleri

Kuru ürünün kalitesini gösteren kriterler çok çeşitlidir. Her şeyden önce, kurutulan gıda maddesinin nem içeriği, güvenli bir depolama için, yeterince düşük olmalıdır. Ürün, kurutma sırasında, yüksek sıcaklığın etkisi altında bozulmuş olmamalı, orijinal rengini, kokusunu ve görüntüsünü korumalıdır. Kaliteli bir kuru üründe aroma ve besin kaybı en az düzeyde olmalı, kurutulan ürünün cinsine göre, kütle yoğunluğu, akışkanlık veya yüzeyin çatlak olmaması vb. kalite özelliklerine de dikkat edilmelidir. Kuru ürünün kalitesi, kurutma koşullarından etkilenir.

Genel olarak kurutma sırasında kaliteyi etkileyen faktörler şunlardır (Evranoz, 1988; Okos ve ark., 1992) :

1. Esmerleşme Reaksiyonları
2. Lipid Oksidasyonu
3. Büzülme Etkisi
4. Tekrar Su Alma Yeteneği
5. Koku ve Tat Kaybı
6. Besin Değeri Kaybı
7. Kütle Yoğunluğunda Değişmeler

### 2.5.1 Esmerleşme reaksiyonları

Kurutulmuş gıdalarda ortaya çıkan en önemli olumsuzluk renk esmerleşmesidir. Esmerleşme reaksiyonlarının sonucunda sadece renkte değişiklik olmaz. Ürünün besin değeri ve çözünürlüğünü azaltır, lezzet kaybı ve doku değişikliklerine de yol açar.

Renk esmerleşmesi enzimatik veya enzimatik olmayan reaksiyonlar sonucunda ortaya çıkar, fakat kurutma işlemine bağlı olarak genellikle enzimatik olmayan reaksiyonlar daha önemlidir. Bu reaksiyonların en önemlisi Maillard esmerleşme reaksiyonlarıdır. Bu reaksiyonlar sırasında karbonil grupları (örneğin şekerler), amino asitler ya da proteinler gibi amino grupları ile reaksiyona girerler.

Enzimatik olmayan esmerleşme reaksiyonları, kurutma sırasında şiddetle, ve depolamada ise koşullara göre belli bir hızda devam eden sürekli olaylardır. Nem içeriği başta olmak üzere, sıcaklık, pH ve reaksiyona giren maddelerin ortamdaki konsantrasyonu bu reaksiyonları etkileyen en önemli faktörlerdir. Maillard reaksiyonlarının oluşumu için, ortamda belli bir düzeyde su bulunmalıdır. Nem düzeyi %2' nin altında iken, hiçbir esmerleşme reaksiyonu olmaz. Buna karşın, nem düzeyi %15-20 arasındayken reaksiyonlar çok hızlı bir şekilde gerçekleşir.

Renk esmerleşmesini önlemek amacıyla kullanılan en yaygın yöntem kükürtlemedir. Kükürt dioksit bir taraftan enzimleri inaktif hale getirmekte, diğer taraftan özellikle enzimatik olmayan esmerleşme reaksiyonlarını engellemektedir. Bu gaz ayrıca daha önce oluşmuş esmer rengin açılıp düzeltilmesini de sağlamaktadır (van Arsdel , 1973; Cemeroglu ve Acar, 1986; Okos ve ark., 1992).

### **2.5.2 Lipid oksidasyonu**

Lipid oksidasyonu bir tip otooksidasyon olup, oksijen bulunan ortamda değişik komponentlerin oksidasyonu olarak bilinmektedir. Gıdalardaki bu oksidasyon olayı, küflenmeye, lezzet kaybına ve yağda çözünen vitaminlerin parçalanmasına yol açar.

Nem içeriği oksidasyon hızını etkileyen en önemli etmendir. Su aktivitesinin çok düşük olduğu düzeyde oksidasyon hızı çok yüksektir.

Gıdalardan oksijenin uzaklaştırılması oksidasyonu azaltabilir, ancak bunun etkili olabilmesi oksijen konsantrasyonunun çok düşük olması gerekir. Kurutma işlemi sırasında oksijen miktarını azaltmak ve antioksidan madde ilave etmek, lipid oksidasyonunu engellemek için önerilen diğer yöntemlerdir (Pala, 1987; Okos ve ark., 1992).

### **2.5.3 Büzülme etkisi**

Yaşayan hücresel bitki dokusunun bir kısmı turgor özelliği gösterir. Bu, her bir hücrenin içerdiği tarafından şişirilmesi ve dolayısıyla şişirilmiş bir oyuncak balon gibi yapısal bir

katılık olması demektir. Hücre duvarları gerilim, hücre içerikleri ise basınç altındadır. Hücre duvarının yapısı kuvvetli ve esnektir. Fakat gerilme belli bir değerin üzerine çıktığı zaman, yapı, bazı kısımlarında geri dönmek üzere esnekliğini kaybeder. Zorlama kalktığı zaman gerilen madde orijinal boyutlarına geri dönmez. Bu çeşit plastik deformasyon pek çok kurutulmuş gıda dokusunda görülür.

Hücreli doku, haşlama işlemi ile öldürülürse, hücre duvarları daha geçirgen olur, turgorların bir kısmı kaybolur ve sürekli deformasyon kuruma işlemi boyunca gittikçe fazlalaşır. Dokunun parçalanma ve ezilmesi gibi birçok zararlı etkenler sonucu hacim azalması meydana gelir (van Arsdel , 1973; Doymaz, 1998).

#### **2.5.4 Kurutulmuş ürünün tekrar su alma yeteneği**

Kurutulmuş bir üründe aranan en önemli özelliklerden birisi, kullanılması sırasında verilen su ile eski haline dönüşebilme düzeyidir. Yani, kurutulmuş ürün suda tutulunca, taze halinde içerdiği kadar su alarak eski haline ve şekline dönüşürse, mükemmel niteliklerde olduğu kabul edilir. Bu özellik dondurularak kurutulmuş ürünlerde önemli ölçüde sağlanabilirse de, diğer yöntemlerle yapılan kurutmalarda önemli ölçüde kaybedilmiş olur. Çünkü gıda maddelerinin kurutma sırasında bazı özelliklerinin değişmesi ile beraber aynı zamanda suyun tekrar absorbe edilmesi ile yüzeyde meydana gelen şişkinlik, yumuşamış olan tabakaya şiddetli baskı yaparak, gıda maddesinin ezilmesine, parçalanmasına neden olur ve orijinal yapısına dönmesi mümkün olmaz.

Kurutulmuş ürünün tekrar su alma yeteneğini etkileyen faktörler; kurutmadan dolayı üründe meydana gelen fiziksel ve kimyasal değişiklikler, kurutma koşulları ve kurutulacak ürünün kompozisyonu ile ürüne uygulanan ön işlemlerdir (van Arsdel , 1973; Cemeroğlu ve Acar, 1986; Okos ve ark., 1992; Doymaz, 1998).

#### **2.5.5 Koku ve tat kaybı**

Gıda maddelerine koku ve tat veren uçucu organik bileşenlerin kaynama noktaları sudan düşüktür. Bu yüzden de, genellikle kurutma sırasında kaybolurlar. Uçucu bileşenlerin

kaybına yol açan etkenler; sıcaklık, gıdanın katı madde içeriği ve uçucu bileşenlerin buhar basıncı ile su buharındaki çözünürlükleridir. Kurutma sırasında, kurutma koşullarının her aşamada kontrol edilmesi kayıpları azaltır. Hatta, eğer kurutma başlangıcında, ürünün yüzeyinde ince, kuru bir tabaka oluştuysa, bu bileşenlerin kaybı önlenebilir. Çünkü bu tabaka sadece suyun geçmesine izin verir.

Koku kaybının ikinci büyük nedeni; kurutma sırasında pigment, vitamin ve lipitlerin oksidasyonudur. Çünkü kurutulmuş ürünlerin gözenekli yapısı oksijen geçişine izin verir. koku kaybının derecesi depolama sıcaklığına ve ürünün su aktivitesine bağlıdır (Anon, 1992; Okos ve ark., 1992).

### **2.5.6 Besin değeri kaybı**

Kurutma diğer saklama yöntemlerinin çoğunda da olduğu gibi, bazı besin kayıplarına yol açar. Bu kayıpların başlıca nedenleri şunlardır:

1. Kurutulacak maddenin niteliği
2. Kurutmadan önce uygulanan ön işlemler
3. Kurutma yöntemi ( kurutma sıcaklığı ve süresi )
4. Depolama koşulları

Vitaminlerin suda çözünürlükleri farklı farklıdır. Bu sebeple, kurutmadan önce sebzelerin haşlanması sırasında suda eriyen vitaminlerin bazılarında azalmalar görülür. Bazı vitaminler, yüksek nem içeriğinde, yüksek sıcaklıklara karşı duyarlıdırlar. Haşlama sırasında meydana gelen oksidasyon da vitamin kaybına yol açan diğer bir etmendir. Bu kayıpların azaltılabilmesi için kurutma süresi kısa tutulmalı ve depolama sırasında sıcaklık, nem miktarı ve oksijen düzeyi düşük olmalıdır.

Kurutma sırasında gıdalardaki proteinlerin biyolojik değeri ve sindirim özelliği kaybolmaz. Bu yüzden kurutma sırasındaki protein kaybı, besin değeri kaybı açısından çok önemli bir faktör değildir (Hall, 1965; Okos ve ark., 1992; Anon, 1992)

### 2.5.7 Kitle yoğunluğunda değişmeler

Bir maddenin birim hacminin ağırlığı onun kitle yoğunluğudur. Eğer kurutulan bir maddede hiçbir büzüşme, buruşma olmazsa ve madde kurutma sonunda başlangıçtaki boyutlarını korursa, bu maddenin kurutma sonundaki kitle yoğunluğu sadece kaybedilen su kadar azalır. Fakat kurutulan maddelerde, daima bir buruşma, büzüşme ortaya çıkar.

Kurutma koşulları eğer; maddenin yüzeyinin iç kısımlara göre daha fazla ve hızlı kurumasına neden olmuyorsa, tüm kitle beraberce kurur ve düzgün bir buruşma belirerek madde şeklini kaybeder ve hacmi son derece küçülür. Böyle bir ürünü kitle yoğunluğu çok yüksektir. Buna karşın, önce yüzeyde aşırı bir kuruma olarak şekilli, hızlı bir kurutma uygulanırsa, dış tabakalar sertleşir ve ürünün içi ıslak kalır. Daha sonraki kuruma aşamalarında nihayet alt tabakalarda kurur, ancak sertleşmiş dış tabaka, daha sonra kuruyan alt tabaka üzerine çökemediğinden kurumuş ürünün içinde kat kat boşluk ve çatlaklar oluşur. Bu şekilde kurumuş bir ürünün dış görünüşü orijinaline benzer ve sanki hiç buruşma olmamış veya çok az olmuş izlenimi verir. Bunlarda kitle yoğunluğu çok düşüktür.

Kitle yoğunluğu, bir ürünün kurutma koşulları hakkında bilgi veren önemli bir değerdir. Aynı ürünün düşük veya yüksek kitle yoğunluğunda olmasının olumlu ve olumsuz yönleri vardır. Kitle yoğunluğu düşük olan ürünlerin tekrar su alma yetenekleri daha iyidir. Yani, daha fazla ve hızlı su absorbe ederler. Ürün içindeki boşluklar aynı miktar ürünün yüzey alanının çok artmasına neden olduğundan bunlarda oksidasyon eğilimi daha fazladır, yani depolama stabilitesi azdır (van Arsdel , 1973; Cemeroğlu ve Acar, 1986).

### 3. MAYDANOZ ve DEREOTU KURUTMA

Bir tarım ülkesi olan Türkiye, gerek ekolojik şartları ve gerekse coğrafi konumu nedeniyle önemli bir sebze ve meyve üretim potansiyeline sahiptir. Yüksek oranda nem içeriğine sahip bu taze sebze ve meyvelerin kalitelerinin uzun süre korunması ve bozulmalarının önlenmesi için yaygın olarak hem kurutma hem de soğukta depolama yöntemleri kullanılmaktadır. Doğal kurutma dediğimiz yöntemle, yani güneşte kurutulan sebze ve meyvelerimiz oldukça çok çeşitlidir. Ülkemizde her cins üzüm, incir, erik, kayısı, zerdali, dut, vişne, kiraz, elma, armut, sert kabuklu meyvelerden ceviz, badem, fındık, sebzelerden bamyı, patlıcan, biber, fasulye, kabak, hemen her çeşit tat ve koku veren maydanoz, dereotu, nane, kekik, defne, ıhlamur gibi bitkiler ve tüm tahıllar, baklagiller, pirinç ve mısır güneşte kurutulmuş olarak saklanmaktadır. Ancak, ülkemizde ailelerin kendi tüketimleri için güneşte kuruttukları sebzelerin kırmızı toz biber ve bamyı hariç ticari bir değeri yoktur (Evranuz ve ark., 1984; Doymaz, 1998).

Maydanoz, bahar ve garnitür olarak kullanılan, kokulu, parlak, küçük ve parçalı yapraklı, ince ve çizgili saplı, bir yada iki yıllık bitkidir. Avrupa ve Asya' da yabancı olarak yetişir. İslah edilerek geliştirilmiş bahar çeşitleri sebze bahçelerinde yetiştirilir. Maydanozun düz yada kıvrık yapraklı iki çeşidi vardır. Avrupa'da çok yaygın bir maydanoz çeşidi olan kök maydanoz ise büyük, beyaz köklerinden dolayı yetiştirilir.

Dereotu, çok parçalı ve koyu yeşil yapraklı, kokulu, bir yıllık otsu bitkidir. Bahçe ve bostanlarda çeşni bitkisi olarak yetiştirilir. Taze yaprakları yemeklere koku ve tat vermek için kullanılır (Anon, 1986).

