



**T.C.
MEHMET AKİF ERSOY ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
GIDA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**TAŞKÖPRÜ SARIMSAĞINDAKİ ALLİSİNİN
DEGRADASYON KİNETİĞİ ÜZERİNE FARKLI
KURUTMA SICAKLIKLARININ ETKİSİ**

MAHMUT DOĞANTÜRK

BURDUR, 2016

**T.C.
MEHMET AKİF ERSOY ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
GIDA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**TAŞKÖPRÜ SARIMSAĞINDAKİ ALLİSİNİN
DEGRADASYON KİNETİĞİ ÜZERİNE FARKLI
KURUTMA SICAKLIKLARININ ETKİSİ**

Mahmut DOĞANTÜRK

Danışman: Prof. Dr. Yusuf YILMAZ

BURDUR, 2016

ETİK KURALLARA UYGUNLUK BEYANI

Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliği'nin ilgili hükümleri uyarınca Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum **“Taşköprü Sarımsağındaki Allisinin Degradasyon Kinetiği Üzerine Farklı Kurutma Sıcaklıklarının Etkisi”** başlıklı bu tezin;

- Kendi çalışmam olduğunu,
- Sunduğum tüm sonuç, doküman, bilgi ve belgeleri bizzat ve bu tez çalışması kapsamında elde ettiğimi,
- Bu tez çalışmasıyla elde edilmeyen bütün bilgi ve yorumlara atıf yaptığımı ve bunları kaynaklar listesinde usulüne uygun olarak verdiğimi,
- Kullandığım verilerde değişiklik yapmadığımı,
- Tez çalışması ve yazımı sırasında patent ve telif haklarını ihlal edici bir davranışımın olmadığını,
- Bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya diğer bir üniversitede başka bir tez çalışması içinde sunmadığımı,
- Bu tezin planlanmasından yazımına kadar bütün safhalarda bilimsel etik kurallarına uygun olarak davrandığımı,

bildirir, aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul edeceğimi beyan ederim.

21/12/2015
(İmza)
Mahmut DOĞANTÜRK

YÜKSEK LİSANS JÜRİ ONAY FORMU

Mahmut DOĞANTÜRK tarafından **Prof. Dr. Yusuf YILMAZ** yönetiminde hazırlanan “**Taşköprü Sarımsağındaki Allisinin Degradasyon Kinetiği Üzerine Farklı Kurutma Sıcaklıklarının Etkisi**” tez tarafımızdan okunmuş, kapsamı ve niteliği bakımından bir Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

29/12/2015

Prof. Dr. Ayhan TOPUZ

(Başkan)

Akdeniz Üniversitesi

Prof. Dr. Yusuf YILMAZ

(Jüri Üyesi)

Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi.....

Doç. Dr. Oğuz GÜRİSOY

(Jüri Üyesi)

Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi.....

ONAY

Bu Tez, Enstitü Yönetim Kurulu'nun 04.02.2016 Tarih ve 04-06 Sayılı Kararı ile Kabul Edilmiştir.

Yrd. Doç. Dr. İskender SOYASLAN
Müdür
Fen Bilimleri Enstitüsü

TEŞEKKÜR

Tez konusu seçimi, tezin yönlendirilmesi ve sonuçlandırılması aşamalarında desteğini esirgemeyen danışman hocam sayın **Prof. Dr. Yusuf YILMAZ**'a, hocam **Doç. Dr. Oğuz GÜRİSOY**'a, Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı Öğretim Üyelerine, deney sonuçlarının değerlendirilmesi esnasında desteğini esirgemeyen **Dr. Engin DEMİRAY**'a, tezimin deney aşamalarında desteğini eksik etmeyen **Yrd. Doç. Dr. Hale SEÇİLMİŞ CANBAY** ile Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Bilimsel ve Teknoloji Uygulama ve Araştırma Merkezi değerli çalışanlarına, maddi ve manevi her türlü desteğini esirgemeyen sevgili eşim **Hayriye DOĞANTÜRK**'e teşekkür ederim.

0265-YL-15 No'lu proje ile tezimi maddi olarak destekleyen Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğüne teşekkür ederim.

Burdur, 2016

Mahmut DOĞANTÜRK

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
TEŞEKKÜR	i
İÇİNDEKİLER	ii
ŞEKİLLER DİZİNİ	iv
ÇİZELGELER DİZİNİ	vi
SİMGELER DİZİNİ	vii
ÖZET	viii
ABSTRACT	x
1. GİRİŞ	1
2. GENEL BİLGİLER	3
2.1. Kurutma	3
2.2. Kurutmanın Temelleri	3
2.3. Gıdaların Kurutulmasının Önemi	4
2.4. Kurutmanın Kinetiği	5
2.4.1. Nem Oranı	5
2.4.2. Nem İçeriği	6
2.5. Kuruma Sürecine Ait Kuruma Periyotları	6
2.6. Kuruma Hızına Etki Eden Faktörler	10
2.6.1. Kurutma Havaının Sıcaklığı	10
2.6.2. Kurutma Havaının Bağıl Nemi	11
2.6.3. Kurutma Havaının Hızı	11
2.6.4. Kurutulacak Ürünün Özellikleri	12
2.6.5. Kurutulacak Ürünün Boyutu	12
2.6.6. Kurutulacak Ürünün Miktarı	13
2.6.7. Kurutma Sırasında Ürünün Karıştırılması	13
2.6.8. Kurutma Ortamının Basıncı	13
2.7. Başlıca Kurutma Yöntemleri	13
2.7.1. Sıcak Hava İle Kurutma	15
2.7.2. Vakumlu Kurutma	16
2.7.3. Mikrodalga ile Kurutma	16
2.8. Kastamonu Taşköprü Sarımsağı	17
2.8.1. Endüstriyel Açından Taşköprü Sarımsağının Önemi	18
2.8.2. Sarımsağın Kimyası	19
2.8.3. Sarımsağın Uçucu Bileşenleri	19
2.8.4. Sarımsağın Uçucu Olmayan Bileşenleri	19
2.8.5. Sarımsağın İnsan Sağlığı Açısından Önemi	20
2.9. Allisin	20
2.9.1. Alisin Antimikrobiyal Etkisi	21
2.9.2. Allisinin Degradasyon Kinetiğinin Önemi	21
2.9.3. Sarımsak ile İlgili Bazı Çalışmalar	21
2.10. Kurutmanın Matematiksel Modellemeleri	23
2.10.1. Handerson ve Pabis Modeli	25
2.10.2. Newton Modeli	25
2.10.3. Page Modeli	25
2.10.4. Modifiye Page Modeli	25
2.10.5. Logaritmik Model	26
2.11. Bazı Gıda Ürünleri İçin Kurutma Kinetiği Çalışmaları	26

3.MATERYAL VE METOT	29
3.1.Materyal	29
3.1.1. Denemelerde Kullanılan Sistemler ve Ölçü Aletleri.....	29
3.1.2. Denemelerde Kullanılan Cihazlar	30
3.2. Metot.....	31
3.2.1. Örnek Hazırlama	31
3.2.2. Analiz Yöntemleri.....	33
3.2.2.1. Toplam Kuru Madde İçeriklerinin Belirlenmesi	33
3.2.2.2. Sarımsak Ekstraktlarının Hazırlanması	33
3.2.2.3. Standart Allisin Çözeltisinin Hazırlanması	33
3.2.2.4. HPLC Sistemi ve Kromatografik Koşulları	34
3.2.3. Kurutma Kinetiğinin Belirlenmesi	35
3.2.4. Allisin Degradasyonunun Reaksiyon Derecesinin Belirlenmesi	36
3.2.5. Aktivasyon Enerjisinin Hesaplanması	37
3.2.6. Q ₁₀ Değerinin Hesaplanması.....	38
3.2.7. Yarı Ömür Süresinin (t _{1/2}) Hesaplanması.....	39
3.2.8 Regresyon Analizleri.....	39
3.2.9. İstatiksel Analizleri	39
4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA	41
4.1. Nem İçeriği Değişimi.....	41
4.2. Kuruma Hızı Değişimi.....	41
4.3. Kuruma Kinetiğine Ait Modelleme Çalışmaları.....	42
4.4. Allisinin Degradasyon Kinetiğinin Belirlenmesi.....	48
4.4.1. 50°C 'de allisin degradasyon kinetiğinin reaksiyon derecesinin belirlenmesi	49
4.4.2. 60°C 'de allisin degradasyon kinetiğinin reaksiyon derecesinin belirlenmesi	51
4.4.3. 70°C 'de allisin degradasyon kinetiğinin reaksiyon derecesinin belirlenmesi	53
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	60
KAYNAKLAR.....	62
ÖZGEÇMİŞ.....	67

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 2.1. Tarım ürünlerinin kuruma evreleri (IE:Isınma Evresi, SHE:Sabit Hızda Kuruma Evresi, AHE:Azalan Hızda Kuruma Evresi).....	6
Şekil 2.2. Allinaz enzimi etkisiyle allinden allisin oluşumu	20
Şekil 3.1. Kurutma işleminde kullanılacak Taşköprü sarımsağı	29
Şekil 3.2. Fanlı hava sirkülasyonlu etüv tipi kurutucu	30
Şekil 3.3. Sarımsak dilimleyici	31
Şekil 3.4. Kurutma öncesi dilimlenmiş Taşköprü sarımsağı.....	32
Şekil 3.5. Kurutma öncesi kuruma haznesine dizilmiş Taşköprü sarımsak dilimleri	32
Şekil 3.6. Kuruma sonrası, dilimlenmiş Taşköprü sarımsak örnekleri	33
Şekil 3.7 Standart allisin kalibrasyon grafiği	34
Şekil 3.8. Yüksek performanslı sıvı kromatografisi (HPLC) cihazı	34
Şekil 3.9. 1/T ye göre kinetik sabitinin doğal logaritmasının (Lnk) grafiğinden aktivasyon enerjisi hesaplanması.....	38
Şekil 4.1. Farklı sıcaklık değerlerinde kurutulan sarımsak örneklerine ait nem içeriği değerlerinin kuruma zamanı ile değişimi	41
Şekil 4.2. Farklı sıcaklık değerlerinde kurutulan sarımsak örneklerine ait kuruma hızı değerlerinin nem içeriği ile değişimi	42
Şekil 4.3. 50°C kurutma ortamına ait deneysel nem oranları ile Page ve Modifiye Page modelden elde edilen nem oranlarının zamana göre değişimi.....	44
Şekil 4.4. 60°C kurutma ortamına ait deneysel nem oranları ile Logaritmik modelden elde edilen nem oranlarının zamana göre değişimi	44
Şekil 4.5. 70°C kurutma ortamına ait deneysel nem oranları ile Logaritmik modelden elde edilen nem oranlarının zamana göre değişimi	45
Şekil 4.6. 50°C sıcaklıkta kurutma için deneysel nem oranı sonuçları ile Modifiye Page modelden elde edilen nem oranı sonuçlarının uyumu	45
Şekil 4.7. 50°C sıcaklıkta kurutma için deneysel nem oranı sonuçları ile Page modelden elde edilen nem oranı sonuçlarının uyumu	46
Şekil 4.8. 60°C sıcaklıkta kurutma için deneysel nem oranı sonuçları ile Logaritmik modelden elde edilen nem oranı sonuçlarının uyumu	46
Şekil 4.9. 70°C sıcaklıkta kurutma için deneysel nem oranı sonuçları ile Logaritmik modelden elde edilen nem oranı sonuçlarının uyumu	47
Şekil 4.10. Standart allisin kromatogramı	48
Şekil 4.11. Kuruma öncesi yaş sarımsakta allisin kromatogramı	49
Şekil 4.12. 50°C’de 3 saat kurutulmuş sarımsakta allisin kromatogramı	49
Şekil 4.13. 50°C için allisinin degradasyon kinetiğinin sıfırıncı dereceden denkleme göre grafiği.....	50
Şekil 4.14. 50°C için allisinin degradasyon kinetiğinin birinci dereceden denkleme göre grafiği.....	50
Şekil 4.15. 50°C için allisinin degradasyon kinetiğinin ikinci dereceden denkleme göre grafiği	51
Şekil 4.16. 60°C’de 3 saat kurutulmuş sarımsakta allisin kromatogramı	51
Şekil 4.17. 60°C için allisinin degradasyon kinetiğinin sıfırıncı dereceden denkleme göre grafiği.....	52