Bugrova (1971), maydanozları küp şeklinde kurutmuştur. İlk denemeler; 3 farklı büyüklükte maydanoz küpleri (6, 8 ve 9 mm.) kullanılarak, döner laboratuvarlı kurutma odalarında, 0.5 m/s hava akış hızı, 45-55°C sıcaklık ve ürünün son nem içeriği % 13-14 olacak şekilde gerçekleştirilmiştir. 6 mm.lik küpler, kurutmadan önce 100 g spesifik suda, 1.097 cm<sup>2</sup> yüzey alanına sahiptir. 1 m<sup>2</sup>' lik kurutma eleği 16 kg optimum yükle yüklenmiştir. Kurutma süresince havanın nemi %40' tır ve kuruma ürünü, 150 dakika kurutulduktan sonra, %12.88 su içermektedir. 8 mm.lik küplerin 12.3 kg.ı 0.13 m/s hızında

hareket eden banda yerleştirilmekte, 2. bant 0.095 m/s, 3. bant 0.075 m/s ve 4. bant 0.055 m/s hızla hareket etmektedir. Uygulanan sıcaklıklar sırasıyla 48-50, 55, 50 ve 40°C' dir. Küpler kurutucuya 2 kg/dakika hızla girmektedir. Kurutma süresi 248 dakikadır. Son ürünün nem içeriği % 13' tür. Toplam yağ kaybı %20 ve nem içeriği %6 olacak şekilde kurutulduğunda ise %33-40' tır.

Popescu ve ark. (1972), patates, havuç, maydanoz, dereotu, yabanhavucu, kereviz ve pancar ile denemeler gerçekleştirmişlerdir. Bu denemelerde sebzeler yıkanır, ayıklanır, soyulur, küp yada halka halinde doğranır, haşlanır ya da kükürtlenir. Kurutma 3 aşamada gerçekleştirilir: sıcak hava ile kısmi ön kurutma (%30-50 nem içeriği sağlanıncaya kadar) yapılır, daha sonra nem dengesi sağlanır ve nem içeriği %5-7 oluncaya kadar sıcak hava ile son kurutma yapılır.

Feinberg, (1973) Kaliforniya' da gerçekleştirilen bir kurutma işleminin aşamalarını şöyle belirtmişlerdir: Hasat sonrasında biçilen maydanozlar, tarladan dökülen otların ve pisliklerin temizlenmesi için bir makaraya yerleştirilir ve burada üç kez yıkanır. Daha sonra maydanozlar, geniş bir taşıyıcı bant üzerine sabit hızda beslenir. Burada sarı yapraklar ve diğer maddeler ayıklanır. Kurutma işlemi 3 kademeli sürekli bant kurutucuda, kurutma süresi 30 dakika olacak şekilde gerçekleştirilir. Maydanoz, kurutma işleminden önce haşlanır veya kükürtlenir. Kurutulmuş ürünün son nem içeriği yaklaşık %4' dür.

Mariupol (1975), sebzeleri akışkan yatak kurutucuda kurutmuştur. Optimum kurutma parametreleri; sıcaklık 120-160°C, akış hızı 5-7 m/s, 60-80 kg/m<sup>2</sup> sebze tabakası ve sebzesine bağlı olarak 8-14 dakika kurutma süresidir. Maydanoz kurutma için optimum küp şeklinde sebze boyutu 8 mm.dir.

Gulyaev ve Bugrova (1981), kurutma için sebzeleri öncelikle, 2-2.5 mm. kalınlığında ezmişler, daha sonra ezilmiş sebzeler, 3 kg/m<sup>2</sup> yük, 48-55°C hava sıcaklığı ve 0.40-0.42 m/s hızla kurutulmuştur. Denemeler sonunda, genel olarak, sebzelerin son nem içeriğinin %7.6 olması için 90 dakika kurutulmaları gerektiği saptanmıştır. Maydanoz ise, 160 dakika kurutulduktan sonraki son nem içeriği %7.0' dir.

## 4. MATERYAL ve YÖNTEM

### 4.1 Materyal

Kurutma deneylerinde, semt pazarlarından taze alınmış ve ayıklanmış, maydanoz ve dereotu kullanılmıştır.

### 4.2 Yöntemler

#### 4.2.1 Kurutma sistemi

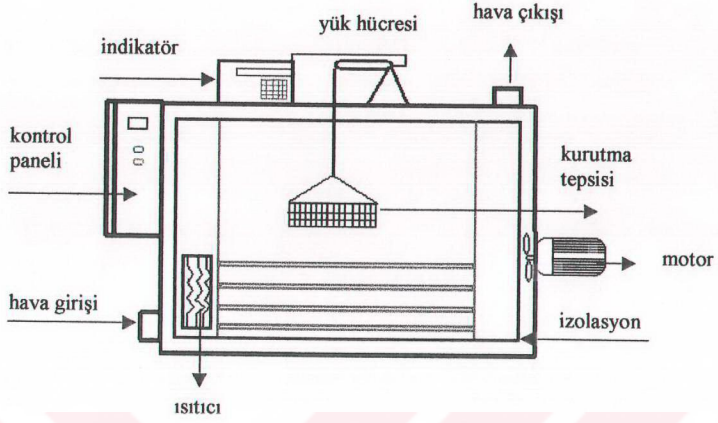
Maydanoz ve dereotlarını kurutma denemeleri, bölümümüzde bulunan, APV & PASILAC firması yapımı kurutma kabininde ve İ.T.Ü KOSGEB Teknoloji Geliştirme Merkezi'nde bulunan, MAKİMSAN firması yapımı mikrodalgalı kurutucuda gerçekleştirilmiştir.

##### 4.2.1.1 Sıcak havalı kurutucu

Kurutma kabini, delikli bir tepsi içerisinde, çeşitli maddelerin kurutulmasına uygun, istenilen sıcaklıkta hava akımı sağlayabilen pilot ölçekli bir kurutucudur. Kabinin ana kurutma bölümündeki delikli tepsi 30x30x10 cm boyutlarındadır. Kurutucu çelikten imal edilmiş olup 50 mm kalınlığında yarı rijit yassı izolasyon maddesi ile kaplanmıştır. Kabin içerisinde sirkülasyon halinde bulunan havanın debisi ise, hızı değiştirilebilen sirkülasyon fanı tarafından kontrol edilebilmektedir. Sirkülasyon fanı 0.37 kW gücünde bir elektrik motoruyla çalışmaktadır.

Kullanılacak olan havanın ısıtılması ise, sirkülasyon fanının karşısında bulunan 14 adet şerit halindeki ısıtıcılar ile sağlanmaktadır. Kurutucuda, 200°C sıcaklığa kadar çalışmak mümkündür. İstenilen sıcaklık ayarları, cihaz üzerinde bulunan kontrol panelindeki dijital sıcaklık göstergesinden yapılabilmektedir.

Şekil 4.1' de sıcak havalı kurutucunun genel görünüşü ve Şekil 4.2' de de şematik gösterimi verilmiştir.



**Şekil 4.1** Maydanoz ve dereotunun kurutulmasında kullanılan sıcak havalı kurutucunun şematik gösterimi



**Şekil 4.2** Maydanoz ve dereotunun kurutulmasında kullanılan sıcak havalı kurutucunun genel görünüşü

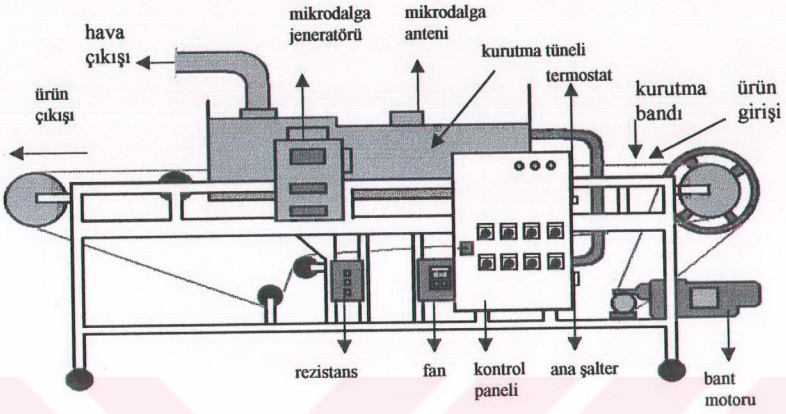
#### 4.2.1.2 Mikrodalgalı kurutucu

Mikrodalga tüneline 1 kW'lık 2 mikrodalga jeneratörü kullanılmaktadır. Mikrodalga jeneratöründen çıkan elektromanyetik dalganın yönlendirilip, kurutma tüneline yayılması ise "mikrodalga anteni" vasıtasıyla sağlanmaktadır. "Mikrodalga anteni" 43x43x85 mm kesiminde bir borudur. Mikrodalganın ürüne yönlendirilmesi, bu borunun tünele açık tarafı üzerine bilgisayarla tespit edilen kanalların açılması suretiyle gerçekleşmektedir. Kurutulacak malzemeye mikrodalga anteni arasında 20 cm mesafe bulunmaktadır. Bant sistemi sayesinde, kurutulacak ürün bant üzerine yerleştirilip mikrodalga antenlerinin altına getirilir. Mikrodalga jeneratörleri çalışma ve durma zamanları ayarlanarak malzemenin kuruma süresi belirlenir.

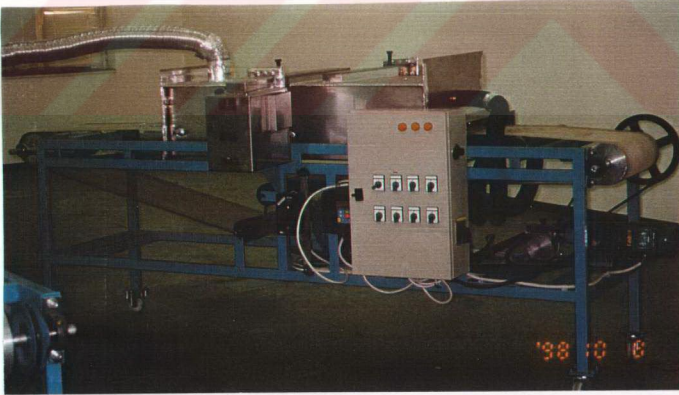
Bant 4 mm delikli, telvar ve teflon kaplı bir malzemedir. 200°C sıcaklığa dayanıklıdır. Redüktörlü bir motor vasıtasıyla, dakikada 0-1 metre hızla hareket ettirilmektedir.

Mikrodalga tüneline kullanılan hava 80°C' a kadar ısıtılabilen ve ısıtma tüneline hava miktarı saatte 300 m<sup>3</sup> hava debisine kadar çıkarılabilmektedir. Havanın ısıtılması bir rezistans yardımıyla sağlanmakta, sıcaklık ayarları ise bir termostat vasıtasıyla yapılmaktadır. Tünel içindeki ürün sıcaklığı, tünel içine yerleştirilmiş bir termometre ile ölçülmektedir.

Şekil 4.3' de mikrodalgalı kurutucunun genel görünüşü ve Şekil 4.4' de de şematik gösterimi verilmiştir.



**Şekil 4.3** Maydanoz ve dereotunun kurutulmasında kullanılan mikrodalgalı kurutucunun şematik gösterimi



**Şekil 4.4** Maydanoz ve dereotu kurutulmasında kullanılan mikrodalgalı kurutucunun genel görünüşü

#### 4.2.2 Kurutulan üründe ağırlık kaybı ölçümleri ve elde edilen verilerin kayıt edilmesi

Kurutma kabinde kurutulan üründe ağırlık ölçümleri REVERE marka (SHBxM) CC model yük hücreleri ile yapılmıştır. Bu yük hücresi 20 kg'a kadar olan ağırlıkları 0.05 g hassaslıkla ölçebilmekte ve -40°C ile 80°C sıcaklıklar arasında çalışabilmektedir. Yük hücresi, üçgen ayaklar ile kurutma kabininin üstüne vidalar ile sabitleştirilmiş ve kabin içinde, ürünlerin içine yerleştirildiği delikli tepsiye çelik ile çubuk ile bağlanmıştır.

Yük hücresi tarafından ağırlık kaybı nedeniyle meydana gelen değişimler algılanmakta ve yük hücresinin set değerinde meydana gelen sapmalar hücre tarafından sinyallere dönüştürülüp, elde edilen sinyaller ESİT marka dijital indikatörün ekranına aktarılmaktadır. Deneyler sırasında, ağırlık tartım değerleri belirli zaman periyotlarında kaydedilmiştir.

Mikrodalga tüneline kurutulan üründe ağırlık ölçümleri ise, ürün hassas terazide tartılarak yapılmıştır. Bu sistemde kurutma işlemi sırasında ağırlık ölçümü yapma imkanı bulunmamaktadır. Bu yüzden, ürün ağırlıkları ancak işlem sonunda ölçülebilmektedir.

#### 4.2.3 Kuru madde tayini

Her iki sistemde de örneklerin kuru madde miktarları şu şekilde tayin edilmiştir : Darası önceden belirlenmiş örnek kabında 2 g dolayında tartılan küçük parçalar halinde ayıklanmış örnekler 105°C' ayarlanmış memmert marka etüvde sabit tartıma gelene kadar (yaklaşık 4 saat) kurutulmuştur. Etüvden alınan örnekler desikatörde yarım saat bekletildikten sonra tartılarak, örneklerin kuru madde miktarları % olarak aşağıdaki formüle göre hesaplanmıştır.

$$\% \text{ Kuru madde} = [(m_2 - m_0) / (m_1 - m_0)] * 100 \quad (4.1)$$

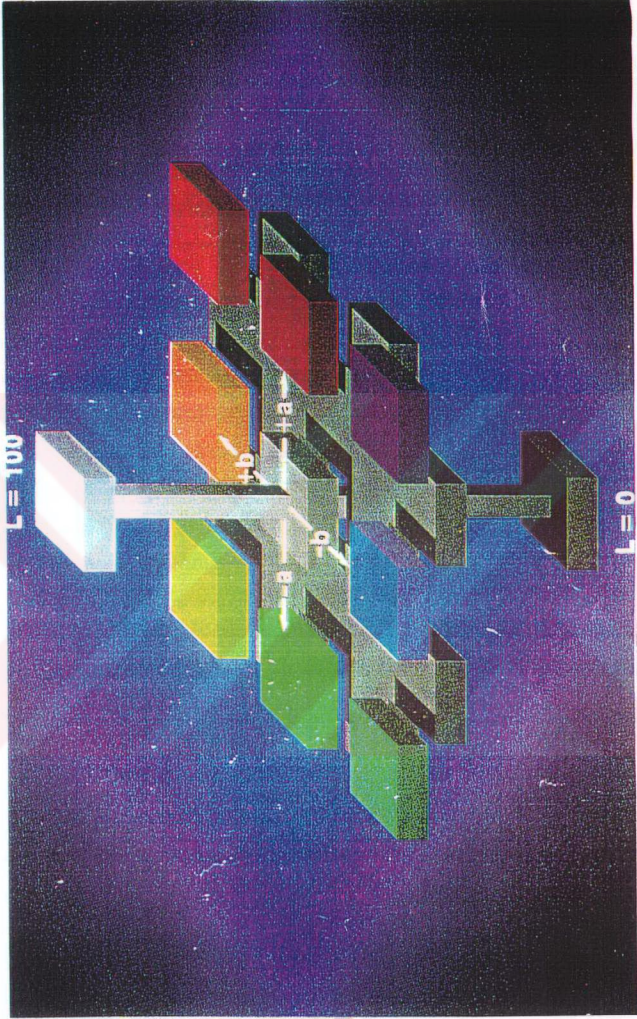
$m_0$  : Örnek kabın boş ağırlığı (g);  $m_1$  : Örnek kabın ve örneğin kuruma öncesi ağırlıkları toplamı (g);  $m_2$  : Örnek kabın ve örneğin kuruma sonrası ağırlıkları toplamı (g).

#### 4.2.4 Hava hızı ölçümleri

Kurutma denemeleri sırasında, hava akış hızı TESTO 440 Vane probe Anemometre ile ölçülmüştür. Anemometre, 0,2-40 m/s ölçme aralığı ve 0-60 °C sıcaklık aralığında çalışma özelliğine sahiptir. Denemeleri gerçekleştirdiğimiz sıcak havalı kurutucuda hava hızı 1.2 m/s olarak ölçülmüştür.

#### 4.2.5 Renk ölçümleri

Renk ölçümleri Hunter Lab Color D 25 D2P modeli ile yapılmıştır. Ölçümler 5 kez tekrarlanmış ve ölçülen değerlerin ortalaması alınmıştır. Şekil 4.5’de görüldüğü gibi L, a, b değerleri 3 boyutlu koordinat sistemi ile verilmekte ve koordinat sisteminde “ L ” değeri dikey eksenle parlaklıktan koyuluğa gidişi belirtirken, “+a” kırmızılığa, “-a” yeşilliğe, “+b” sarılığa, ve “-b” ise maviliğe gidişi göstermektedir.



Şekil 4.5. Hunter Lab renk sisteminin 3 boyutlu koordinat sisteminde gösterimi

### 4.3 Kurutma Denemeleri

Kurutma deneylerinde taze alınıp ayıklanmış maydanoz ve dereotu kullanılmıştır. Denemelerden önce yapılan kuru madde analizleri sonucunda, maydanozların % 16.6-21.7, dereotlarının ise % 12.3-18.5 arasında kuru madde içerdiği belirlenmiştir.

Kurutma öncesi uygulanan ısı şoku ve haşlama gibi ısısal işlemlerle, sebzelerde bulunan enzimlerin inaktive edilmesi gerekli olmaktadır. Böylece, kurutulan sebzelerde olumsuz kalite değişimleri önlenmektedir. Bu çerçevede, kurutma denemelerinde ilk aşamada, sebzelere ısı şoku ve haşlama uygulanarak kurutma yapılmıştır. Bu uygulama ile, maydanoz ve dereotlarında, kurutma öncesi uygulanan ısısal işlemlerin kaliteye etkilerini inceleme amaçlanmıştır. Bu ürünler, kaynayan suda (98°C), 5 veya 15 saniye ısı şoku uygulandıktan, veya 70°C sıcaklıktaki suda 30 saniye haşlandıktan sonra, 55°C' de kurutulmuştur. Ancak, bu uygulamadan iyi sonuç alınamamıştır. Kurutma öncesi uygulanan ısısal işlemler, maydanoz ve dereotlarında renk değişimine neden olmuş ve beklenen kaliteye ulaşamamıştır.

Böylece, maydanoz ve dereotlarının kurutma öncesi enzim inaktivasyonuna yönelik olarak, haşlama gibi herhangi bir ısısal işlemin uygulanmasına gerek olmadığı ortaya çıkmaktadır. Bu sonuçtan da, söz konusu sebzelerin enzim aktivitelerinin yüksek olmadığı kanaatine varılmaktadır.

Maydanozlar kabin kurutucuda yaklaşık % 6.4, mikrodalgalı kurutucuda ise yaklaşık % 6 nem içeriğine kadar, dereotları ise kabin kurutucuda yaklaşık % 6.4, mikrodalgalı kurutucuda ise yaklaşık % 4.7 nem içeriğine kadar kurutulmuşlardır. Kurutma deneyleri her iki sistemde de 40, 45, 50, 55, 60 ve 70°C sıcaklıklarda gerçekleştirilmiştir. Kabin kurutucuda ağırlık kaybı değerleri, kurutucuya monte edilen yük hücrelerinden gönderilen sinyallerin ortalaması alınarak kaydedilmiştir. Mikrodalga tüneline ise kurutma işlemi sırasında ağırlık ölçümü yapma imkanı bulunmamaktadır. Bu yüzden, ürün ağırlıkları ancak işlem sonunda ölçülebilmektedir. Kurutmadan sonra maydanozlar ve dereotları soğumaya bırakılmıştır. Soğutulduktan sonra ürünler cam kavanozlara konularak oda sıcaklığında muhafaza edilmiştir.

Şekil 4.6'da maydanoz ve dereotu kurutma akış diyagramı gösterilmektedir.



Şekil 4.6. Maydanoz ve dereotu kurutma akış diyagramı

#### 4.4 Kurutma Eğrilerinin Matematiksel Olarak Tanımlanması

Gıdalarda kütle transfer mekanizmaları oldukça çok ve karmaşıktır. Ancak, bunlardan en yaygın olanının difüzyon mekanizması olduğu varsayılmaktadır. Gıdalarda difüzyon mekanizması, Fick yasasının çözümüyle açıklanmaktadır (Okos ve ark., 1992):

$$\frac{\partial m}{\partial t} = D_{\text{eff}} \frac{\partial^2 m}{\partial x^2} \quad (4.2)$$

Burada m: nem içeriği, t: zaman ve x: uzaysal koordinatı belirtir.

Gıda maddesinin şekli belirlendikten veya kabul edildikten sonra, Fick yasasının çözümüyle difüzyon katsayısı bulunur. Maydanoz ve dereotunun şekli küresel kabul edilirse, küre için Fick yasasının çözümü aşağıdaki gibidir:

$$\frac{m - m_s}{m_0 - m_s} = \frac{6}{\pi^2} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n^2} \exp\left(-n^2 \cdot \pi^2 \cdot \frac{D_{\text{eff}} \cdot t}{r^2}\right) \quad (4.3)$$

Burada:

m = herhangi bir andaki nem içeriği

$m_0$  = başlangıçtaki nem içeriği

$m_s$  = denge nem içeriği

$D_{\text{eff}}$  = difüzyon katsayısı ( $\text{m}^2/\text{s}$ )

r = yarıçap (m)

t = zaman (s)

(4.3) eşitliği bir doğru denklemine dönüştürülürse aşağıdaki eşitlik elde edilir:

$$\ln\left(\frac{m - m_s}{m_0 - m_s}\right) = \ln\left(\frac{6}{\pi^2}\right) - \left(\frac{\pi^2 D_{\text{eff}} t}{r^2}\right) \quad (4.4)$$

(4.4) eşitliği daha genel bir ifade ile yazıldığında, Exponential denklem elde edilir (Diamante ve Munro, 1993):

$$\frac{m - m_s}{m_0 - m_s} = a \exp(-bt) \quad (4.5)$$

İnce tabaka kurutma çalışmalarında yaygın olarak kullanılan eşitliklerden biri de Page eşitliğidir:

$$\frac{m - m_s}{m_0 - m_s} = \exp(-xt^n) \quad (4.6)$$

Denge nem içeriği  $m_s$ ,  $m$  veya  $m_0$  ile karşılaştırıldığında çok küçüktür. Bu yüzden  $(m - m_s)/(m_0 - m_s)$  terimi  $M/M_0$  olarak basitleştirilir. Bu durumda (4.5) ve (4.6) eşitlikleri şu şekle dönüşür:

$$\frac{M}{M_0} = a \exp(-bt) \quad (4.7)$$

Burada a: Sabit (boyutsuz) ve b: Ampirik sabiti belirtir.

$$\frac{M}{M_0} = \exp(-xt^n) \quad (4.8)$$

Burada x: Sabit (boyutsuz); t: süre (dak.) ve n: Sabiti (boyutsuz) belirtir.

(4.7) ve (4.8) denklemleri uygulanarak korelasyon katsayıları ( $r^2$ ) hesaplanmıştır (Çizelge 5.6 ve Çizelge 5.12).

## 5. SONUÇLAR ve TARTIŞMA

### 5.1 Maydanoz Kurutma İşlemi ve Kuruma Karakteristiklerinin Belirlenmesi

Kurutma kabinde gerçekleştirilen maydanoz kurutma denemelerinin kuruma süreleri ile taze ve kuru üründeki nem içerik değerleri Çizelge 5.1’de verilmektedir.

Çizelge 5.1 Kurutma kabinde gerçekleştirilen maydanoz kurutma denemelerine ait kuruma süreleri, taze ve kuru üründeki nem miktarları

Sıcaklık (°C)	Kuruma Süresi (dak.)	Nem (%) Taze	Nem(%) Kuru
70	160	83.37	6.46
60	240	78.25	6.41
55	280	83.3	6.45
50	350	82.06	6.43
45	440	83.21	6.44
40	540	82.05	6.40

Bu çizelgede de görüldüğü gibi, kurutma kabinde yapılan denemelerde, sıcaklık yükseldikçe kuruma süresi azalmaktadır. Örneğin, 40°C’ de kurutulan maydanoz 540 dakikada kururken, 70°C’ de işlem 160 dakika sürmektedir. Yani 30°C’ lik bir sıcaklık artışı kuruma süresini %237.5 kısaltmaktadır.

Kurutma kabinde yapılan denemelerde, belirli zaman aralıklarında ağırlık ölçümleri yapılabildiğinden, denemeler sonucunda elde edilen verilerden yararlanarak maydanozun nem içeriğinin zamanla değişimini gösteren kuruma eğrileri çizilmiştir. Şekil 5.1, 5.2, 5.3, 5.4, 5.5, 5.6 ve 5.7’de bu eğriler gösterilmektedir

Mikrodalga tüneline gerçekleştirilen maydanoz kurutma denemelerinin kuruma süreleri ile taze ve kuru üründeki nem içerik değerleri ise Çizelge 5.2’ de verilmektedir. Burada denemeler, her sıcaklıkta aynı örnekle gerçekleştirildiğinden taze üründeki nem miktarları tüm denemeler için aynıdır.

**Çizelge 5.2 Mikrodalga tüneline gerçekleştirilen maydanoz kurutma denemelerine ait kuruma süreleri, taze ve kuru ürünlerdeki nem miktarları**

Sıcaklık (°C)	Kurutma Süresi (dak.)	Nem(%) Taze	Nem(%) Kuru
70	25	82.11	5.24
60	30	82.11	7.39
55	35	82.11	6.04
50	40	82.11	7.82
45	45	82.11	6.72
40	80	82.11	5.20

Çizelge 5.2’ de görüldüğü gibi, mikrodalga tüneline yapılan denemelerde de, sıcaklık yükseldikçe kuruma süresi azalmaktadır. Örneğin, 40°C’ de kurutma işlemi 80 dakika sürerken, 70°C’ de işlem 25 dakika sürmektedir. Yani mikrodalga tüneline 30°C’ lik bir sıcaklık kuruma süresi %220 kısalmaktadır.

Mikrodalga tüneline yapılan denemelerde, ağırlık ölçümleri yalnızca denemelerin başlangıcında ve sonunda alınabildiğinden, bunların kuruma eğrileri çizilememiştir.

Kurutma işleminde mikrodalga tüneli zamandan çok büyük oranda tasarruf sağlamaktadır. Çizelge 5.3’de, kurutma kabini ve mikrodalga tüneline, 55 ve 45°C sıcaklıklarda gerçekleştirilmiş olan kurutma denemeleri karşılaştırılmaktadır.

**Çizelge 5.3 Kurutma kabini ve mikrodalga tüneline yapılan denemelerin karşılaştırılması**

Sıcaklık (°C)	Kurutma Kabini		Mikrodalga Tüneline	
	Kurutma süresi (dak.)	Nem (%) Kuru	Kurutma süresi (dak.)	Nem (%) Kuru
55	280	6.45	35	6.04
45	440	6.44	45	6.72

Çizelge 5.3 incelendiğinde, mikrodalga tüneline kuruma süresinin kurutma kabine oranla, 55°C’ de % 700, 45°C’ de % 877 kısaldığı görülmektedir.