Şekil 4.18. 60°C için allisinin degradasyon kinetiğinin birinci dereceden denkleme göre grafiği	52
Şekil 4.19. 60°C için allisinin degradasyon kinetiğinin ikinci dereceden denkleme göre grafiği	53
Şekil 4.20. 70°C'de 3 saat kurutulmuş sarımsakta allisin kromatogramı	53
Şekil 4.21. 70°C için allisinin degradasyon kinetiğinin sıfırıncı dereceden denkleme göre grafiği.....	54
Şekil 4.22. 70°C için allisinin degradasyon kinetiğinin birinci dereceden denkleme göre grafiği.....	54
Şekil 4.23. 70°C için allisinin degradasyon kinetiğinin ikinci dereceden denkleme göre grafiği	55
Şekil 4.24. Sarımsağın 50, 60 ve 70°C sıcaklıkta kurutulmasında allisinin degradasyon değişimi	56
Şekil 4.25. 1/T'ye göre kinetik sabitinin doğal logaritmasının (Lnk) grafiğinden aktivasyon enerjisi hesaplanması	58

ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa
Çizelge 2.1. Yaygın olarak kullanılan endüstriyel ölçekli kurutucular	14
Çizelge 2.2. Türkiye'nin bazı yıllara göre sarımsak üretimi ve ithalat rakamları.	18
Çizelge 2.3. Sarımsağın bazı kimyasal bileşim unsurları ile mineral ve vitamin içeriği	19
Çizelge 2.4. Bazı ince tabaka kurutma modelleri.....	24
Çizelge 2.5. Zeytin kurutma modellerin istatistik sonuçları	27
Çizelge 2.6. Üzüm kurutma kinetiğinin modellenmesinde kullanılan kurutma modellerin istatistik sonuçları.....	27
Çizelge 2.7. Erik kurutmada kullanılan modellerin istatistik sonuçları	27
Çizelge 3.1. Fanlı hava sirkülasyonlu etüv tipi kurutucunun teknik özellikleri.....	30
Çizelge 4.1. Farklı sıcaklık değerlerinde kurutulan sarımsak örneklerinde elde edilen deneysel sonuçların doğrusal olmayan regresyon analizi ile teorik modellere uyumun incelenmesi	43
Çizelge 4.2. Farklı sıcaklık değerlerinde allisinin degradasyon kinetiğinin elde edilen deneysel sonuçların doğrusal olmayan regresyon analizi ile teorik modellere uyumun incelenmesi	55
Çizelge 4.3. Allisinin degradasyon kinetiğinin Q_{10} değerleri ile reaksiyonun aktivasyon enerjisi	58
Çizelge 4.4. Farklı kurutma yöntemleri ile sarımsak kurutmasının allisin degradasyonu Farklı kurutma yöntemleri ile sarımsak kurutmasının allisin degradasyonu.....	59

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

A₀	: Başlangıçtaki derişim
A_t	: Herhangi bir t anındaki derişim
a,b,c	: Denklem sabiti
AHE	: Azalan hızla kuruma eğrisi
ANO	: Ayrılabilir nem oranı
D_{eff}	: Difüzyon katsayısı
dt	: Kuruma zamanı değişimi
E_a	: Aktivasyon enerjisi
EF	: Modelleme yeterliliği
HPLC	: Yüksek performanslı sıvı kromatografisi
IE	: Isınma eğrisi
K	: Kelvin
k	: Reaksiyon hız sabiti
L	: Ürünün kalınlığı
M₀	: Başlangıç nem miktarı
M_e	: Denge anındaki nem miktarı
M_k	: Kuru madde miktarı
M_{kb}	: Kuru baza göre kuru madde miktarı
MR	: Boyutsuz nem oranı
M_t	: t anındaki nem miktarı
M_s	: Su miktarı
M_{yb}	: Yaş baza göre kuru madde miktarı
R	: Gaz sabiti
RMSE	: Ortalama hata kareleri toplamın karekökü
SHE	: Sabit hızla kuruma eğrisi
t	: Zaman

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

TAŞKÖPRÜ SARIMSAĞINDAKİ ALLİSİNİN DEGRADASYON KİNETİĞİ ÜZERİNE FARKLI KURUTMA SICAKLIKLARININ ETKİSİ

Mahmut DOĞANTÜRK
Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı
Danışman: Prof. Dr. Yusuf YILMAZ
Ocak, 2016

Allisin sarımsaktan elde edilen organosülfür yapısında hafif sarı renkte bir bileşik olup sarımsağa özgün kokusunu verir. Antioksidan ve antimikrobiyal aktiviteye sahip olan allisin, protein içeren tiol gruplarıyla reaksiyona girebilmektedir. Bu yüksek lisans tez çalışmasında dilim haldeki Taşköprü sarımsağının kurutma kinetiğinin belirlenmesi ve kurutma sırasında allisin degradasyon kinetiğinin ortaya konulması amaçlanmıştır. Kabuklarından temizlenip yaklaşık 3 mm kalınlığında dilimlenen sarımsaklar konveksiyonel bir kurutucuda 50, 60 ve 70°C sıcaklıklarda kurutulmuştur. Kuruma süresi boyunca belirli zaman aralıklarında örnekler alınarak -24°C'de analiz öncesine kadar saklanmıştır. Kurutma kinetiğinin modellenmesinde Henderson ve Pabis, Newton, Page, Modifiye Page ve Logaritmik modeller kullanılmıştır. Kurutma kinetiğini açıklayan en uygun model(ler)in 50°C sıcaklıkta Page Modeli veya Modifiye Page Modeli'nin, 60 ve 70°C sıcaklıklarda ise Logaritmik Model'in olduğu saptanmıştır. Kuru madde bazında yaş sarımsak örneklerinde başlangıçta ortalama $10911,00 \pm 145,68$ µg/g olarak belirlenen allisin içeriği kurutma sırasında düşmüştür ($p < 0,05$). 50, 60 ve 70°C sıcaklıklarda 300 dakika kurutma sonrasında allisinin son derişimi sırasıyla $5354,78 \pm 29,47$ µg/g kuru madde, $4319,81 \pm 130,37$ µg/g kuru madde ve $3952,61 \pm 261,44$ µg/g kuru madde olmuştur ($p < 0,05$). Çalışılan kurutma sıcaklıklarında, Taşköprü sarımsağının allisin degradasyonunun ikinci dereceden bir bozulma reaksiyonu olduğunu göstermiştir. Sıcaklık 50'den 60°C'ye çıkarıldığında Q10 değeri 4,18 iken, 60'dan 70°C'ye çıkarıldığında 3,07 olarak bulunmuştur. Bu durum, kurutma sıcaklığının 50'den 60°C'ye çıkarılmasının allisinin degradasyonu üzerinde etkisinin 60'den 70°C'ye çıkarılmasından daha fazla olduğunu göstermektedir. Allisin degradasyon reaksiyonu için aktivasyon enerjisi 25,48 kJ/mol olarak hesaplanmıştır. Sonuç olarak, son

üründe allisinin daha fazla korunabilmesi için Taşköprü sarımsak dilimleri düşük sıcaklıklarda kurutulması gerekmektedir.

Anahtar kelimeler: Sarımsak, Kurutma, Allisin, Degradasyon, Matematiksel Model

Hazırlanan bu Yüksek Lisans tezi Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü tarafından 0265-YL-15 proje numarası ile desteklenmiştir.

ABSTRACT

Master Thesis

EFFECT OF DIFFERENT DRYING TEMPERATURES ON ALLICIN DEGRADATION KINETICS OF TAŞKÖPRÜ GARLIC

Mahmut DOĞANTÜRK
Mehmet Akif Ersoy University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Food Engineering
Supervisor: Prof. Dr. Yusuf YILMAZ
Januray, 2016

Alliin is an organosulfur compound obtained from garlic, and it is slightly yellow in color and gives unique odor to garlic. Alliin has been known to have an antioxidant and antimicrobial activity, and it can react with thiol groups containing proteins. The aim of this study is to determine the drying kinetics of Taşköprü garlic slices and alliin degradation kinetics during drying. Garlic cloves were manually cleaned from their rind, and garlic slices with a thickness of about 3 mm were dried in a convective drier at 50, 60 and 70°C. Samples were taken at specific time intervals during drying and stored at -24°C until analyses. Henderson and Pabis, Newton, Page, Modified Page and Logarithmic Models were used in modeling drying kinetics of garlic slices. The most appropriate model for drying kinetics was either Page Model or Modified Page Model at 50°C temperature, while Logarithmic Model at 60 and 70°C. Initial alliin content of fresh garlic samples was 10911.00 ± 145.68 µg/g on the basis of dry matter, and it reduced during drying ($p < 0,05$). Alliin contents of garlic samples dried at 50, 60 and 70°C for 300 minutes were 5354.78 ± 29.47 , 4319.81 ± 130.37 and 3952.61 ± 261.44 µg/g dry matter, respectively ($p < 0,05$). Under the drying temperatures studied, the degradation reaction of alliin in Taşköprü garlic slices was a second order reaction. Q10 value was 4.18 for the drying temperature increase from 50 to 60°C, and it reduced to 3.07 for the temperature increase from 60 to 70°C. Therefore, the effect of the first temperature rise on alliin degradation was more than the second temperature rise. Activation energy for alliin degradation reaction was calculated as 25.48 kJ/mol. The results indicated that Taşköprü garlic slices should be dried at low temperatures in order to obtain better retention of alliin in final products.