### 5.1.1 Renk analizi

Kurutulmuş ürünlerde renk ölçümleri Hunter Lab Color D 25 D2P modeli ile yapılmıştır. Ölçümler 5 farklı noktada tekrarlanmış ve elde edilen değerlerin ortalaması alınmıştır. Böylelikle bulunan ortalama L, -a ve +b değerleriyle de Hunter Lab skalasına göre kuru ürünün renk değerlendirmesi yapılmıştır. Burada “L” değeri parlaklıktan koyuluğa, “-a” değeri yeşillik ve “+b” değeri sarılığa gidişi ifade etmektedir. Elde edilen değerler Çizelge 5.4 ve 5.5’ de verilmektedir.

Çizelge 5.4 Kabin kurutucuda kurutulmuş maydanozların renk analiz sonuçları

T (°C)	L	-a	+b	- a/b
70	36.6	7.04	13.85	0.51
60	32.26	6.08	12.38	0.49
55	33.8	3.44	12.75	0.27
50	33.53	2.06	11.99	0.17
45	33.76	2.54	12.7	0.20
40	28.51	2.19	10.30	0.21

Çizelge 5.4’de görüldüğü gibi, kurutma kabini içinde kurutulmuş olan ürünlerde sıcaklık yükseldikçe yeşil renk kaybı azalmakta, ancak sararma artmaktadır. Yani sıcaklık yükseldikçe, yeşillik/sarıklık (-a/b) oranı azalmaktadır. Örneğin bu oran 40°C ‘de -0.21 iken, 70°C’ de -0.51 olur. Sıcaklık yükseldikçe, parlaklık (L) değeri de artmaktadır. Bu değer 40°C ‘de 28.51 iken, 70°C’ de 36.6 bulunmuştur. Genellikle istenilen yüksek L ve düşük -a/b oranıdır. Bu durumda kurutma kabini içinde yüksek sıcaklıklarda çalışmak, hem parlaklığın korunması hem de renk kalitesi açısından avantajlıdır.

Mikrodalga tüneline kurutulmuş ürünlerin renk analiz sonuçları ise Çizelge 5.5’ de verilmiştir. Buradan da görüldüğü gibi, bu ürünlerde sıcaklık yükseldikçe, yeşillik/sarıklık (-a/b) oranı azalmaktadır. Örneğin 70°C’ de bu oran -0.61 iken, 40°C ‘de -0.27 bulunmuştur. Parlaklık (L) değerinin ise, sıcaklığın değişmesi ile pek fazla değişmediği saptanmıştır. Örneğin, bu değer 60°C’ de 39.19 iken, 40°C’ de 38.97 ölçülmüştür.

Bu durumda, mikrodalga tüneline de, yüksek sıcaklıklarda kurutma yapılırsa, hem parlak hem de renk kalitesi yüksek ürün elde edilmiş olur.

Çizelge 5.5 Mikrodalgalı kurutucuda kurutulmuş maydanozların renk analiz sonuçları

T (°C)	L	-a	+b	- a/b
70	35.4	8.43	13.88	0.61
60	39.19	7.51	14.98	0.50
55	35.29	8.51	13.21	0.64
50	37.84	4.87	13.63	0.36
45	39.01	4.78	13.97	0.34
40	38.97	4.00	15.08	0.27

Gıdaların üretimi ve ticaretinde önemli bir kalite kriteri olan renk analizleri sonucunda, hem kurutma kabini hem de mikrodalga tüneline yüksek sıcaklıklarda çalışmanın, parlaklık ve renk kalitesinin korunması açısından avantajlı olduğu tespit edilmiştir.

Ancak, kurutma kabini kurutulmuş olan ürünlerle mikrodalga tüneline kurutulmuş olan ürünleri renk kalitesi açısından kıyaslırsak (55 ve 45°C), kurutma kabini kurutulmuş olan ürünlerin L (parlaklıktan koyuluğa gidiş) değerlerinin daha düşük, -a (yeşillığe gidiş) değerlerinin daha yüksek, +b (sarılığa gidiş) değerlerinin daha düşük ve -a/b oranının ise daha yüksek olduğunu görürüz. Yani, mikrodalga tüneline kurutulmuş olan ürünler daha parlak ve daha yeşildir, ancak bunların sararma oranı daha yüksektir. Genellikle yüksek L ve düşük -a/b oranı tercih edildiğinden, mikrodalga tüneline gerçekleştirilen kurutma işlemleri renk kalitesinin korunması açısından daha iyi sonuçlar vermektedir.

### 5.1.2 Korelasyon katsayılarının hesaplanması

Teorik olan Page ve Exponential denklemleri uygulanarak bulunan korelasyon katsayıları ( $r^2$ ) Çizelge 5.6' da verilmiştir.

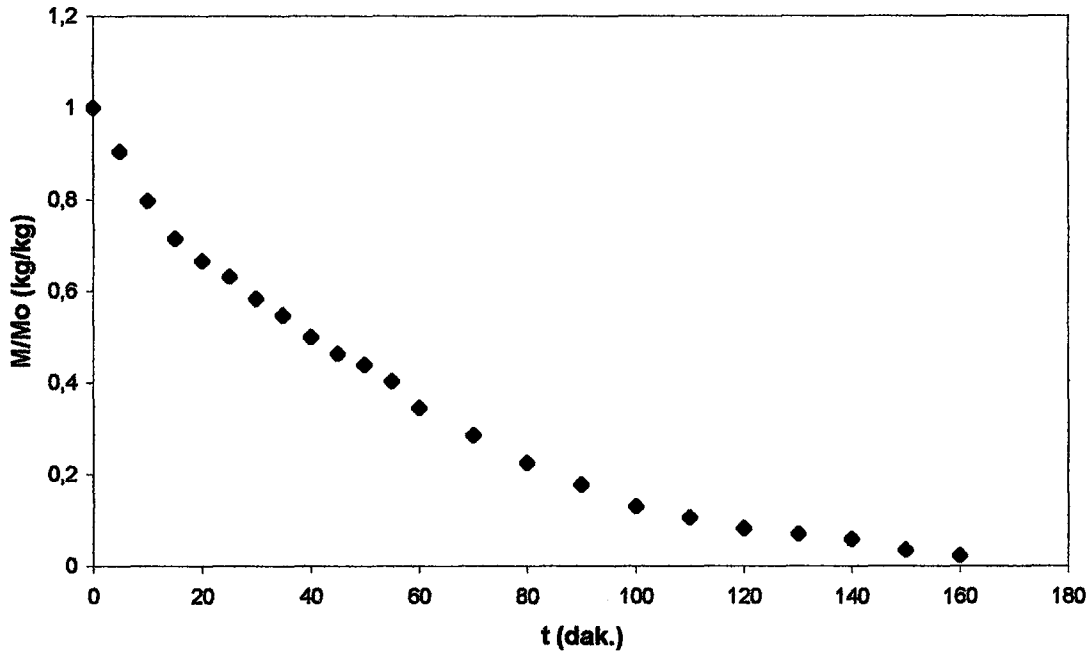
Page Denklemi :  $M/M_0 = \exp(-x t^n)$

Exponential Denklem :  $M/M_0 = a \exp(-b t)$

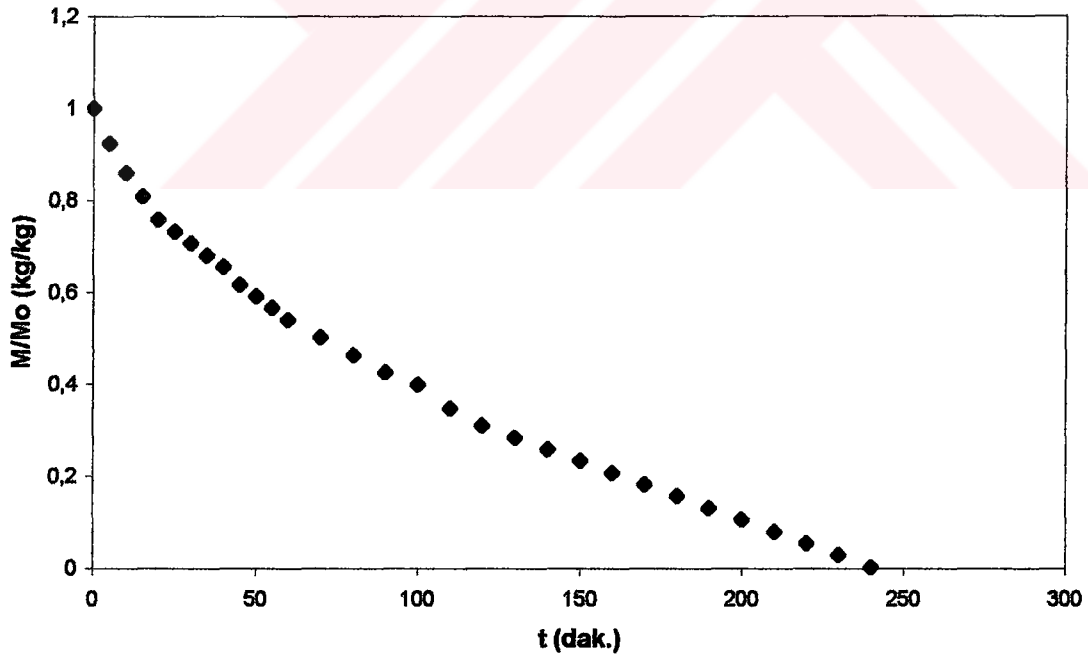
Çizelge 5.6 Matematiksel modeller kullanılarak hesaplanmış korelasyon katsayıları

Sıcaklık (°C)	$r^2$ ( Page )	$r^2$ ( Exp. )
70	0.9869	0.9833
60	0.9754	0.9765
55	0.9822	0.9597
50	0.9907	0.9479
45	0.9790	0.9195
40	0.9746	0.9300

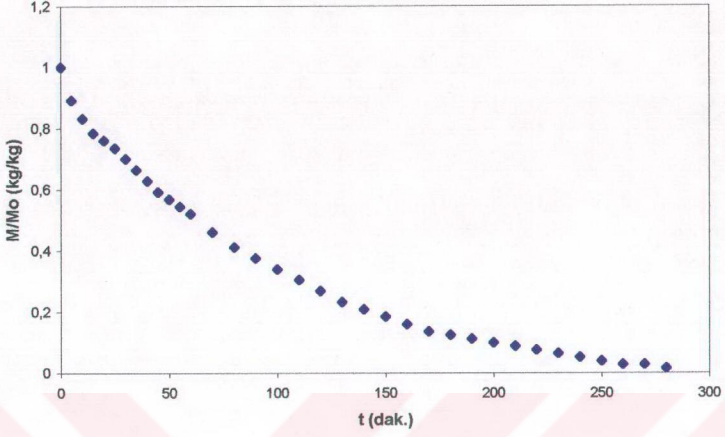
Çizelge 5.6'da görüldüğü gibi Page denklemi uygulanarak bulunan  $r^2$  değerleri Exponential denklem uygulanarak bulunan değerlerden daha yüksektir. Ancak bu fark çok fazla değildir. Teorik modeller ile elde edilen değerlerle deneysel sonuçlarda uyum göstermektedir. Kurutma denemelerinden elde edilen verilerden yararlanarak deneysel değerler ile teorik Page ve Exponential denklemlerden hesaplanan nem içeriğinin kuruma süresi ile değişimi Şekil 5.8, 5.9, 5.10, 5.11, 5.12 ve 5.13' de verilmektedir.



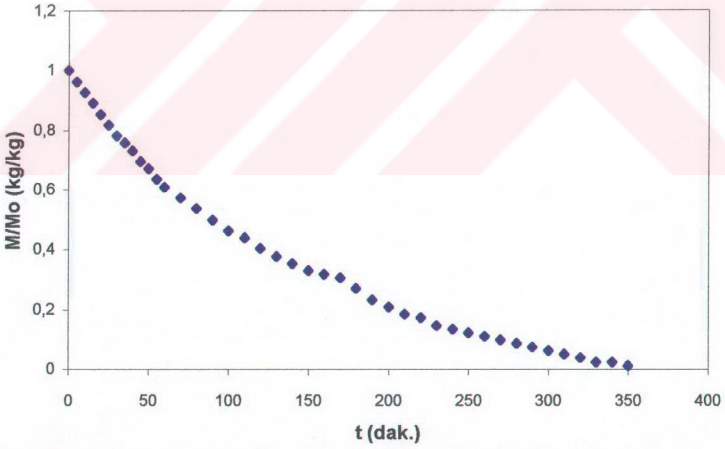
Şekil 5.1 Maydanozun 70°C' de kuruma eğrisi



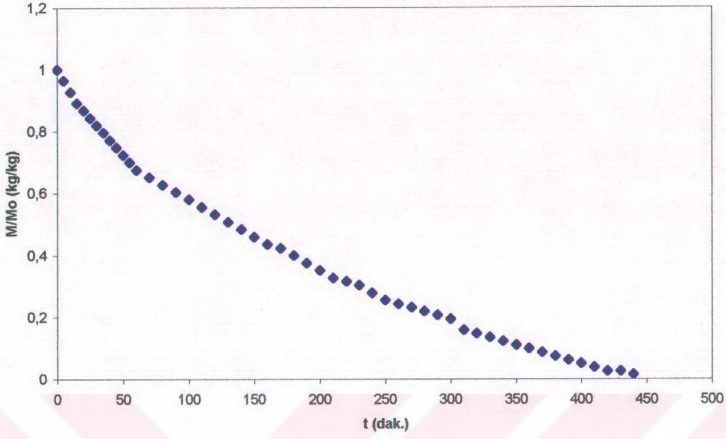
Şekil 5.2 Maydanozun 60°C' de kuruma eğrisi



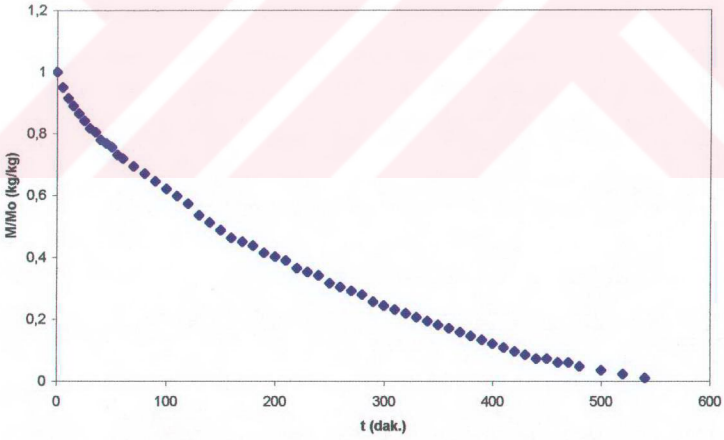
Şekil 5.3 Maydanozun 55°C' de kuruma eğrisi



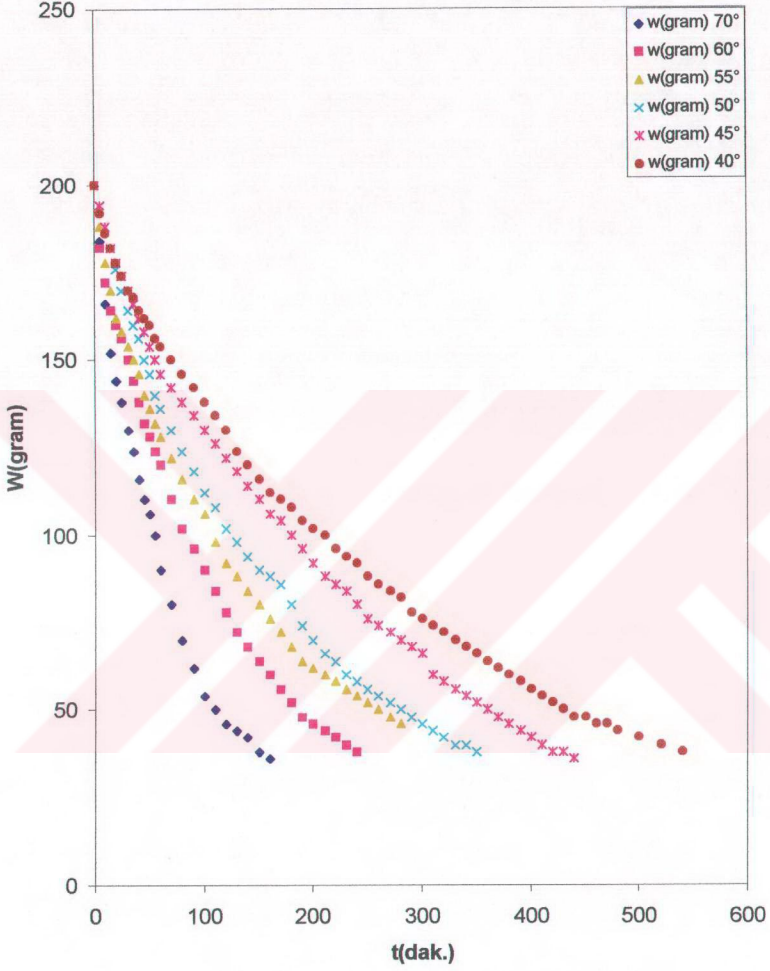
Şekil 5.4 Maydanozun 50°C' de kuruma eğrisi



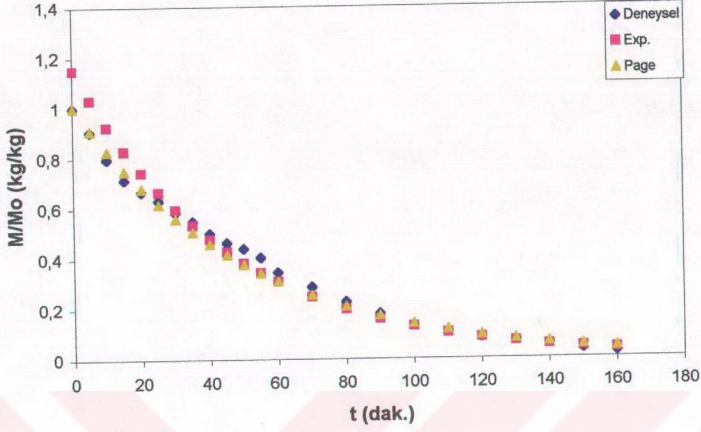
Şekil 5.5. Maydanozun 45°C' de kuruma eğrisi



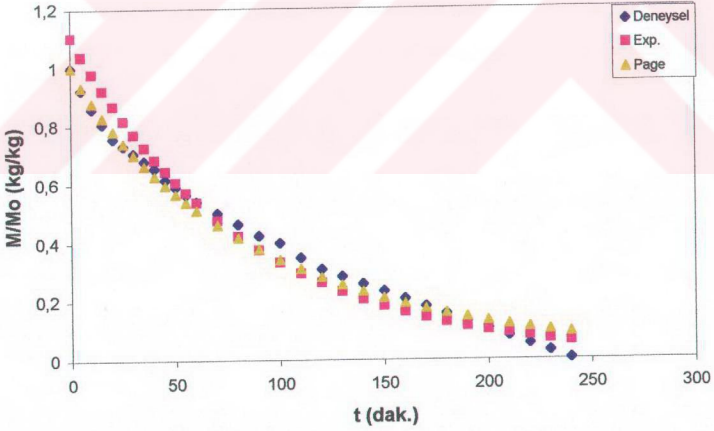
Şekil 5.6. Maydanozun 40°C' de kuruma eğrisi



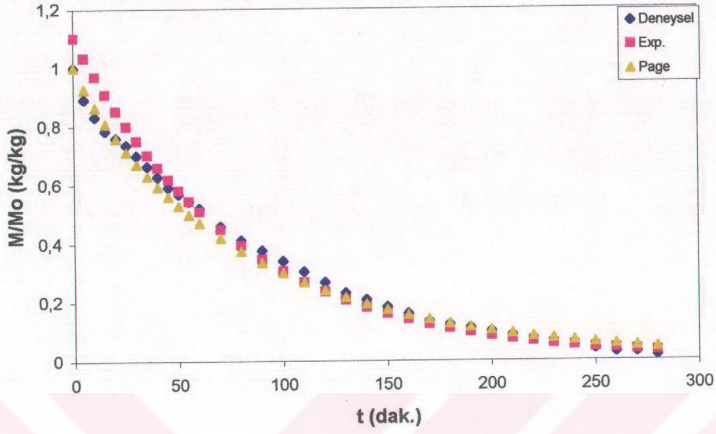
Şekil 5.7 Değişik sıcaklıklarda kurutulmuş maydanozların kuruma eğrileri



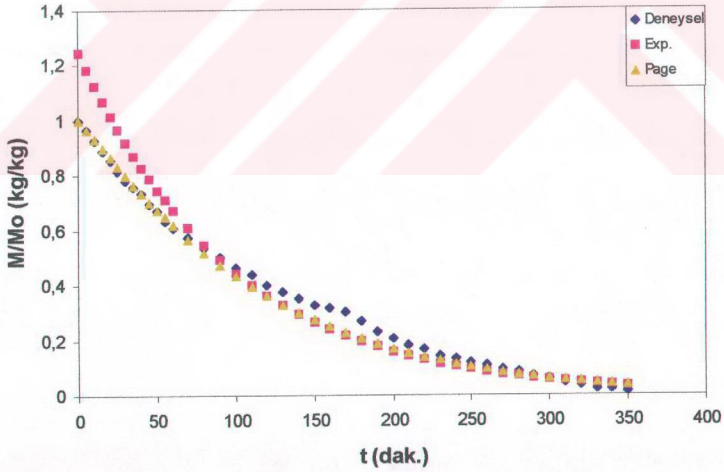
Şekil 5.8 70°C' de kurutulmuş maydanozun nem içeriğinin zamanla değişimi



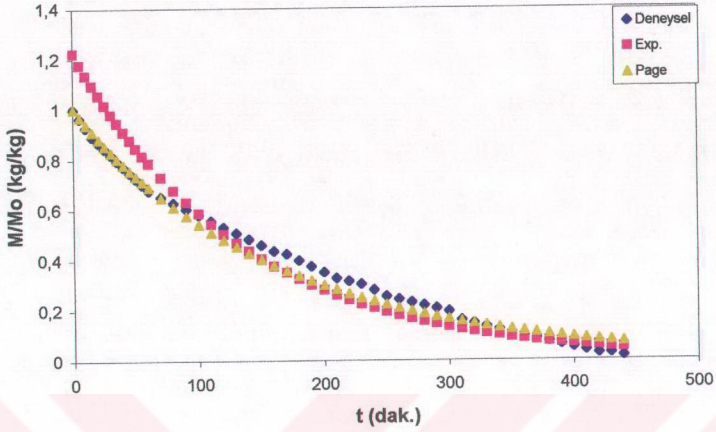
Şekil 5.9 60°C' de kurutulmuş maydanozun nem içeriğinin zamanla değişimi



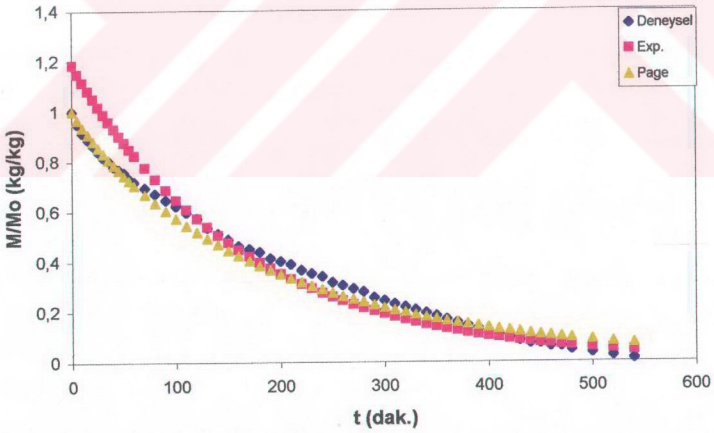
Şekil 5.10  $55^\circ\text{C}$ ' de kurutulmuş maydanozun nem içeriğinin zamanla değişimi



Şekil 5.11  $50^\circ\text{C}$ ' de kurutulmuş maydanozun nem içeriğinin zamanla değişimi



Şekil 5.12  $45^\circ\text{C}$ ' de kurutulmuş maydanozun nem içeriğinin zamanla değişimi



Şekil 5.13  $40^\circ\text{C}$ ' de kurutulmuş maydanozun nem içeriğinin zamanla değişimi

### 5.1.3 Maydanoz kurutma sonuçlarının değerlendirilmesi

1) Kurutma denemelerinde ilk aşamada, maydanozlara kurutma öncesi ısı şoku ve haşlama uygulanarak kurutma yapılmıştır. Böylelikle, kurutulan sebzelerde ısıl işlemlerin kaliteye etkilerinin incelenmesi amaçlanmıştır. Ancak, bu uygulamadan iyi sonuç alınamamış, kurutma öncesi uygulanan ısıl işlemler, maydanozlarda renk değişimine neden olmuş ve beklenen kaliteye ulaşılammıştır. Böylece maydanozların enzim aktivitesinin yüksek olmadığı ve bu tür sebzelere kurutma öncesi enzim inaktivasyonuna yönelik olarak, haşlama gibi herhangi bir ısıl işlemin uygulanmasına gerek olmadığı sonucuna varılmaktadır.

2) Gerek kurutma kabinde, gerekse mikrodalga tüneline gerçekleştirilmiş olan denemelerde, kurutma sıcaklığı yükseldikçe kuruma süresinin azaldığı görülmektedir. Örneğin, kurutma kabinde 40°C 'de kurutulan maydanoz 540 dakikada kururken, 70°C 'de kurutma 160 dakika sürmektedir. Yani 30°C 'lik bir sıcaklık artışı kuruma süresinde %237.5 oranında kısalma sağlamaktadır (Çizelge 5.1).

Mikrodalga tüneline de aynı şekilde, sıcaklık yükseldikçe kuruma süresi azalmaktadır. Örneğin, 40°C 'de kuruma 80 dakika sürerken, 70°C 'de 25 dakika sürmektedir. Yani mikrodalga tüneline de 30°C' lik bir sıcaklık artışıyla kuruma süresinde %220 azalma gerçekleştirilmiş olmaktadır (Çizelge 5.2).

Kurutma denemeleri sonunda kurumanın, mikrodalga tüneline kurutma kabine oranla çok daha kısa sürede gerçekleştiği anlaşılmıştır. Örneğin 55°C 'de maydanoz, kurutma kabinde 280 dakika kururken, mikrodalga tüneline 35 dakikada kurumaktadır. Yani bu sıcaklıkta mikrodalga tüneli kuruma süresinin %700 kısalmasını sağlamaktadır (Çizelge 5.3).

3) Kurutulmuş maydanozlarda yapılan renk ölçümleri sonucunda, kurutma kabinde kurutulmuş olan ürünlerde sıcaklık yükseldikçe yeşil renk kaybının azaldığı, ancak sararmanın arttığı saptanmıştır. Yani sıcaklık yükseldikçe yeşillik/sarıklık (-a/b) oranı azalmaktadır. Sıcaklık yükseldikçe, parlaklık (L) değeri de artmaktadır. Genellikle

istenilen yüksek L ve düşük  $-a/b$  oranıdır. Bu durumda kurutma kabiniinde yüksek sıcaklıklarda çalışmak, hem parlaklığın korunması hem de renk kalitesi açısından avantajlıdır (Çizelge 5.4).