Key words: Garlic, Drying, Allicin, Degradation, Mathematical Models

The present M. Sc. Thesis was supported by Coordinatorship of Scientific Research Projects of Mehmet Akif Ersoy University under the Project number of 0265-YL-15.

1.GİRİŞ

Allium sativum türlerinin önemli bitkilerinden biri olan sarımsak bazı hastalıkların tedavisinde kullanılmakta olup çağdaş bilim dünyasına ilk defa 18. Yüzyılda İsviçreli botanikçi Linne tarafından tanıtılmıştır. Anavatanı Orta Asya olarak kabul edilen sarımsağın dünyada bilinen 300'e yakın çeşidi olup, bunun 170'i ülkemizde yetişmektedir. Türkiye'de en fazla sarımsak Kastamonu ve Taşköprü'de üretilmektedir. Sarımsak tarımı dünyanın bütün iklim şartlarında yetişmekte ancak sarımsak en çok ılıman iklimlerde selenyumu bol ve kumlu toprakları tercih etmektedir. Özellikle temmuz ve ağustos aylarında hasat edilmektedir. Ülkemizde kaliteli sarımsaklar, topraklarında selenyumu bol olan Kastamonu ve Taşköprü'de yetiştirilmektedir (Koyuncu, 2012). Türkiye ılıman iklim kuşağında olması nedeniyle dört mevsim görülmesi ve dağların denizlere göre konumunun getirmiş olduğu özel durumlardan kaynaklı çok fazla tür ve çeşitte meyve ve sebze yetiştirilmektedir. Bu ürünler taze olarak ve/veya bazı işlemlerden geçirilerek tüketilmekle birlikte önemli bir kısma da ihraç edilmektedir (Tarhan vd., 2009). Türkiye'de her meyve ve sebzenin farklı bir mevsimde yoğun olarak üretilmekte ve üretilen ürünlerin çok az bir kısmı taze olarak tüketilmektedir (Darıcı ve Şen, 2011). Çalışma konusunun materyali olan sarımsak da bu genellemeye uymaktadır.

Aroma ve tat oranı yüksek olduğundan Taşköprü sarımsağı endüstride en fazla aranan sarımsak çeşididir. Sarımsak endüstride sucuk, turşu, konserve ve baharat sanayisinde kullanılmaktadır. Ayrıca sarımsak ve sarımsak ürünleri arasında kurutulmuş sarımsak, sarımsak tozu, sarımsak suyu, püresi, kapsülü, tablet, sarımsak uçucu yağı, sarımsak sosları, sarımsaklı zeytin, sirke ve yoğurt gibi ürünler önemli yer tutmaktadır (Koyuncu, 2012). Sarımsak sanayisinde üretilen sarımsak ürünlerinde uzun raf ömrü, tıbbi ve besleyici değerlerinin yüksek olmasından dolayı en fazla tercih edilen sarımsak çeşidi Taşköprü sarımsağıdır (Koyuncu, 2012).

Fazla miktarda üretilen bu tarımsal ürünler hemen tüketilmediğinden dolayı dayanma süreleri çok kısa olmaktadır. Bu ürünlerin taze olarak saklanabilmesi bazı özel işlemler sonucunda mümkün olabilmektedir. Tarımsal ürünlerin tüketilme anına kadar geçen süre içerisinde besleyici özelliklerini kaybetmeden ekonomik ömürlerinin uzatılmasına yönelik olan bu işlemlerin başında kurutma gelmektedir (Arıcı ve Mengeş, 2012; Özgen, 2013).

Kurutma, fazla miktarda üretilen tarım ürünlerinin muhafazasında kullanılan başlıca saklama yöntemlerinden biridir. Tarım ürünlerinin kurutulmasındaki amaç, ürünün su aktivite (a_w) değerini istenilen seviyeye getirmek suretiyle mikrobiyolojik, kimyasal ve enzimatik bozulmalara karşı dayanıklı hale getirmek ve böylece istenmeyen kalite kayıplarının önüne geçmektir (Geankoplis, 1993; Gunasekaran, 1999; Ünlütürk ve Turantaş, 1999).

Bu yüksek lisans tez çalışmasında, Taşköprü sarımsakları ince dilimler halinde konveksiyonel kurutucuda üç farklı sıcaklıkta kurutulmuş ve sarımsak dilimlerine ait kurutma kinetiği belirlenmiştir. Çalışma kapsamında, kurutulmuş dilim sarımsaklardaki allisin degradasyon kinetiği ortaya koyulmuştur.

2. GENEL BİLGİLER

2.1.Kurutma

Meyve, sebze ve tahıl ürünleri hasat edildiklerinde yaklaşık %80-90 oranında su içermektedir. Bu ürünlerden mevsim dışında da ekonomik olarak faydalanmak için mevsimindeki şartlara yakın kalitede tüketiciye sunulması gerekir ve bu sebeple ürün kalitesinde kaybın en az düzeyde olması için ürün özel koşullarda muhafaza edilmektedir. Etkili muhafaza yöntemlerinin başında da kurutma gelmektedir. Kurutma, tarım ürünlerinin bünyesinde bulunan suyun mikrobiyolojik, enzimatik ve kimyasal herhangi bir reaksiyon olmaması için gerekli oranlarına düşürülerek, uzun süre dayanmasını sağlama işlemidir (Mayor ve Sereno, 2003; Özgen, 2013).

Tarımsal ürünlerin kurutulması sırasında yaş ürünlerdeki serbest su uzaklaştırılmakta, ürünlerdeki biyokimyasal reaksiyonlar ve mikroorganizma gelişimi yavaşlatılmakta veya durdurulmaktadır. Ayrıca, kurutulmuş ürünlerin hacimlerinde ve ağırlıklarında büyük oranda azalma sağlandığı için kurutma, taşıma ve depolama maliyetlerini de azaltmaktadır (Aktaş vd., 2013).

2.2. Kurutmanın Temelleri

Kurutma işleminde ürün içerisindeki su ile kurutulacak madde arasındaki bağlantının koparılmasıyla başlar ki, bunun için belirli bir enerjiye gereksinim duyulmaktadır. Isı enerjisi olarak verilen bu enerji, kurutulacak maddeye sürekli olarak verilmelidir. Bu ısı kurutulacak materyalin yüzeyinde ve gözeneklerinde bulunan nemin havaya buharlaştırılmasını sağlamalıdır. Kurutma işlemi bu anlamda bir ısı ve kütle aktarım işlemidir (Aktaş vd., 2013).

Kurutma yöntemleri genel olarak iki ana gruba ayrılmaktadır. Birinci grup kurutmada yöntemlerin esasını ısı transfer şekli oluşturmaktadır. Isı transfer şekline göre kurutma üçe ayrılmaktadır. Konveksiyon kurutmada ısı, taşınım yolu ile kurutulacak maddeye iletilirken, kondüksiyon kurutmada ise kurutulacak maddeye ısı iletim yolu ile iletilir. Üçüncü sınıf olan radyasyon kurutmada ısı ışınımı yolu ile maddeye aktarılır (İsaeva, 2007).

İkinci grup kurutmada ise güneş enerjisinin kullanım şekline göre ısıtma işlemi üç alt kategoriye ayrılmıştır:

1. Doğal sistemler: Meyve, sebze ve tahıl ürünlerinin direkt güneş ışınları altında serilerek kurutulmasıdır.
2. Pasif sistemler: Sistemde ek enerji olmadan kurutmadır.
3. Aktif sistemler: Kurulan sisteme ek enerji verilerek kurutmadır.

Kurutucu havanın özellikleri, kuruma şartları açısından önemli rol oynamaktadır. Bunlar kurutma için kullanılan kuru havanın sıcaklığı, basıncı, özgül nemidir (İsaeva, 2007). Uygun bir kurutma açısından, kurutmaya etkili faktörlerin ürünün özelliğine bağlı olarak kontrol altına alınabilmesi önemlidir. Bu faktörler arasında gıdanın şekli ve boyutu, kurutulacak gıdanın kurutma ortamındaki konumu ile fiziksel ve kimyasal yapısı gibi faktörlerin yanında, kurutma yönetimi ve uygulanabilecek ön işlemler de kuruma üzerine etkili olmaktadır (Evranuz, 1988).

2.3. Gıdaların Kurutulmasının Önemi

Tarım ürünlerinin hasat şekilleri ürünün çeşidine göre değişmektedir. Bazı ürünler olgun bazıları olgunlaşmadan bazıları ise diğer ürünlere göre daha kuru olarak toplanmaktadır. Mevsim dışında bu ürünlerin tüketilebilmeleri için uygun koşullarda muhafaza edilmesi ve bazı işlemlerden geçmesi gerekmektedir. Bu işlemlerde başında ise kurutma gelmektedir. Ürünlerin kurutulması ya güneş altında ya da endüstriyel sistemler ile yapılmaktadır. Güneş altında kurutma, ekstra enerji gerekmediği için küçük ölçekli çiftçi ve köylüler tarafından sıklıkla kullanılan bir yöntemdir. Fakat ürünlerin yağmurdan, rüzgârdan, toz ve topraktan, böceklerden, kemirgenlerden ve diğer hayvanlardan korunamaması, kalitelerini ciddi ölçülerde azaltmakta ve ürünlerin tüketilemez hale getirmektedir. Kurutulmuş ürünlerde meydana gelen kalite kayıpları da uluslararası pazarda önemli ekonomik etkiler yaratmaktadır (Yaldız vd., 2001; Lahsani vd., 2004; Sacilik ve Elicin, 2006).

Meyve ve sebze gibi ürünlerin içerdikleri nemin uzaklaştırılması, yapılarından dolayı, ürün kalitesine en az zarar gelecek şekilde gerçekleştirilmelidir. Kurutma sırasında uygulanan yüksek sıcaklıklar ve doğru olarak seçilmeyen diğer koşullar ürünün hem görünüşünde hem de besin içeriğinde olumsuz sonuçlar meydana getirebilmektedir. Tarımsal ürünlerin kurutulmasında amaç, yaş ürünlerdeki serbest suyu uzaklaştırarak, ürünlerde meydana gelebilecek biyokimyasal reaksiyonları ve mikrobiyal büyümeyi sınırlandırmak veya durduraktır. Ayrıca, kurutulmuş ürünlerin hacimlerinde ve ağırlıklarında büyük oranda küçülme sağladığı için kurutma, taşıma ve depolama maliyetlerini de azaltmaktadır (Aktaş vd., 2013).

Kurutma işleminin avantaj ve dezavantajları aşağıda özetlenmiştir (Anonim, 2014):

Kurutmanın avantajları:

- Ürünün taşıma maliyeti azalır. Çünkü kurutulmuş ürünlerin taze ürünlere göre taşıma maliyetleri %70-80 daha azdır. Ayrıca kurutulmuş ürünleri taşımak daha kolaydır.
- Paketlemede üstünlük sağlar, aynı hacimdeki pakette kuru ürün daha çok konulur.
- Gıdaların muhafazasında yaş ürüne göre daha uzun muhafaza süresi sağlar.
- Ambalaj hatalarından dolayı gıdanın bozulma riski daha azdır.

Kurutmanın dezavantajları:

- Kurutulmuş gıdalarda C vitamini ve karotenoidlerde değişimler meydana gelmektedir.
- Yüksek sıcaklık uygulanarak yapılan kurutmada proteinler denatüre olabilir.
- Kurutma sırasında ya da kurutulmuş ürünün muhafazası sırasında enzimatik veya enzimatik olmayan reaksiyonlar oluşabilir (Anonim, 2014).

2.4. Kurutmanın Kinetiği

Tarım ürünlerinin kurutulması kinetik açıdan bakıldığında ürün ile kurutmanın olduğu ortamdaki hava arasındaki nem alışverişi ve kuruma sırasında geçen süre de dikkate alınarak araştırılır. Herhangi bir gıdanın kuruması kinetik açıdan incelenirken, gıdanın nemi ile kuruma süresi, kuruma hızı ile gıdanın nemi, kuruma hızı ile kuruma süresi gıdanın sıcaklığı ile nemi arasındaki ilişkiler dikkate alınır. Kuruma süresi içinde üç karakteristik periyotla karşılaşmaktadır. Bu periyotlar, gıdanın ısınma periyodu, sabit hızla kuruma periyodu ve azalan hızla kuruma periyodu şeklinde isimlendirilir (Yağcıoğlu, 1999).

2.4.1. Nem Oranı

Ürünün herhangi bir t anında sahip olduğu nem içeriğinden (M_t), denge anındaki nem içeriği çıkartılıp, başlangıç anındaki nem içeriğinden (M_0) yine denge anındaki nem içeriği farkına oranına “nem oranı (MR) veya ayrılabilir nem oranı (ANO)” da (Eşitlik 2.1) denilmektedir (Yağcıoğlu, 1999).

$$MR = \frac{M_t - M_e}{M_0 - M_e} \quad (2.1)$$

2.4.2. Nem İçeriği

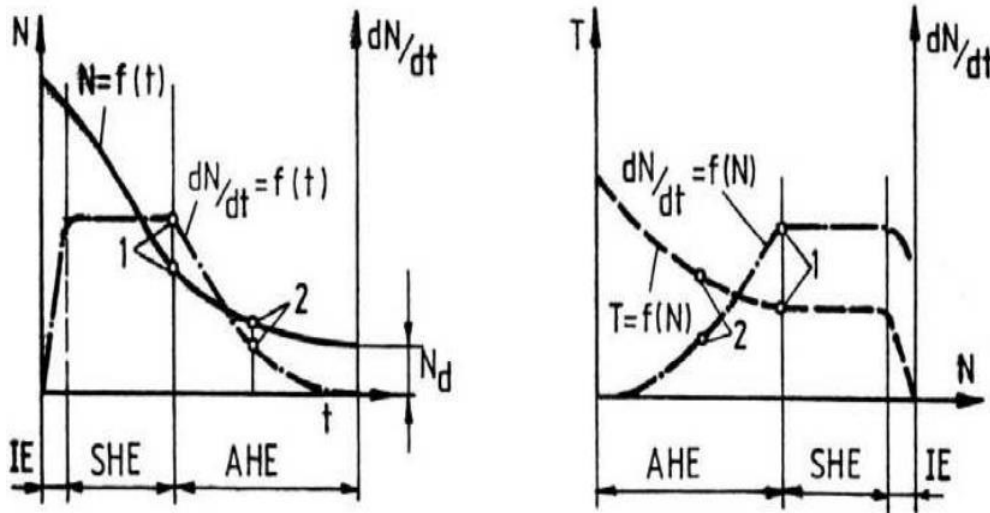
Ürünün içerisinde bulunan bağıl nemin bir ölçüsüdür. Nem içeriği, % yaş baz (Eşitlik 2.2) ve % kuru baz (Eşitlik 2.3) olmak üzere iki şekilde ifade edilmektedir (Yağcıoğlu, 1999).

$$\% \text{ Yaş baza göre nem içeriği: } \%M_{yb} = \frac{M_s}{M_s + M_k} \cdot 100 \quad (2.2)$$

$$\% \text{ Kuru baza göre nem içeriği: } \%M_{kb} = \frac{M_s}{M_k} \cdot 100 \quad (2.3)$$

2.5. Kuruma Sürecine Ait Kuruma Periyotları

Tarımsal ürünlerin kurutulması işlemlerinde kuruma olayının başlangıcında meydana gelen ilk periyot ürünün ısınma evresidir (Şekil 2.1). Bu aşamada ürünün yüzey sıcaklığı hızla yükselir. Kuruma hızı giderek artar ve bu periyodun sonunda en yüksek değerine ulaşır. Ürünün ortam havası tarafından bir denge sıcaklığı oluşana kadar ısıtılması nedeniyle ortaya çıkan ısınma periyodu süresinin, tüm kuruma süresine kıyaslanınca, çok kısa olduğu görülür. Bu nedenle genellikle dikkate alınmaz ve kuruma eğrilerinde gösterilmez. Kuruma sırasında ısınma periyodunun sona erdiği andan itibaren sabit hızla kuruma periyodu başlar (Yağcıoğlu, 1999).



Şekil 2.1. Tarım ürünlerinin kuruma evreleri (IE: Isınma Evresi, SHE: Sabit Hızda Kuruma Evresi, AHE: Azalan Hızda Kuruma Evresi) (Yağcıoğlu, 1999).

Herhangi bir ürün kuruma kinetiği açısından incelendiğinde aşağıdaki ilişkiler dikkate alınır (Yağcıoğlu, 1999):

- Materyalin nemi ile kuruma süresi: $N=f(t)$
- Kuruma hızı ile materyal nemi: $dN/dt=f(N)$
- Kuruma hızı ile kuruma süresi: $dN/dt=f(t)$
- Materyal sıcaklığı ile nemi: $T=f(N)$

Kuruma olayında ısınma evresinden sonra meydana gelen ikinci aşama ise sabit hızla kuruma periyodudur (Şekil 2.1). Sabit hızla kuruma periyodunda nem, ürünün yüzeyinden, herhangi bir serbest su tabakasının yüzeyinden buharlaşan suyla aynı davranışı göstererek buharlaşır (Yağcıoğlu, 1999). Bir başka deyişle, sabit hızla kuruma periyodunda kütle transferi, gıdanın yüzeyindeki sıvı filminden buharlaşma yolu ile olmaktadır. Nemli ve ıslak ürünlerin dış yüzeylerinde, tüm sıvı yüzeylerinde olduğu gibi, bir doymuş hava filmi oluşur, ürünün içinden yüzeye transfer edilen suyun miktarının yüzeyde buharlaşan su miktarına eşit olduğu sürece yüzey ıslak kalır. Ürünün yüzeyi ıslak kaldığı sürece, yüzey sıcaklığı sabit kalır ve bu sıcaklık yaş termometre sıcaklığına eşit olur (Güracar, 1995). Üründe bulunan suyun buharlaşması için kullanılan ısının tümü, suyun buharlaşma gizli ısısı olarak kullanılır ve ürünü ısıtmaz. Bu sebeple, ürünlerdeki suyun buharlaşma süresince ürünün yüzey sıcaklığı sabit kalır (Yağcıoğlu, 1999). Tarım ürünlerinin bünyesinde bulunan suyun, materyal tarafından gevşek olarak tutulan kısmı kapiler su, kurutma sürecinde daha kolay uzaklaştırılmaktadır. Bu sebeple, tarım ürünlerindeki suyun büyük bir kısmını oluşturan bu suya kuruma esnasında materyalin yüzeyindeki serbest su olarak bakılabilmektedir. Tarım ürünlerindeki serbest suyun ürünün bünyesinden uzaklaştığı dönem, sabit hızla kuruma periyodudur. Sabit hızla kuruma periyodunca birim zamanda uzaklaşan su miktarı sabit kalmaktadır (Cemeroğlu ve Acar, 1986).

Sabit hızla kuruma periyodunda, üründe bulunan suyun ürünün yüzeyine, kılcal borucuklar, ozmotik basınç, büzülme nedeniyle oluşan sıkıştırma basıncı gibi etkilere bağlı olarak taşındığı kabul edilir. Kuruyan ürünün iç kısımlarından yüzeye doğru süren suyun taşınması sebebiyle, ürünün iç katmanlardaki su miktarı giderek azalır ve bu duruma bağlı olarak tabakalar arasındaki suyun yoğunluk farkı küçülür. Tabakalar arasındaki suyun yoğunluğunun azalması bu etkene bağlı olarak hareket eden su miktarının azalmasına neden olur. Gerçekleşen bu yeni durum nedeniyle, kurumakta olan ürünün yüzeyinden birim zamanda buharlaşarak uzaklaşan suya eşit miktarda su, iç kısımlardan yüzeye ulaşamaz (Yağcıoğlu, 1999). Ürünlerdeki su miktarı azaldıkça geride kalan suyun ürüne bağlayan kuvvet artmakta bu sebeple ürünlerdeki su oranı belirli seviyeye ulaşıncaya sabit hızla kuruma

periyodu sona erer; kurumadaki hızın, değişimin meydana geldiği ürünlerdeki nem düzeyine “birinci kritik nem” denir ve kuruma hızının değiştiği bu noktaya da “birinci kritik noktası” denir. Özellikle meyve sebzelerin kurutulması sırasında iki hatta üç dönme noktası belirlenebilmektedir (Cemeroğlu ve Acar, 1986).