Mikrodalga tüneline kurutulmuş maydanozlarda yapılan renk ölçümleri sonucunda ise, sıcaklık yükseldikçe yeşillik/sarıklık ( $-a/b$ ) oranının azaldığı, parlaklık (L) değerinin ise, sıcaklık değişimi ile pek fazla değişmediği saptanmıştır. Bu durumda mikrodalga tüneline de, yüksek sıcaklıklarda kurutma yapılırsa, hem parlak hem de renk kalitesi yüksek ürün elde edilmiş olur (Çizelge 5.5).

Gıdaların üretimi ve ticaretinde önemli bir kalite kriteri olan renk analizleri sonucunda, hem kurutma kabiniinde hem de mikrodalga tüneline yüksek sıcaklıklarda çalışmanın, parlaklık ve renk kalitesinin korunması açısından avantajlı olduğu tespit edilmiştir.

Ancak, kurutma kabiniinde kurutulmuş olan ürünlerle mikrodalga tüneline kurutulmuş olan ürünleri renk kalitesi açısından kıyaslırsak, kurutma kabiniinde kurutulmuş olan ürünlerin L (parlaklıktan koyuluğa gidiş) değerlerinin daha düşük,  $-a$  (yeşillığe gidiş) değerlerinin daha yüksek,  $+b$  (sarılığa gidiş) değerlerinin daha düşük ve  $-a/b$  oranının ise daha yüksek olduğunu görürüz. Yani, mikrodalga tüneline kurutulmuş olan ürünler daha parlak ve daha yeşildir, ancak bunların sararma oranı daha yüksektir. Genellikle yüksek L ve düşük  $-a/b$  oranı tercih edildiğinden, mikrodalga tüneline gerçekleştirilen kurutma işlemleri renk kalitesinin korunması açısından daha iyi sonuçlar vermektedir.

**4)** Kurutma kabiniinde, belirli zaman aralıklarında ağırlık ölçümleri yapılabildiğinden, deneysel verilerden yararlanarak nem içeriği ile kuruma süresi arasında bir ilişki kurulabilmektedir. Bu amaçla, bütün denemeler için Page ve Exponential denklemleri uygulanarak korelasyon katsayıları hesaplanmıştır. Sonuçta, Page denklemi uygulanarak bulunan  $r^2$  değerlerinin Exponential denklem uygulanarak bulunanlardan daha yüksek olduğu görülmüştür (Çizelge 5.6). Teorik modeller ile elde edilen değerlerle deneysel sonuçlarda uyum içerisinde olduğu saptanmıştır ( Şekil 5.8, 5.9, 5.10, 5.11, 5.12 ve 5.13).

## 5.2 Dereotu Kurutma İşlemi ve Kuruma Karakteristiklerinin Belirlenmesi

Kurutma kabiniinde gerçekleştirilen dereotu kurutma denemeleri sırasında elde edilen, kuruma süreleri ile taze ve kuru üründeki nem içerik değerleri kullanılarak Çizelge 5.7 oluşturulmuştur. Bu çizelgedeki değerlerden yararlanılarak da, dereotunun nem içeriğinin zamanla değişimini gösteren kuruma eğrileri çizilmiştir. Şekil 5.14, 5.15, 5.16, 5.17, 5.18, 5.19 ve 5.20' de bu eğriler gösterilmektedir.

Çizelge 5.7 Kurutma kabiniinde gerçekleştirilen dereotu kurutma denemelerine ait kuruma süreleri, taze ve kuru üründeki nem miktarları

Sıcaklık (°C)	Kurutma Süresi (dak.)	Nem (%) Taze	Nem (%) Kuru
70	220	87.66	6.41
60	320	85.72	6.40
55	320	81.98	6.42
50	340	83.30	6.45
45	430	82.40	6.44
40	660	81.52	6.46

Çizelge 5.7 incelendiğinde, kurutma kabiniinde yapılan denemelerde, sıcaklık yükseldikçe kuruma süresinin azaldığı görülmektedir. Örneğin, kurutma işlemi 60°C' de 320 dakikada gerçekleştirilirken, 70°C' de 220 dakika sürmektedir. Yani kurutma kabiniinde 10°C' lik bir sıcaklık artışıyla kuruma süresi %45 kısalmaktadır.

Mikrodalga tünelineinde gerçekleştirilen dereotu kurutma denemelerin kuruma süreleri, taze ve kuru üründeki nem içerik değerleri ise Çizelge 5.8' de görülmektedir. Burada denemeler, her sıcaklıkta aynı örnekle gerçekleştirildiğinden taze üründeki nem miktarları tüm denemeler için aynıdır.

Mikrodalga tünelineinde yapılan denemelerde, ağırlık ölçümleri yalnızca denemelerin başlangıcında ve sonunda alınabildiğinden, bunların kuruma eğrileri çizilememiştir.

Çizelge 5.8 Mikrodalga tüneline gerçekleştirilen dereotu kurutma denemelerine ait kuruma süreleri, taze ve kuru ürünlerdeki nem miktarları

Sıcaklık (°C)	Kurutma Süresi (dak.)	Nem(%) Taze	Nem(%) Kuru
70	25	83.94	6.26
60	30	83.94	6.61
55	35	83.94	5.84
50	40	83.94	4.68
45	45	83.94	7.33
40	80	83.94	7.00

Çizelge 5.8’de görüldüğü gibi, mikrodalga tüneline de sıcaklık yükseldikçe kuruma süresi azalmaktadır. Örneğin, 60°C’ de kurutma işlemi 30 dakikada gerçekleştirilirken, 70°C’ de 25 dakika sürmektedir. Yani mikrodalga tüneline 10°C’ lik bir sıcaklık artışıyla kuruma süresi % 20 kazanç kısalmaktadır.

Kurutma işlemi sırasında mikrodalga tüneli, zamandan çok büyük oranda tasarruf sağlamaktadır. Örneğin, 70 ve 60°C sıcaklıklarda, mikrodalga tüneline ve kurutma kabininde gerçekleştirilen kurutma denemelerini karşılaştırsak, mikrodalga tüneline kurutma süresinin kurutma kabinine oranla, 70°C’ de % 780, 60°C’ de ise % 967 kısa olduğu görülmektedir. Çizelge 5.9’ da bu karşılaştırma verilmektedir.

Çizelge 5.9 Kurutma kabininde yapılan kurutma denemeleri ile mikrodalga tüneline yapılan denemelerin karşılaştırılması

Sıcaklık (°C)	Kurutma Kabininde		Mikrodalga Tüneline	
	Kurutma süresi (dak.)	Nem (%) Kuru	Kurutma süresi (dak.)	Nem (%) Kuru
70	220	6.41	25	6.26
60	320	6.40	30	6.61

### 5.2.1 Renk analizi

Gıdalarda en önemli kalite kriterlerinden biri de renktir. Çizelge 5.10 ve 5.11’ de kurutma kabini ve mikrodalga tüneline, değişik sıcaklıklarda kurutulmuş olan dereotlarında yapılan renk analiz sonuçları verilmiştir. Renk ölçümleri Hunter Lab Color D 25 D2P modeli ile yapılmıştır. Ölçümler 5 farklı noktada tekrarlanmış ve elde edilen değerlerin ortalaması alınmıştır. Böylelikle bulunan ortalama L, -a ve +b değerleriyle de Hunter Lab skalasına göre kuru ürünün renk değerlendirilmesi yapılmıştır. Burada “L” parlaklıktan koyuluğa, “-a” yeşillığe, ve “+b” sarılığa gidişi göstermektedir.

Çizelge 5.10 Kabin kurutucuda kurutulmuş dereotlarının renk analiz sonuçları

T(°C)	L	-a	+b	-a/b
70	29	3.35	9.99	0.33
60	33.36	4.91	12.02	0.41
55	32.1	4.65	11.42	0.41
50	31.73	3.51	9.56	0.37
45	30.65	3.14	8.46	0.37
40	29.42	3.14	9.52	0.33

Çizelge 5.10’ da görüldüğü gibi, kurutma kabini içinde kurutulmuş olan ürünlerde genel olarak sıcaklık yükseldikçe yeşil renk kaybı azalmakta, sararma artmaktadır. Yani sıcaklık yükseldikçe, yeşillik/sarıklık (-a/b) oranı azalmaktadır. Örneğin bu oran 40°C’ de -0.33 iken, 60°C’ de -0.41 olur. Sıcaklık yükseldikçe, parlaklık (L) değeri de artmaktadır. Bu değer 40°C’ de 29.42 iken, 60°C’ de 33.36 bulunmuştur. Ancak, 70°C’ de kurutulmuş olan ürünlerin renk analiz sonuçları bu genellemeye uymamaktadır. Kurutma denemeleri sırasında uygulanmış olan en yüksek sıcaklık olmasına rağmen, bu sıcaklıkta kurutulmuş olan ürünlerin renk ölçümleri sonunda en düşük L ve en yüksek -a/b oranı elde edilmiştir. Böylelikle, 70°C sıcaklıkta gerçekleştirilen kurutma işleminin kuru ürünün renk kalitesini, olumsuz etkilediği anlaşılmaktadır. Genellikle istenen yüksek L ve düşük -a/b oranıdır. Bu durumda kurutma kabini içinde yüksek sıcaklıklarda (< 70°C) çalışmak, hem parlaklığın korunması hem de renk kalitesi açısından avantajlıdır.

Mikrodalga tüneline kurutulmuş ürünlerin renk analiz sonuçları ise Çizelge 5.11' de verilmiştir. Burada da, genellikle, sıcaklık yükseldikçe yeşillik kaybı azalmakta, sararma artmakta,  $-a/b$  oranı ise azalmaktadır. Örneğin bu oran  $40^{\circ}\text{C}$ ' de  $-0.09$  iken,  $60^{\circ}\text{C}$ ' de  $-0.54$  bulunmuştur. Mikrodalga tüneline sıcaklığın yükselmesi ile parlaklık, yani L değeri de artmaktadır. Örneğin bu değer  $40^{\circ}\text{C}$ ' de 29.94 iken,  $60^{\circ}\text{C}$ ' de 33.78 bulunmuştur. Ancak, mikrodalga tüneline de, tıpkı kurutma kabininde olduğu gibi  $70^{\circ}\text{C}$ ' de yapılmış olan denemelerin sonuçları genellemeye uymamaktadır. Bu da  $70^{\circ}\text{C}$  sıcaklığın dereotu kurutma işlemi için yüksek olduğunu bir kez daha göstermektedir. Bu durumda , genellikle istenilen yüksek L ve düşük  $-a/b$  olduğuna göre, mikrodalga tüneline de yüksek sıcaklıklarda ( $<70^{\circ}\text{C}$ ) kurutma yapılırsa, hem parlak hem de renk kalitesi yüksek ürün elde edilmiş olur.

Çizelge 5.11. Mikrodalgalı kurutucuda kurutulmuş dereotlarının renk analiz sonuçları

T( $^{\circ}\text{C}$ )	L	-a	+b	-a/b
70	29.86	4.72	9.45	0.49
60	33.78	5.98	11.14	0.54
55	32.64	3.97	10.15	0.39
50	30.48	1.64	9.81	0.17
45	34.22	1.53	11.1	0.14
40	29.94	0.82	8.92	0.09

Sonuç olarak, gerek kurutma kabininde, gerekse mikrodalga tüneline yüksek sıcaklıklarda ( $<70^{\circ}\text{C}$ ) çalışmak hem parlaklığın, hem de renk kalitesinin korunması açısından avantajlıdır. Ancak, kurutma kabininde kurutulmuş olan ürünlerle mikrodalga tüneline kurutulmuş olan ürünleri kıyaslırsak, genel olarak, kurutma kabininde kurutulmuş olan ürünlerin L (parlaklıktan koyuluğa gidiş) ve -a (yeşillığe gidiş) değerlerinin daha düşük, +b (sarıluğa gidiş) değerlerinin daha yüksek ve  $-a/b$  oranının ise daha düşük olduğunu görürüz. Yani, mikrodalga tüneline kurutulmuş olan ürünler daha parlaktır, ancak bunlarda yeşil renk kaybı fazla, sararma ise daha azdır.

### 5.2.1 Korelasyon katsayılarının hesaplanması

Nem içeriği ile kuruma süresi arasında bir ilişki kurabilmek amacıyla, kurutma denemelerinden elde edilen verilerden yararlanılarak, teorik olan Page ve Exponential denklemleri uygulanarak korelasyon katsayıları ( $r^2$ ) hesaplanmıştır (Çizelge 5.12).