Kuruma olayının son periyodu azalan hızda kuruma periyodudur. Azalan hızda kuruma periyodu ile sabit hızda kuruma periyodu arasında birincil kritik nem noktasından itibaren hava ile ürün arasındaki transfer edilen nem miktarındaki denge bozulur, ürünün yüzeyini tamamen kaplayan ince su tabakası ortadan kalkar ve ürünün belirli bölgesinde kuru alanlar oluşmaya başlar. Ürünün yüzeyinde oluşan su buhar basıncı, sabit hızla kuruma periyodu esnasında meydana gelen doymuş buhar basıncı değerinden daha küçük değerlere iner, ürünün yüzeyinde kuru alanların artmasıyla ürün ısınmaya ve yüzey sıcaklığı kurutma havasının yaş termometre sıcaklığının üzerine çıkmaya başlar. Ürünün yüzeyinden ürünün iç katmanlara doğru ilerleyen sıcaklık artışının etkisiyle nem, ürünün içinde buharlaşmaya ve yüzeye difüzyon yoluyla ulaşmaya başlar. Kurumanın ilerleyen aşamalarında, gıdanın nem içeriği azaldıkça, suyun yüzeye ulaşmasında içsel buhar difüzyonunun önemi artar (Yağcıoğlu, 1999).

Azalan hızda kuruma periyodunun başlarında nemin yüzeye transfer edilmesinde, sabit hızda kuruma periyodundaki faktörler etkilidir. Bu sebeple azalan hızda kuruma periyodunun başlarında buharlaşma hızının değişimi lineerdir (Yağcıoğlu, 1999). Ancak ürünlerdeki nem belli bir seviyeye ulaştıkça kuruma hızı sıfıra iner ve kuruma durur. Kurutmanın gerçekleştiği ortamda egemen olan koşullarda, ürün ile hava arasındaki nem açısından bir denge oluşur. Bu şartlarda ürünün kurutmanın gerçekleştiği kurutucuda ne kadar kalırsa kalsın bünyesindeki nem değişmeden kalır. Bu durumda ürünün içerdiği su oranına, o şartlardaki “denge bağıl nemi” denir (Cemeroğlu ve Acar, 1986).

Kurutulacak olan ürünün türü ve şeklinden daha çok kurutma ortamının koşulları kurutma süresine olan etkisi daha fazladır. Azalan hızda kuruma periyodunda kurutulan ürünlerin belirli bir nem seviyesine ulaştığında kurutma olayı giderek zorlaşmakta ve kuruma süresi uzamaktadır. Bu durum göz önüne alındığında kurutma işleminin başladığı kurutucuda uzun süre devam ettirilmesinin pek de sağlıklı olmadığı ve kurutma işleminin ya kurutucu değiştirmenin ya da kurutma koşullarının değiştirilmesi gerektiğini göstermektedir (Cemeroğlu ve Acar, 1986; Yağcıoğlu, 1999). Azalan hızda kuruma periyodu sırasında, kuruma hızının ve süresinin belirlenmesi, sabit hızda kuruma evresine göre daha zordur. Bu evrede, ürün içindeki ısı ve kütle difüzyonu da birlikte ele alınması gerekmektedir (Yağcıoğlu, 1999). Kuruma olayını incelemek amacıyla teorik ve deneysel yöntemlerle

elde edilen çeşitli matematiksel modellerden yararlanmak mümkündür (Donald vd., 1973). Azalan hızda kuruma periyoduyla ilgili teorik ve yarı teorik kuruma modellerinin geliştirilmesi sırasında, işlemleri biraz daha kolaylaştırmak amacıyla, aşağıdaki bazı ön kabuller yapılmıştır (Yağcıoğlu, 1999):

- Materyalin bünyesindeki nem dağılımı tek düzedir.
- Kuruma, madde içindeki nemin, su ve buhar fazında difüzyonu sonucu oluşur.
- Difüzyon, nem farkı, sıcaklık farkı, buhar basınçları farkı ve yoğunluk farkı gibi etkenlere bağlıdır.
- Kurutma havasının özellikleri (sıcaklık, hız, bağıl nem) kuruma süresince değişmez.
- Ürün ince bir tabaka şeklinde serilir.

Azalan hızda kuruma periyodu sırasında ürünün içinde oluşan nem iletimi, Newton'un Soğutma Yasası'na benzetilerek açıklamaya çalışılır. Söz konusu yasa, cisim ile çevre arasındaki sıcaklık farkının çok büyük olmaması şartıyla, sıcaklığı değişmez kabul edilen bir ortam içine konulan bir cismin sıcaklığındaki değişim miktarının, cisim ve çevre sıcaklıkları arasındaki farkla orantılı olduğunu belirtmektedir. Nem içeriği değişmez kabul edilen bir ortam içinde bulunan herhangi bir ürünün neminde meydana gelen değişim Eşitlik 2.4 ve 2.5'te gösterildiği gibi elde edilebilir (Donald vd., 1973; Bayhan, 2011):

$$\frac{dM}{dt} = k(M - M_e) \quad (2.4)$$

$$\frac{dM}{M - M_e} = h dt \quad (2.5)$$

Eşitlik 2.5'teki diferansiyel eşitliğin çözümü Eşitlik 2.6'daki gibidir.

$$MR = \frac{M - M_e}{M_0 - M_e} = \exp(-kt) \quad (2.6)$$

Eşitlik 2.4 ve 2.5'te yer alan “k” kuruma hızı sabiti, “MR” nem oranı, “M_e” denge anındaki nem içeriği, “M₀” başlangıçtaki nem içeriği ve “t” kuruma zamanını ifade etmektedir.

2.6. Kuruma Hızına Etki Eden Faktörler

Tarımsal ürünlerin kurutulmasında kuruma hızı, ısı ve kütle transferine direkt olarak etki eden faktörler tarafından kontrol edilir. Bunun sebebi, kuruma olayının aynı zamanda bir kütle ve ısı transferi olayıdır. Kuruma hızına etki eden faktörlerden en önemlileri arasında kurutma havasının sıcaklığı, nemi ve hızı ile kurutulacak olan materyalin şekli, cinsi, kalınlığı ve bünyesindeki nem miktarları gibi faktörler sayılabilir (Ayan, 2010). Kurutma ortamındaki hava ile ilgili olarak, havanın sıcaklığı, bağıl nemi, havanın hareket hızı ve hareket yönü dikkate alınmalıdır. Kurutulacak gıda ile ilgili olarak ise, gıdanın (başlangıç ve son) nem içeriği, gıdanın boyutları, buharlaşma yüzeyi genişliği, kurutma ekipmanı ile ilgili olarak yapı malzemesinin türü ve özgül ısı, kurutma cihazının ısı yalıtım durumu, kapasitesi ve boyutları, kurutma yöntemi, çevre iklimi şeklinde belirtmek mümkündür (Evranoz, 1998; Cemeroğlu vd., 2003).

2.6.1. Kurutma Havasının Sıcaklığı

Kuruma hızına etki eden en önemli faktörlerden biri olan kuruma havasının sıcaklığıdır ve kullanılan havanın yaş ve kuru termometre sıcaklık değerleri arasındaki farka karşılık gelmektedir. Yaş ve kuru termometre sıcaklıkları arasındaki fark arttıkça kuruma hızı da artar. Kuruma başlangıcında bu doğrusal etki çok belirginse de, kuruma ilerledikçe iki sıcaklık arasındaki fark arttıkça kuruma hızının aynı oranda artmadığı görülür (Güner, 1991; Bayhan, 2011).

Kurutmada kullanılan hava sıcaklığının artırılmasıyla havanın su buharı tutma kapasitesi yükselmekte ve kurutulacak ürünün yüzeyinden iç kısımlara doğru ısı transfer hızı artmaktadır. Böylece buharlaşma hızı artmakta ve kurutma süresi kısalmaktadır (Bayhan, 2011). Yüksek hava sıcaklığının, kurutma hızına olumlu etkisinin yanı sıra bazı olumsuz etkileri de bulunmaktadır. Yüksek sıcaklıkla birlikte ürünlerde yanma, renk değişimi, etken maddelerin kaybında artış ve yüksek enerji maliyetleri gibi dezavantajlar sıralanabilir. Düşük kurutma sıcaklıklarında ürün kurutulduğunda ise, kurutulan ürünün kalitesi yükselmekte, fakat kuruma süresi gerekenden fazla uzamaktadır. Bu nedenle yapılan kurutma işlemlerinde, kuruma süresi ve kuruma kalitesi dikkate alınarak en uygun sıcaklıkta kurutma yapılması gerekir ki, her ürünün belirli bir kuruma sıcaklık derecesi bulunmaktadır (Bayhan, 2011).

2.6.2. Kurutma Havaasının Bağlı Nemi

Tarımsal ürünler genellikle ya ortam havasıyla doğrudan ya da ortam havaasının ısıtılmasıyla elde edilen sıcak hava yardımıyla kurutulur. Kullanılan bu hava kuru hava ve su buharı karışımı olarak ele alınır. Kuru hava bir takım gazların karışımından meydana gelir ve molekül ağırlığı 28,97 g/mol dır. Bu kuru hava da, belirli oranlarda azot, oksijen, argon ve karbondioksit gibi gazlardan oluşur. Genellikle, kurutma işleminde kullanılan havaanın içinde ağırlık olarak 1/10 oranında su buharı mevcut olup su buharının oranındaki değişim kurutmada kullanılan havaanın bazı özelliklerine değişime neden olur (Yağcıoğlu, 1999). Kurutma işleminde ürün çeşidine bağlı olarak, kurutmada kullanılan havaanın belli oranda nem içermesi düzgün bir kurutma için önemlidir. Çeşitli kurutma kademelerinde yetersiz nem içeren hava kullanıldığında ürün yüzeyi çok hızlı bir şekilde kuruyabilmekte ve kurutmada önemli bir kusur olan dış sertleşme hali (kabuk bağlama) ile buna bağlı olarak diğer kusurlar ortaya çıkabilmektedir (Bayhan, 2011). Termodinamiğin bir dalı olan ve nemli havaanın özelliklerinin incelenmesine psikrometri denir ve bağlı nem, mutlak nem, buhar basıncı, kuru termometre sıcaklığı, yaş termometre sıcaklığı ve çiğlenme noktası gibi terimleri içerir (Yağcıoğlu, 1999).

2.6.3. Kurutma Havaasının Hızı

Hava tarımsal ürünlerin kurutularak muhafaza edilmesi için kullanılan çok önemli bir akışkandır. Kurutma esnasında kurutmanın gerçekleştiği ortama konveksiyon yoluyla ısı aktarırken, buharlaşan nemi ise kurutulan sistemden dışarı taşır. Ancak havaanın kurutma ortamından geçirilmesi sırasında sistem tarafından havaya karşı bir direnç gösterilir. Hava akımının herhangi bir kurutma ortamında geçmesi sırasında sistemin havaya karşı göstereceği direncin şekli ve ölçüsünü, havaanın akış hızı, viskozitesi ve yoğunluğu, ürünün yığın kalınlığı ve nem oranı gibi faktörler belirler (Yağcıoğlu, 1999). Kurutmanın sağlıklı bir şekilde yapılabilmesi için kurutma havaasının hızı çok önemlidir. Hava hız artıka kuruma hızı da artmaktadır. Kurutma sırasında, ürün yüzeyinde daima durgun bir buhar filmi oluşur. Bu filmin oluşması önlenir ve sürekli olarak uzaklaştırılırsa, suyun buharlaştırılmasında artış görülür. Hava hızı, bu buhar filmi devamlı olarak sürüklemek suretiyle kuruma hızını artırıcı yönde etkide bulunur. Ancak bu etki belli bir hava hızına ulaşılan kadar görülür ve genellikle 5 m/s'den daha fazla bir hava hızının kuruma hızı üzerine etki etmediği saptanmıştır (Cemeroğlu ve Acar, 1986).

Kurutma sırasında kullanılan hava hızının aşırı yüksek olması durumunda ürünün iç kısımlarda hızlı kuruma meydana gelir ki bundan dolayı ürünün yüzeyine doğru gerçekleşen su transferinde yer yer bozulmalar gerçekleşir. Kurutma havası hızının istenilen seviyede olmaması durumunda ise gıda yüzeyindeki nemin uzaklaştırılmasından sorunlar yaşanacak ve kurutma sağlıklı bir şekilde gerçekleşemeyecektir. Bu nedenlerden dolayı tarımsal ürünlerin kurutulmasında kullanılan havanın hızının istenilen seviyede olması çok önemlidir ve deneysel olarak araştırılmasında büyük yarar vardır (Yağcıoğlu, 1999).

2.6.4. Kurutulacak Ürünün Özellikleri

Kurutulacak ürünlerin kurutma hızına etkisi ürünün fiziksel ve kimyasal yapısı ile ilişkilidir. Ürünün kimyasal yapısı yani üründe bulunan kimyasal bileşimler olan, tuz, şeker gibi küçük moleküllü ve üründe çözülmüş halde bulunan bileşikler ürünün su buhar basıncını etkileyeceğinden kurutma hızını önemli ölçüde değiştirir. Ayrıca ürünün yağlı olup olmaması, nişasta ve glikoz oranlarınca zengin olması ve pektince fazla olması ürünün kuruma hızını negatif olarak etkiler (Anonim, 2008). Kurutulacak olan ürünün fiziksel yapısı da kurutma hızına etkisi önemli derecede etkiler ve ürünün tipi, kurutma esnasındaki bütün veya dilimlenmiş oluşu gibi fiziksel özellikleri kurutma hızını etkileyen fiziksel özellikleridir. (Cemeroğlu vd., 2003). Kurutma yapılacak meyve ve sebzelerde şu özellikler aranmaktadır; olgun, sağlam, yarasız ve beresiz olmalı, çürük olmamalı ve böcek yeniği bulunmamalı, rengi ve tadı tam olgunlaşmış olmalıdır (Anonim, 2008).

2.6.5. Kurutulacak Ürünün Boyutu

Isı iletim hızı iletken yüzeyinin büyüklüğüne bağlı olup, yüzey alanı ne kadar büyük ise ısı iletimi o kadar hızlı olur ve dolayısıyla kuruma hızı da o kadar artar. Kuruma hızı ürünün yüzey alanı ile doğru, ürünün kalınlığı ile ters orantılı olduğundan kurutulmak istenilen ürünün kurutucu ortama yerleştirilme şekli de çok önemlidir. Kurutma hızını artırmak ve kurutmayı sağlıklı bir şekilde gerçekleştirmek için kurutulacak ürünün dilimlenmesi, parçalara ayrılması veya rendelenmesi gibi bir takım ön işlemlerden geçirilir. Kurutma işleminde kullanılacak ön işlemin türü, tamamen ürünün cinsine ve tüketicinin tercihine göre değişmektedir (Yağcıoğlu, 1999).

2.6.6. Kurutulacak Ürünün Miktarı

Sağlıklı ve düzgün bir kurutma işleminin yapılabilmesi için kurutucuya konulan ürünün miktarı, ısı transferi, havanın kurutma ortamından geçişi ve oluşan nemin sistemden rahat bir şekilde atılması gibi faktörleri etkiler. Fazla miktarda konulan ürün, altta kalan ürünlerin tam olarak kurumaması sorununu ortaya çıkar. Kurutucuya yeterli miktarda ürün konulmadığı durumlarda ise sisteme verilen enerji fazla olacağından hem gereksiz enerji sarfıyatı olur hem de fazla miktarda verilen enerjiden dolayı üründe renk değişimi ya da yanmalar meydana gelebilir. Kurutmanın tam anlamı ile gerçekleşebilmesi için kurutucu ortamına ne kadar ürün konulması gerektiğini doğru hesap edilmesi çok önemlidir (Cemeroğlu ve Acar, 1986).

2.6.7. Kurutma Sırasında Ürünün Karıştırılması

Kurutulacak ürünün kurutma ortamında manuel olarak ya da ortama verilen titreşim hareketi ile kurutulacak ürünün durumunun sürekli olarak değiştirilmesi ürün ile hava arasındaki ısı transfer hızını artırır. Benzer bir uygulama kurutma havasının hızı, ürünün kritik asılma hızı değerine kadar yükseltilerek, kurutulan ürünün hava içinde adeta yüzdüğü akışkan yatak uygulaması şeklinde yapılabilir. Bu şekilde kuruma işlemi önemli oranda hızlandırılır (Yağcıoğlu, 1999).

2.6.8. Kurutma Ortamının Basıncı

Kurutma işleminin gerçekleştiği ortamın hava basıncı düştükçe kuruma işlemi hızlanır, yani üründen ortama nem geçişi yükselir. Kurutmanın gerçekleştiği ortamın basıncı, suyun buharlaşma sıcaklığı üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Basınç azaldıkça suyun buharlaşma sıcaklığı da azalmaktadır. Bu durumda belli sıcaklık koşullarında, ortamın basıncı azaldıkça birim zamanda buharlaşan su miktarı da artar (Yağcıoğlu, 1999).

2.7. Başlıca Kurutma Yöntemleri

Türkiye’de tarım ürünlerinin kurutulmasında kullanılan yöntemler insanların gelir düzeyleri ve kültürel etkiler göz önünde bulundurularak yapılmaktadır. Küçük ölçekli çiftçiler daha çok geleneksel yöntemin vermiş olduğu ucuz kurutma yöntemi olan tarlada güneşte kurutma yöntemini seçerken, büyük ölçekli ve ekonomik düzeyi yüksek olan çiftçiler daha endüstriyel kurutma yöntemini seçmektedir. Genel olarak doğal kurutma ve endüstriyel kurutma yöntemleri tarım ürünlerinin kurutulmasında kullanılmaktadır. Tarım ürünle-

rinden meyve ve sebzelerin kurutulmasında ise doğal kurutma ve endüstriyel kurutmanın enerji kullanım yöntemlerindeki farklılıktan kaynaklı olmak üzere üç kurutma yöntemi uygulanmaktadır (Tripathy ve Kumar, 2009). 1. Geleneksel yani Güneş altında kurutma, 2. Suni (Endüstriyel) kurutma (tünel tipi, akışkan yataklı, püskürtmeli, döner tamburlu ve mikrodalga kurutucular) kurutma ve 3. Vakum altında kurutma (vakum kurutucu, raf- lı/döner tamburlu kurutucu ve dondurarak kurutma). Doğal ve sıcak havalı kurutucular ile kurutma düşük işletme giderleri nedeniyle günümüzde yaygın olarak uygulanan yöntemdir. Doğal koşullarda gölgede veya güneş altına sererek yapılan doğal kurutma ile pazarın talep ettiği yüksek kalite ve standartlara ulaşmak ve büyük miktarlardaki ürünü işlemek mümkün değildir (Soysal ve Öztekin, 2001). Düşük basınç altında kurutma ve mikrodalga kurutma teknikleri ise son yıllarda en çok üzerinde durulan tekniklerdir. Yaygın olarak kullanılan kurutucu tipleri Çizelge 2.1’de verilmektedir.

Çizelge 2.1. Yaygın olarak kullanılan endüstriyel ölçekli kurutucular (Mujumdar, 2007)

Çalışma Kriteri	Kurutucu Tipi
<ul style="list-style-type: none"> • Kurutucunun çalışma şekli • Kurutma ortamının ısı transfer şekli 	Kesikli, sürekli * Taşınım*, İletim, Radyasyon, Elektromanyetik Alan
<ul style="list-style-type: none"> • Kurutulacak ürünün konumu • Kurutulacak materyalin fiziksel hali 	Hareketsiz, Hareketli, Titreşimli, Sıvı, Katı, Ögütülmüş, Dilimlenmiş, Sürekli Tabaka
<ul style="list-style-type: none"> • Kurutucunun basıncı • Kurutucunun akışkan 	Atmosfer basıncı veya Vakum ortamı Hava*, Uçucu Gazlar
<ul style="list-style-type: none"> • Kurutma ortam sıcaklığı 	Kaynama Noktasının Üzerinde, Kaynama Noktasında, Kaynama Noktasının Altında*, Donma Noktasının Altında
<ul style="list-style-type: none"> • Kurutulacak ürün ve kurutucu akışkanın birbirine göre hareketi ve konumu • Kurutma süresi 	Paralel, Karşı, Karışık, Çapraz Akışlı Kısa (<1 dakika), Orta (1-30 dakika), Uzun (>30 dakika)

*En yaygın kullanılan kurutucu tipleri

Tarım ürünlerinin sağlıklı ve hızlı kurutulması için ürünler kurumaya maruz bırakılmadan önce bazı ön işlemlere tabi tutulmaktadır. Bu ön işlemler ürünün nemini hızlı kaybetmesini, üründeki renk değişimlerinin en aza indirilmesini, ürün tat ve dokusunun korunmasını ve üründe bulunan bazı etken maddelerinin korunmasını sağlayan işlemlerdir. Ön işlemlerden biri ürünün yıkanması olup, üründe bulunan toz toprak çamur ve bakteri gibi ürünün kalitesini olumsuz etkileyen faktörlerden ürünü korumak amacıyla yapılır. Diğer bir işlem olan durulama, yıkamadan sonra ürünün temiz bir suyla durulanması yoluyla ürünün hijyenik kalitesini arttırmak amacıyla yapılır. Ayıklama işleminde ise, ürünün

içindeki yabancı maddeler uzaklaştırılır. Bazı ürünlerin kabuklarının temizlenerek kurutulması gerektiği için kabuk soyma basamağı önemlidir. Doğrama ya da dilimleme yüzey alanının artırılması için gereklidir. Bu tür işlemler kurutmanın doğru yapılması için ürüne yapılan ön işlemlerdir (Anonim, 2008).