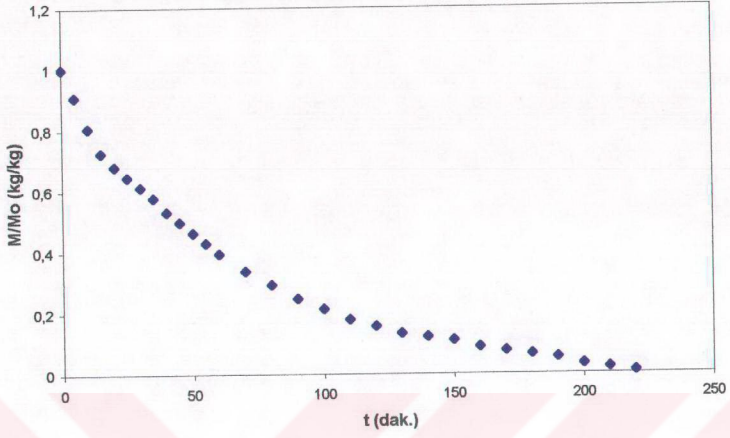
Çizelge 5.12. Matematiksel modeller kullanılarak hesaplanmış korelasyon katsayıları

Sıcaklık (°C)	$r^2$ (Page)	$r^2$ (Exp.)
70	0.9870	0.9502
60	0.9858	0.9272
55	0.9781	0.9486
50	0.9859	0.9727
45	0.9534	0.9271
40	0.9753	0.927

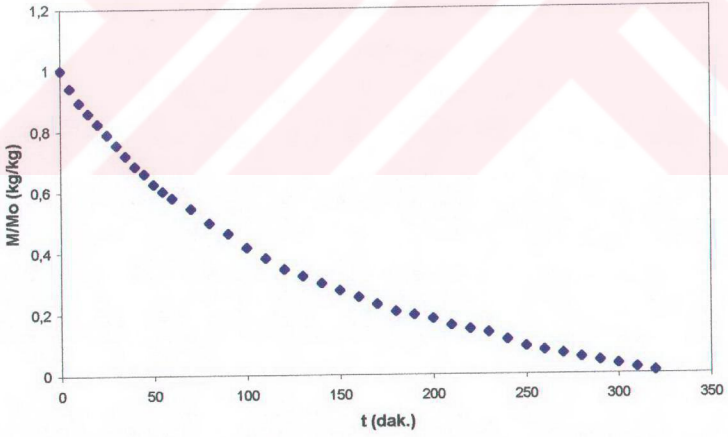
Page Denklemi :  $M/M_0 = \exp. (-x t^n)$

Exponential Denklem :  $M/M_0 = a \exp (-b t)$

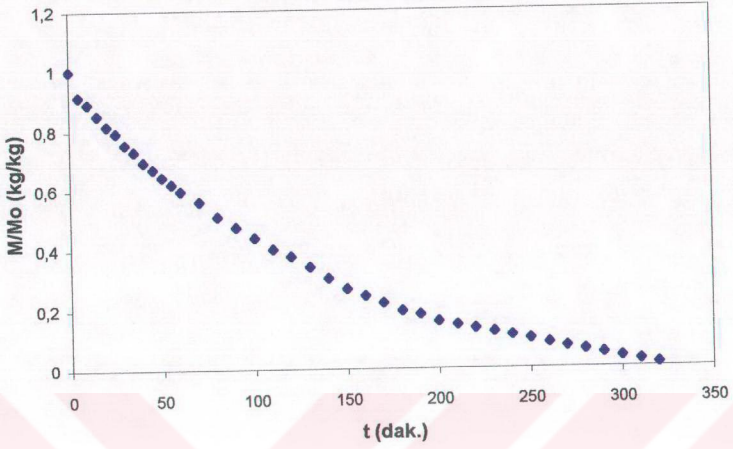
Çizelge 5.12' de görüldüğü gibi Page denklemi uygulanarak bulunan  $r^2$  değerleri Exponential denklem uygulanarak bulunan değerlerden daha yüksektir. Ancak bu fark çok fazla değildir. Teorik modeller ile elde edilen değerlerle deneysel sonuçlarda uyum göstermektedir. Kurutma denemelerinden elde edilen verilerden yararlanarak deneysel değerler ile teorik Page ve Exponential denklemlerden hesaplanan nem içeriğinin kuruma süresi ile değişimi Şekil 5.21, 5.22, 5.23, 5.24, 5.25 ve 5.26' da verilmektedir.



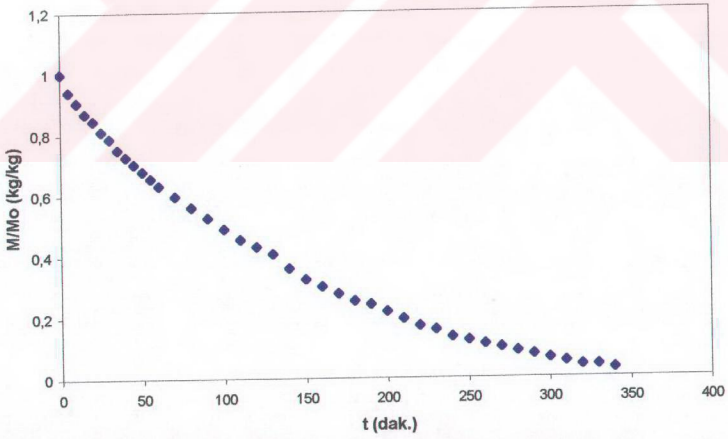
Şekil 5.14. Dereotunun 70°C' de kuruma eğrisi



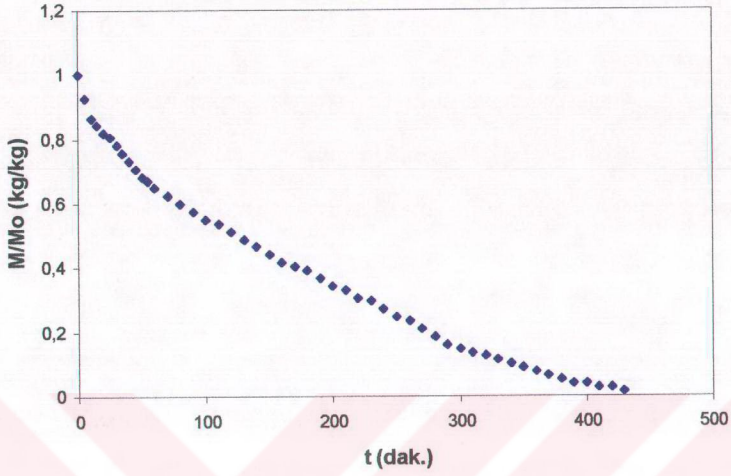
Şekil 5.15. Dereotunun 60°C' de kuruma eğrisi



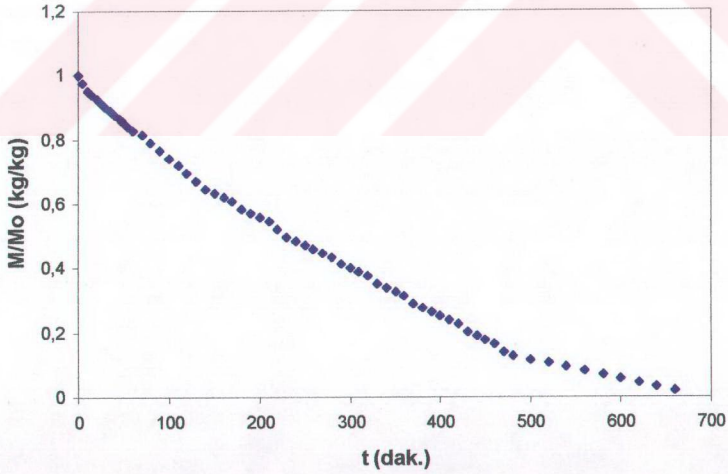
Şekil 5.16. Dereotunun 55°C' de kuruma eğrisi



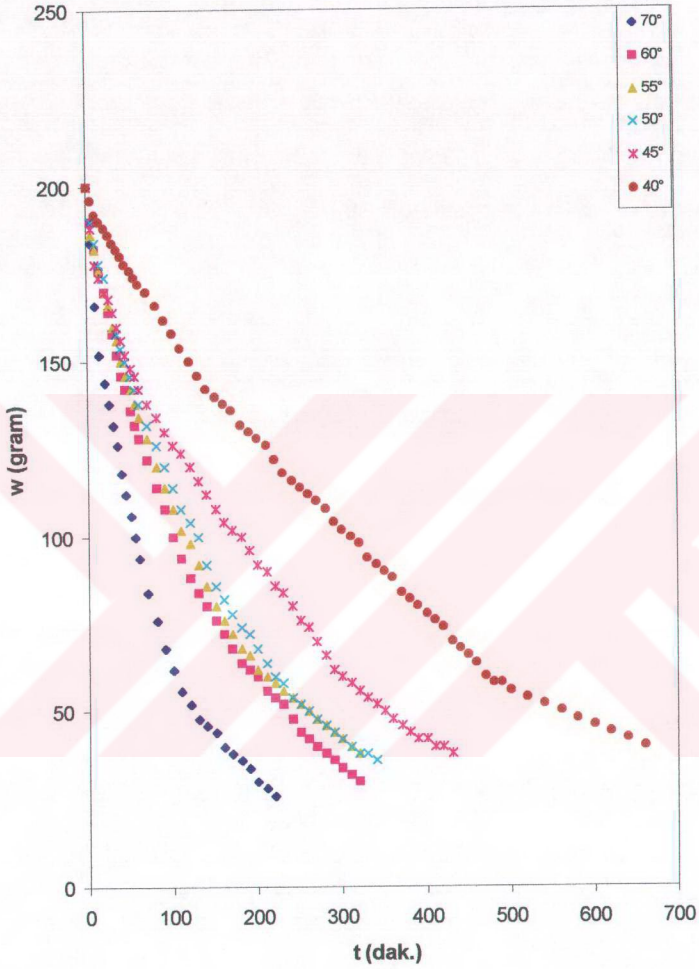
Şekil 5.17. Dereotunun 50°C' de kuruma eğrisi



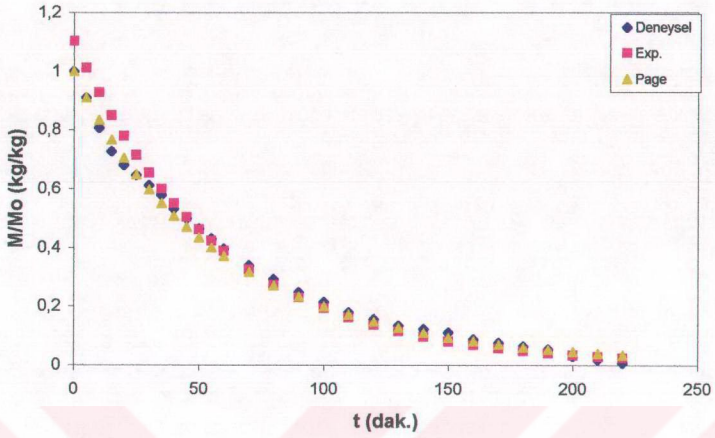
Şekil 5.18. Dereotunun  $45^{\circ}\text{C}$ ' de kuruma eğrisi



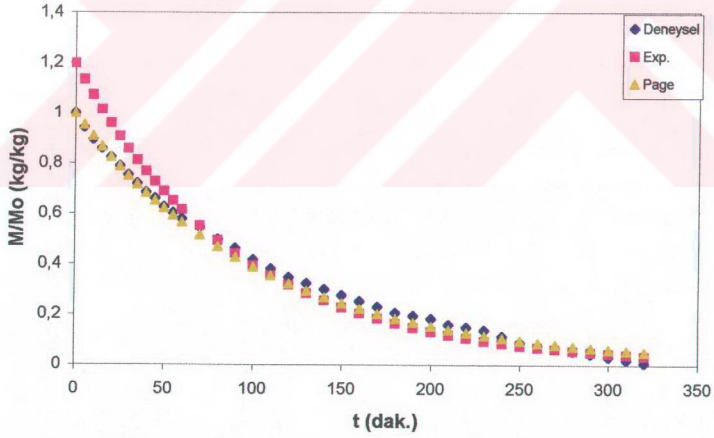
Şekil 5.19. Dereotunun  $40^{\circ}\text{C}$ ' de kuruma eğrisi



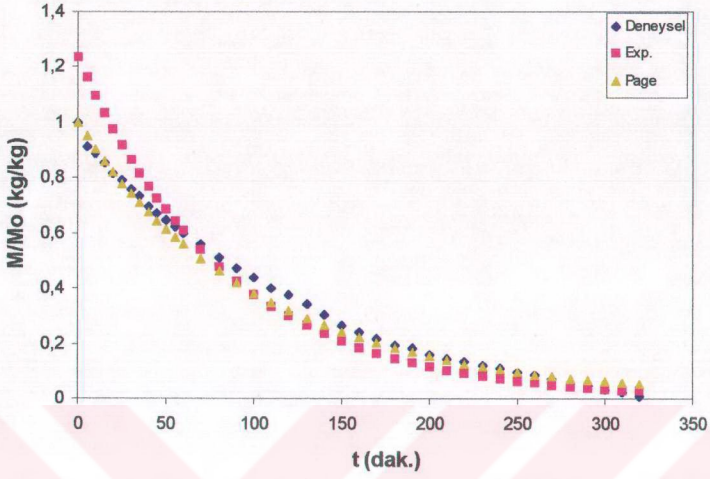
Şekil 5.20 Değişik sıcaklıklarda kurutulmuş dereotlarının kuruma eğrileri



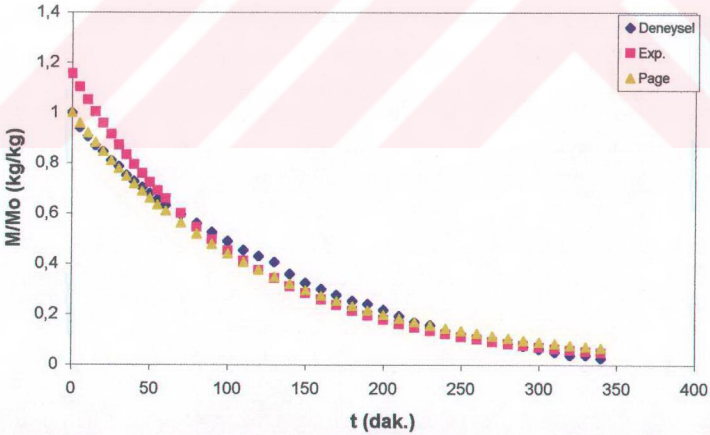
Şekil 5.21  $70^\circ\text{C}$ ' de kurutulmuş dereotunun nem içeriğinin zamanla değişimi