2.7.1. Sıcak Hava İle Kurutma

Tarım ürünlerinin kurutulmasında kullanılan kurutucular kurutulmak istenilen ürünün özelliklerine uygun olmalıdır. Farklı ürünlere yönelik uygun kurutma işlemi için çok değişik kurutucular geliştirilmiştir. Bu kurutucular kurutma ortamına verdikleri ısı enerjisinin taşıma tiplerine göre sınıflara ayrılmaktadır (Yağcıoğlu, 1999). Kullanılan ısı transfer yöntemlerine göre kurutucu tiplerinden bazıları şöyledir:

Konveksiyon ile Kurutma: Kurutma işleminde kurutulması istenilen ürüne ısı enerjisi hava ile verilir. Hava, kurutma ortamına verilmeden önce istenilen sıcaklığa kadar ısıtılıp ortama fanlar yardımı ile verilir ve ortamda ürün ile hava arasında ısı transferi gerçekleşir. Isı, kurutucu ortamdan ürüne taşınım (konveksiyon) yoluyla aktarılır. Ortama verilen sıcak hava, kurutulan ürünün ya doğrudan üzerinden ya da içinden geçirilir (Yağcıoğlu, 1999).

Kondüksiyon ile Kurutma: Kondüksiyon ile kurutmada, kurutma için verilmesi gereken ısı enerjisi kurutulacak ürüne, ısıtılmış yüzeyden iletim yoluyla verilir. Kurutulan ürüne iletilen ısı, sıcak yüzeye değen yaş materyalin ısıl iletim özelliklerine (kondüktivitesine) ve sıcak yüzeyin ısı iletim katsayısına bağlıdır (Yağcıoğlu, 1999).

Işınım ile Kurutma: Bu yöntemde kurutma için gerekli ısı enerjisi, yaş materyale, elektromanyetik ışıma yöntemi ile verilir. Bu ışınlar içinden geçtikleri ortamı ısıtmaz; kendilerini absorbe eden (soğuran) cisimleri ısıtırlar (Yağcıoğlu, 1999).

Sıcak havalı kurutucular, havanın gıdadan geçirilmesi tipine göre paralel, ters, doğru ve çapraz akışlı olmak üzere kendi aralarında gruplandırılabilir. Havanın elektriksel yöntemle ısıtıldığı kurutucular düşük sıcaklık derecesine gereksinim duyulan gıdaların kurutulmasında ya da araştırma amacına dönük tesislerde tercih edilirler (Saldamlı ve Saldamlı, 2004).

Kurutucular kabin tipi, tünel tipi, akışkan yataklı, döner tipli kurutucular olarak da gruplara ayrılabilir. Kurutucu tipinin seçimi sırasında kurutulacak ürünün özellikleri kurutmanın yapılacağı mevsim, kurutma süresi, iş gücü ve enerji gereksinimi ile işletmede kurutucu için ayrılacak yer dikkate alınarak seçilmelidir (Yağcıoğlu, 1999).

2.7.2. Vakumlu Kurutma

Gıdaların vakum ile kurutulması diğer kurutma yöntemleri ile kurutulduğunda istenilen verimin alınmaması durumlarında geliştirilmiş bir kurutma yöntemidir. Vakum ile kurutmada diğer kurutucular ile yapılan kurutmaya göre kuruma daha kısa sürede gerçekleşmektedir (Erbay ve Küçüköner, 2008). Vakumla kurutma, hem kısa sürede gerçekleşir hem de yüksek sıcaklık şartlarında yapısı bozulan ürünlerin daha düşük sıcaklıklarda hızla kurumasını sağlar. Vakum kurutmada buharlaşan su, vakum pompalı tiplerde bir yoğunlaştırıcı yardımıyla sıvı hale dönüştürüldükten sonra vakum hücresi dışına çıkarılır. Vakum hücresinin içinde çok az miktarda hava bulunması, kolayca okside olabilen ürünlerin kurutulmaları sırasında ortaya çıkan oksidasyon riskini de en az düzeye indirmektedir. Bu tip kurutucular, yüksek sıcaklıkta hızlı kuruma nedeniyle yüzeyi çabuk kuruyarak sertleşen ve bu nedenle iç katmanlardan yüzeye nem difüzyonu engellendiği için ortası nemli kalan ürünlerin kurutulmasına da uygundur (Yağcıoğlu, 1999).

Gıdaların sıcak hava ile kurutulmasında oluşan istenmeyen bazı durumlar vakum kurutma yönteminde önlenmektedir. Vakum sisteminde hava olmadığı için renk ve kolaylıkla okside olabilen bileşenlerin kayıpları daha az meydana gelmektedir (Saldamlı ve Saldamlı, 2004). Vakumlu kurutucularda kurutulan ürünler genellikle içi gözenekli, süngerimsi bir yapı kazanır. Vakumlu kurutucular dış basıncı dayanıklı sağlam ve sızdırmaz bir vakum hücresi ile vakum sağlayacak düzeneklere gereksinim gösterildiğinden pahalı bir sistemdir (Yağcıoğlu, 1999).

2.7.3. Mikrodalga ile Kurutma

Tarımsal ürünlerin kurutulmasında son zamanlarda kullanılan en yeni yöntemlerden biri de mikrodalga ile kurutma yöntemidir. Mikrodalga ile kurutmanın çalışma prensibi, ürünlerdeki polar molekülleri etkileyerek elektromanyetik enerjinin termal enerjiye dönüştürülmesi esasına dayanmaktadır (Erbay ve Küçüköner, 2008). Mikrodalgalar, elektromanyetik spektrumun bir parçası olup görünür ışık ile radyo dalgaları arasında yer almaktadır. Dalga boyları 1 mm – 1 m ve frekansları 300 MHz – 300 GHz arasında değişmekte olan mikrodalgaların ısıtma frekansları endüstriyel, bilimsel ve tıbbi kullanımlar için belirlenmiştir (Baysal vd., 2011). Mikrodalga fırınlarda kullanılan dalgaların, radar dalgaları ile karışmaması ve pişirmeye en uygun olması nedeniyle fırınlar için 2 ayrı frekans verilmiştir. Bunlar 915 MHz ve 2450 MHz olmakla birlikte, genellikle 2450 MHz frekanstaki dalgalar kullanılmaktadır (Uslu ve Certel, 2006).

Mikrodalga ile kurutmada enerji, ürünün derinliklerine kadar inmelidir. Aksi takdirde, kurutulacak ürünün sadece yüzeyi ısınmış olur. Işınımın etkileyebileceği derinlik, dalga boyuna, ürünün dielektrik sabitine ve kayıp faktörüne bağlıdır. Mikrodalga ile kurutmada, işlem sırasında doğrudan su moleküllerinin ısıtılmasından dolayı kuruma etkinliği fazladır. Kurutma olayı düşük basınç ve çevre şartlarında gerçekleştiği için üründe yapısal bozulmalar olmaz. Üründe nem ve sıcaklık farkı ürünün her tarafında tekdüzelik gösterildiğinden kurumada herhangi bir sorunla karşılaşılmamaktadır. Kuruma süresi diğer sistemlere göre kıyaslandığında oldukça kısadır (Yağcıoğlu, 1999).

Mikrodalga ile kurutmanın diğer kurutma yöntemlerine göre avantajlarının yanı sıra bazı dezavantajları da bulunmaktadır. Erdem (2007) mikrodalga ile kurutmanın dezavantajlarını şu şekilde özetlemektedir. Bu işlem ile kurutma diğer kurutma fırınlarına göre daha seçicidir yani her ürün mikrodalga ile kurutmaya uygun değildir. Mikrodalga fırınlar diğer kurutma fırınlarına göre daha fazla emniyet tedbirleri gerektirmektedir. Mikrodalga karmaşık bir sistem olduğundan eğitimli elemanlara ihtiyaç vardır. Radyasyon sızıntısı ihtimali olduğundan kapalı bir sisteme gereksinim duymaktadır. Mikrodalga ile kurutma diğer kurutma yöntemlerine göre masraflı bir yöntemdir (Yağcıoğlu, 1999).

2.8. Kastamonu Taşköprü Sarımsağı

Kastamonu Taşköprü sarımsağı Türkiye’de yetiştirilen, diğer sarımsak çeşitlerine göre bileşiminde selenyum elementi bulunan tek sarımsak çeşidi olup, mineral maddeler ve vitamin yönünden besin değeri en zengin, iklim koşullarına en dayanıklı, iri başlı ve kaliteli ve raf ömrü uzun olan sarımsaktır (Koyuncu, 2012). Türkiye’de Kastamonu Taşköprü sarımsağı ile ilgili birçok bilimsel çalışma yapılmıştır (Taban vd., 2004). Kastamonu Taşköprü sarımsak kalitesi, aroması ve dayanıklılığıyla ülkemizin en önemli sarımsak çeşidi olduğu tespit edilmiştir (İbret, 2005). Taşköprü sarımsak tarımı yapılan alanlarda noksanlığı belirlenen besin maddelerini konu alan 7 farklı gübreleme denemesinden elde edilen sarımsak örneklerinde HPLC ile allisin (mg/g) değeri belirlenmiştir (Zor, 2006). Türk Patent Enstitüsü Taşköprü sarımsağına “Coğrafi İşaret” vererek koruma altına almış (Koyuncu, 2012) olup, Demiray ve Tülek (2014) tarafından kurutma koşullarının Kastamonu Taşköprü sarımsağının kurutma kinetiği üzerine etkisi araştırılmıştır.

2.8.1. Endüstriyel Açıdan Taşköprü Sarımsağının Önemi

Türkiye’de yıllık olarak sarımsak üretimi 80 bin ton civarında, ithalatı ise 3 bin ton dolaylarındadır (Çizelge 2.2). Sarımsağın yıllık ekonomik büyüklüğü yaklaşık 28 milyon dolar (USD) olmasına karşın dünyadaki önde gelen sarımsak üreticisi ve ihracatçısı olan ülkelerin sarımsak ekonomisinin yanında oldukça küçük bir değerdir. Türkiye sarımsak tarımına elverişli bir ülke olmasına karşın yeterli miktarda sarımsak üretimi yapılamamakta ve Avrupa Birliği gibi sarımsak ithalatı yapan bir pazarı Çin, Arjantin, Meksika ve Şili gibi uzak ülkelere kaptırmaktadır (Genç, 2007).