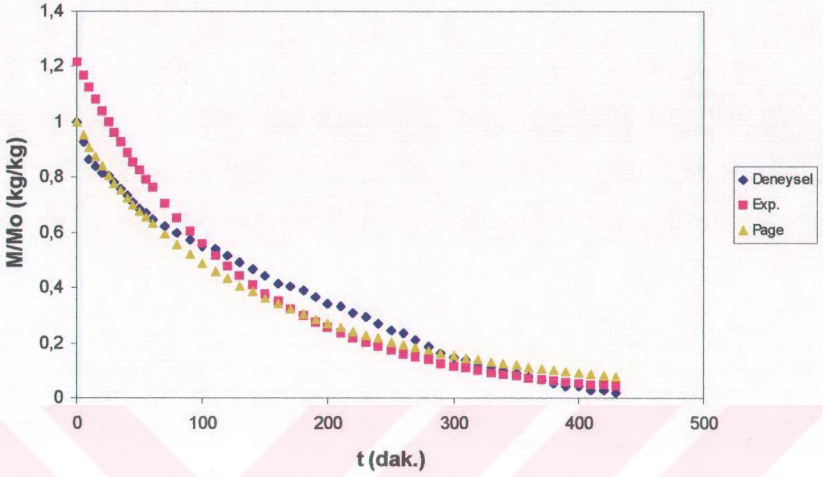
Şekil 5.22  $60^\circ\text{C}$ ' de kurutulmuş dereotunun nem içeriğinin zamanla değişimi



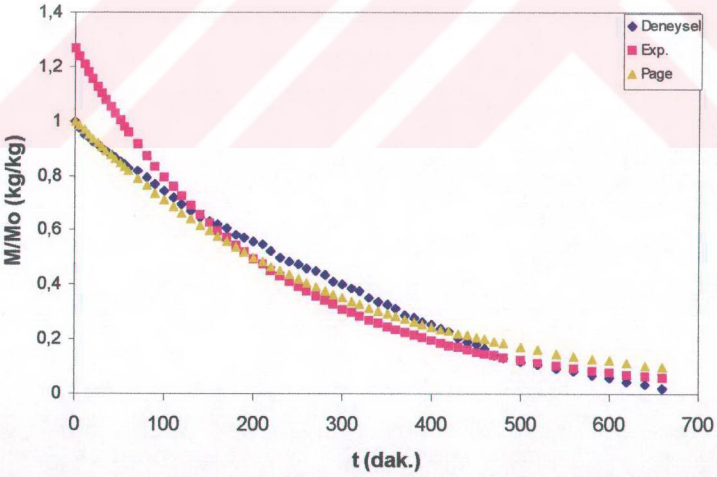
Şekil 5.23  $55^\circ\text{C}$ ' de kurutulmuş dereotunun nem içeriğinin zamanla değişimi



Şekil 5.24  $50^\circ\text{C}$ ' de kurutulmuş dereotunun nem içeriğinin zamanla değişimi



Şekil 5.25  $45^\circ\text{C}$ ' de kurutulmuş dereotunun nem içeriğinin zamanla değişimi



Şekil 5.26  $40^\circ\text{C}$ ' de kurutulmuş dereotunun nem içeriğinin zamanla değişimi

### 5.2.2 Dereotu kurutma sonuçlarının değerlendirilmesi

1) Kurutma öncesi uygulanan ısı şoku ve haşlama gibi ısı işlemleri, sebzelerde bulunan enzimlerin inaktive edilmesi gerekli olmaktadır. Böylece, kurutulan sebzelerde olumsuz kalite değişimleri önlenmektedir. Bu ısısal işlemlerin kaliteye etkilerini incelemek amacıyla, kurutma öncesi dereotlarına ısı şoku ve haşlama uygulanarak kurutma yapılmıştır. Ancak, bu uygulamadan iyi sonuç alınmamış, kurutma öncesi uygulanan ısısal işlemler, dereotlarında renk değişimine neden olmuş ve beklenen kaliteye ulaşamamıştır. Böylelikle dereotlarına, enzim inaktivasyonu amacıyla, kurutma öncesi herhangi bir ısısal işlem uygulanmasının gerekli olmadığı anlaşılmakta ve dereotunun enzim aktivitesinin yüksek olmadığı kanaatına varılmaktadır.

2) Kurutma kabini ve mikrodalga tüneline, 70, 60, 55, 50, 45 ve 40°C sıcaklıklarda gerçekleştirilmiş olan dereotu kurutma denemelerinin kuruma süreleri ile, taze ve kuru ürünlerdeki nem içerik değerleri incelendiğinde, her ikisinde de, sıcaklık yükseldikçe kuruma süresinin azaldığı görülmektedir. Örneğin, kurutma kabini kurutma işlemi 60°C’ de 320 dakikada gerçekleştirilirken, 70°C’ de 220 dakika sürmektedir. Bu durumda kurutma kabini 10°C’ lik bir sıcaklık artışı kuruma süresinin %45 kısılmasını sağlamaktadır.

Mikrodalga tüneline ise örneğin, 60°C’ de kurutma işlemi 30 dakikada gerçekleştirilirken, 70°C’ de 25 dakika sürmektedir. Bu durumda mikrodalga tüneline 10°C’ lik bir sıcaklık artışıyla kuruma süresinde % 20 azalma gerçekleştirilmiş olmaktadır.

Kurutma kabini gerçekleştirilmiş olan kurutma denemeleri ile mikrodalga tüneline gerçekleştirilmiş olan denemeleri zaman bakımından kıyaslırsak, aynı sıcaklıklarda mikrodalga tüneline kurutma işleminin çok daha kısa sürede gerçekleştirildiğini görürüz. Örneğin 70°C’ de dereotu kurutma kabini 220 dakikada kururken, mikrodalga tüneline 25 dakikada kurumaktadır (Çizelge 5.9). Bu da bize, bu sıcaklıkta mikrodalga tüneline kuruma süresinin % 780 kısaldığını göstermektedir.

3) Gıdalarda en önemli kalite kriterlerinden biri de renktir. Kurutulmuş dereotlarında yapılan renk ölçümleri sonucunda, kurutma kabiniinde kurutulmuş ürünlerde sıcaklık yükseldikçe, yeşillik/sarılık (-a/b) oranının azalmakta., parlaklık (L) değerinin ise artmakta olduğu tespit edilmiştir. Ancak 70°C' de yapılan denemelerin sonuçlarının bu genellemeye uymadığı görülmüş ve bu sıcaklıkta gerçekleştirilen kurutma işleminin kuru ürünün renk kalitesini olumsuz etkilediği saptanmıştır. Genellikle istenilen yüksek L ve düşük -a/b oranıdır. Bu durumda kurutma kabiniinde yüksek sıcaklıklarda (< 70°C) çalışmak, hem parlaklığın korunması hem de renk kalitesi açısından avantajlıdır (Çizelge 5.10).

Mikrodalga tüneline kurutulmuş dereotlarının renk ölçümleri sonucunda ise yine, sıcaklık yükseldikçe, yeşillik/sarılık (-a/b) oranının azalmakta, parlaklık (L) değerinin ise artmakta olduğu tespit edilmiştir. Ancak, mikrodalga tüneline de, tıpkı kurutma kabiniinde olduğu gibi 70°C' de yapılmış olan denemelerin sonuçlarının bu genellemeye uymadığı görülmüş ve bu sıcaklıkta gerçekleştirilen kurutma işleminin kuru ürünün renk kalitesini olumsuz etkilediği saptanmıştır. Bu durumda, genellikle istenilen yüksek L ve düşük -a/b olduğuna göre, mikrodalga tüneline de yüksek sıcaklıklarda (<70°C) kurutma yapılırsa, hem parlak hem de renk kalitesi yüksek ürün elde edilmiş olur.

Sonuç olarak, gerek kurutma kabiniinde, gerekse mikrodalga tüneline yüksek sıcaklıklarda (<70°C) çalışmak hem parlaklığın, hem de renk kalitesinin korunması açısından avantajlıdır. Ancak, kurutma kabiniinde kurutulmuş olan ürünlerle mikrodalga tüneline kurutulmuş olan ürünleri kıyaslırsak, genel olarak, kurutma kabiniinde kurutulmuş olan ürünlerin L (parlaklıktan koyuluğa gidiş) ve -a (yeşillığe gidiş) değerlerinin daha düşük, +b (sarıluğa gidiş) değerlerinin daha yüksek ve -a/b oranının ise daha düşük olduğunu görürüz. Yani, mikrodalga tüneline kurutulmuş olan ürünler daha parlaktır, ancak bunlarda yeşil renk kaybı fazla, sararma ise daha azdır.

4) Nem içeriği ile kuruma süresi arasında bir ilişki kurulabilmek amacıyla, kurutma kabiniinde gerçekleştirilmiş olan kurutma denemelerinden elde edilen verilerden yararlanılarak, teorik olan Page ve Exponential denklemleri uygulanarak korelasyon katsayıları hesaplanmıştır. Sonuçta, Page denklemleri uygulanarak bulunan  $r^2$  değerlerinin Exponential denklem uygulanarak bulunanlardan daha yüksek olduğu görülmüş (Çizelge 5.12) ve teorik modeller ile elde edilen değerlerle deneysel sonuçların uyum içerisinde olduğu saptanmıştır (Şekil 5.21, 5.22, 5.23, 5.24, 5.25 ve 5.26).



**KAYNAKLAR**

- Anon, (1986)**, “Dereotu”, Büyük Larousse Sözlük ve Ansiklopedisi, 5: 3061.
- Anon, (1986)**, “Maydanoz”, Büyük Larousse Sözlük ve Ansiklopedisi, 13: 7885.
- Anon, (1992)**, “Dehydration”, Encyclopedia of Food Science and Technology, 1: 556-574.
- Anon, (1992)**, “Microwave Science and Technology”, Encyclopedia of Food Science and Technology, 3: 1172-1778.
- Bugrova, (1971)**, “Dehydration of Cubes of Parsley, Celery and Parsnip Roots”, Journal of Food Science and Technology, 8: 11-13.
- Cemeroğlu, B., ve Acar, J., (1986)**, Meyve ve Sebze İşleme Teknolojisi, Gıda Teknolojisi Derneği, Ankara.
- Diamante, L.M., ve Munro, P.A., (1993)**, “Mathematical Modelling of Thin Layer Solar Drying of Sweet Potato Slices”, Solar Energy, 51 (4): 271-276.
- Doymaz, İ., (1998)**, Üzüm ve Kahramanmaraş Biberinin Kuruma Karakteristiklerinin İncelenmesi, Doktora Tezi, Y.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Evranuz, Ö., Evranuz, Ç., Tuğal, V., ve Özil, E., (1984)**, Kuru ve Kurutulmuş Tarım Ürünlerinin Türk Ekonomisi İçindeki Yeri ve Güneşte Kurutma Uygulamalarının İrdelenmesi, TÜBİTAK-MAM, Beslenme ve Gıda Teknolojisi Bölümü.
- Evranuz, Ö., (1988)**, Gıda Maddelerinin Kurutulması Sırasında Kuruma Kinetiğini Kontrol Eden Faktörler ve Kalite Üzerine Etkileri, Gıda, 1 : 51-58.
- Evranuz, Ö., ve Çataltaş, İ., (1989)**, Gıdaların Kurutulması, Gıda İşleme Mühendisliği, İnkılap Kitapevi, İstanbul.
- Feinberg, B., (1973)**, “Vegetables”, Food Dehydration, 2: 59-60.
- Galiboğlu, O., (1990)**, Gıda Kimyası, İ.T.Ü. Fen- Edebiyat Fakültesi Matbaası, İstanbul.
- Gulyaev, ve Bugrova, (1981)**, “New Method of Manufacture of Fast-Cooking Dried Vegetables and Potatoes”, Journal of Food Science and Technology, 7: 29-31.
- Hall, L.P., (1965)**, “The Dehydration of Fruit and Vegetables, The Fruit and Vegetable Canning and Quick Freezing Research Association”, 9: 1-35.
- Mariupol, (1975)**, “Chemical Characteristics of Dried Canned Vegetable Snacks”, Journal of Food Science and Technology, 1: 38-40.

**Menon, A.S., ve Mujumdar, A.S., (1995), "Drying of Solids: Principles, Classification, and Selection of Dryers" , Handbook of Industrial Drying, 1: 3-46.**

**Okos, M.R., Narsimhan, G., Singh, R.K., ve Weitnauer, A.C., (1992), "Food Dehydration" , Handbook of Food Engineering, 1: 437-544.**

**Pala, M., ve Saygı, B., (1983), Su Aktivitesi ve Gıda İşlemedeki Önemi, Gıda, 1: 33-39.**

**Pala, M., (1987), Kurutma Tekniği ve Meyve-Sebzelerin Kurutulmaları, T.C. Sanayi ve Ticaret Bakanlığı Sınai Eğitim ve Geliştirme Merkezi Genel Müdürlüğü Yayınları, Ankara.**

**Popescu, Centurianu, Marinescu, Flueraru, Ionescu, Novaceanu, Cretu, ve Tapang, (1972), "Manufacture of Dehydrated Vegetables With Improved Rehydration Properties, For Use in Soup Concentrates" , Journal of Food Science and Technology, 10:103-117.**

**Saldamlı, İ., ve Saldamlı, E., (1990), Kurutma İşlemi ve Dehidratörler, Gıda Endüstrisi Makinaları, Ankara.**

**Sokhansanj, S., ve Jayas, D.S., (1987), "Drying of Food Stuffs" , Handbook of Industrial Drying, 1: 517-554.**

**Van Arsdel, B.W., (1973), "Drying Phenomena" , Food Dehydration, 1: 22-53.**

**ÖZGEÇMİŞ**

Doğum tarihi	22.02.1973
Doğum yeri	Gaziantep
Lise 1984-1992	Özel Notre Dame de Sion Fransız Kız Lisesi
Lisans 1992-1996	Yıldız Teknik Üniversitesi Kimya-Metalürji Fak. Kimya Mühendisliği Bölümü
Yüksek Lisans 1996-1998	Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Kimya Müh. Anabilim Dalı, Kimya Müh. Programı



**T.C. HÜKSEKÖĞRETİM KURULU  
DOKÜMANTASYON MERKEZİ**