Çizelge 2.2. Türkiye’nin bazı yıllara göre sarımsak üretimi ve ithalat rakamları (Genç, 2007)

	2008	2009	2010	2011
Sarımsak Üretimi (Ton)	81000	83000	77000	78000
Sarımsak İthalatı (Ton)	3742	1476	2794	4817
Sarımsak İthalatı (Milyon Dolar)	8,9	3,8	6,9	11,3
İthalatın Toplam Ülke İçindeki Payı (%)	4,6	1,8	3,6	6,2

Türkiye kaliteli sarımsak üretimi yapan bir ülke olması ve Avrupa Birliği gibi sarımsak pazarına yakın olmasına rağmen sarımsak ihracatında oldukça geri kalmıştır. Türkiye’nin Avrupa Birliği’ne sarımsak ihracatı yılda yaklaşık 1 milyon dolardır (Genç, 2007). Sarımsak genellikle taze, diş ve örgü sarımsak olarak tüketilmekle birlikte, sarımsağın bazı türevleri gıda ve kozmetik endüstrisinde üretimi yapılmakta olup sarımsak ekonomisine önemli miktarda girdi sağlamaktadır (Genç, 2007).

Türkiye kaliteli sarımsak üreticisi olmasına karşın sarımsak tüketimi bakımından daha çok geleneksel kullanımı tercih edilmekte ancak sarımsak türevleri üretimi açısından yatırımlar istenilen seviyeye henüz ulaşamamıştır. Türkiye’nin en kaliteli sarımsağı olan Taşköprü sarımsağı aroma ve tat oranı yüksek olduğundan sucuk, turşu, konserve ve baharat sanayisinde en fazla kullanılan sarımsak çeşididir. Ayrıca gelişme gösteren sarımsak sanayide üretilen önemli sarımsak ürünleri arasında kurutulmuş sarımsak, sarımsak tozu, sarımsak suyu, püresi, kapsülü, tablet, sarımsak uçucu yağı, sarımsak sosları, sarımsaklı zeytin, sirke ve yoğurt gibi ürünlerde yine hammadde olarak Taşköprü sarımsağı kullanılmaktadır (Koyuncu, 2012). Sarımsak ürünlerinde uzun raf ömrü, tıbbi ve besleyici değerlerinin yüksek olmasından dolayı en fazla tercih edilen sarımsak çeşidi Taşköprü sarımsağıdır. Sarımsak gibi tıbbi ve aromatik bitkilerin kurutma koşullarına olan hassasiyetlerinden dolayı kurutma işlemlerinin doğru yapılması gerekmekte, aksi durumda kalite parametrelerini

ve tıbbi etken maddelerinin özelliklerinin kaybedilmesi söz konusu olabilmektedir (Polatçı ve Tarhan, 2009).

2.8.2. Sarımsağın Kimyası

Sarımsağın kimyası yetiştirildiği iklim, ekimi yapıldığı toprak ve yetiştirildikten sonra saklama koşullarına bağlı olarak değişmektedir (Yıldırım, 2008). Sarımsağın bazı kimyasal bileşim unsurları ile mineral ve vitamin içeriği Çizelge 2.3'te verilmiştir.

Çizelge 2.3. Sarımsağın bazı kimyasal bileşim unsurları ile mineral ve vitamin içeriği (Evren vd., 2006).

Bileşim Ögesi	Değer	Mineral	Konsantrasyon (ppm)
Su (%)	66,32	K	21378
Ham Protein (%)	9,26	P	6009
Ham Yağ (%)	0,34	Mg	1056
Azotlu Bileşikler (%)	7,10	Na	532
Enerji (kcal/100g)	410,70	Ca	363
Lif (%)	2,17	Fe	52
Kül (%)	2,30	Zn	27
Suda Çözünebilir Ekst-rakt (%)	18,40	Mn	12
pH	6,05	Vitamin	Miktar (mg/100g)
Uçucu Yağ	0,14	Askorbik Asit	19,0
		Thiamin	9,21

2.8.3. Sarımsağın Uçucu Bileşenleri

Sarımsağın keskin kokusu sarımsağın bünyesinde bulunan uçucu bileşenlerden kaynaklanmaktadır. Sarımsağın uçucu bileşenleri çok sayıda bileşenlerden meydana gelmektedir. Bu bileşikler genel olarak tiyosülfınatlar ve diğer organosülfür gruplarıdır. Tiyosülfınatlar kararlı bir yapıda olmadıklarından çeşitli sülfür bileşiklerine dönüşürler. Kararsız yapılarından dolayı dönüştükleri sülfürlü bileşikler arasında tiyosülfonatlara, disülfür ve trisülfür bileşikleri, ajoen gibi bileşikler yer alır (Lanzotti, 2006).

2.8.4. Sarımsağın Uçucu Olmayan Bileşenleri

Sarımsağın keskin kokusunu ve genel olarak lezzetini uçucu bileşenlerinden almış olsa da sarımsakta uçucu olmayan ancak sarımsağın yemeklerde, tıp ve baharat endüstrisinde kullanımına önem katan uçucu olmayan bileşenleri de bulunmaktadır. Sarımsağın uçucu olmayan ve biyoaktif özellik taşıyan bileşenleri saponinler, sapojeninler, flavonoid-

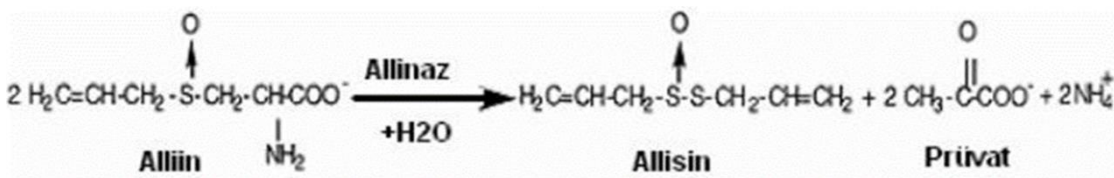
ler ve fenolik bileşiklerdir. Sarımsak önemli bir flavonoid kaynağı olan bir bitkidir (Lanzotti, 2006).

2.8.5. Sarımsağın İnsan Sağlığı Açısından Önemi

Sarımsakta bulunan sülfürlü bileşikler ve bu bileşiklerin kararsız yapılarından dolayı dönüştükleri diğer bileşiklerin antibiyotik ve antiviral etkisinin yanı sıra kansere karşı koruyucu etkisi vardır. Bu nedenle sarımsak insan sağlığı açısından son derece önemli bir bitkidir. Sarımsak yüzyıllardır insanlar tarafından değişik hastalıkların tedavisi için kullanılmaktadır. Yapılan çalışmalarda sarımsak kolon, deri, prostat ve meme kanserlerini önleyici ya da yavaşlatıcı, sinir sistemini düzenleyici etkileri belirlenmiştir. Önemli bir antioksidan kaynağı olan sarımsağın antimikrobiyal özellik göstermesini sağlayan, sarımsağa tipik kokusunu ve tadını veren diallil tiosülfınattan izole edilen allisin bileşiğidir (Artık ve Poyrazoğlu, 1994).

2.9. Allisin

Sarımsak bütün ve sağlam olduğu anda sarımsakta allisin bileşiği bulunmamaktadır. Sarımsak ezildiği ya da dokularına zarar verildiği zaman en az yüz çeşit sülfür içeren bileşik meydana gelir. Bu bileşiklerden en aktif olan bileşik ise allisindir. Allisinin görevi sarımsak yaralandığı zaman sarımsağı bakteri ve virüslerden korumak olduğundan allisin sarımsak dilimlendiğinde dilimlenmiş yüzeyinde, ezildiğinde ezilmiş olan bölgede ya da herhangi bir zarara uğradığında zararın geldiği bölgede sentezlenmeye başlar, bu sebeple alliin ile allinaz enzimiyle reaksiyona (Şekil 2.2) girerek allisin üretilir. Sarımsaktan diyetlerde faydalanmak için en iyi yöntem keserek veya ezerek kullanmaktır. Ezilen sarımsakta yaklaşık %0,4 oranında allisin oluşurken, %0,1 oranında alil metil sülfınatlar oluşur. Allisin sarımsakta antibakteriyel ve antiviral etki gösteren bir bileşiktir (Bhagyalakshmi ve Thimmaraju, 2005).



Şekil 2.2. Allinaz enzimi etkisiyle alliiden allisin oluşumu (Ankri ve Mirelman, 1999).

2.9.1. Alisinin Antimikrobiyal Etkisi

Sağlam ve bütün bir sarımsak ezildiğinde allin yukarıdaki gibi allinaz enzimi ile reaksiyona girerek allisin bileşimini oluşturur. Allisin sarımsağın antimikrobiyal bir bileşimidir. Saf formda allisin Gram pozitif ve negatif bakterilere karşı antibakteriyel aktivite sergilemektedir (Ankri ve Mirelman, 1999). Sarımsağın antibiyotik ve antiviral etkisinin bilinmesi aynı zamanda kansere karşı göstermiş olduğu direnç göz önünde bulundurulduğunda ilaç endüstrisi tarafından belirli hastalıklar ile mücadele sarımsaktan faydalanmakta ve sarımsak ürünleri geliştirilmektedir. Allisin ve tiyosülfonat içeriği belirli bir seviyede tutulan ticari sarımsak ürünlerinin antiviral etkisinin belirlenmesi için *Herpes simplex* (tip 1 ve 2) virüsü, *enflüanza A* ve *B* virüsleri, insan *sitomegalovirüs*, *rinovirüs*, HIV ve *rotavirüs* karşı incelenmiş ve sarımsağın bu virüslere karşı etkili olduğu tespit edilmiştir (Corzo-Martinez vd., 2007).

2.9.2. Allisinin Degradasyon Kinetiğinin Önemi

Sarımsağın sağlık üzerine etkisi insanlar tarafından binlerce yıldır bilinen ve salgın hastalıkların tedavisinde kullanılan bir bitkidir. Günümüzde sarımsağın sağlık üzerine etkisi çağdaş bilim tarafından da kabul edilmiş olup bazı hastalıkların tedavisi için ilaç sektörü tarafından kullanılmaya ve diğer hastalıkların tedavisi için çalışmalara devam edilmektedir.

Sarımsağın tıbbi etken maddelerinden en önemli bileşimi allisindir. Allisin, sarımsak tüm ve sağlam iken bulunmayıp sarımsak kesildiği ya da zarar gördüğünde oluşan uçucu bir bileşiktir ve muhafazası kolay değildir. Sarımsağın kurutulmasında, depolanmasında ve saklanmasında kısacası tarladan tüketiciye ulaşana kadar geçen sürede alisin müküm olduğunca korunmasını sağlayacak şartların tespit edilmesi için allisin degradasyonu veya alıkonma kinetiğinin belirlenmesi çok önemlidir.

2.9.3. Sarımsak ile İlgili Bazı Çalışmalar

İbret (2005), Türkiye'deki sarımsak tarımı ve Taşköprü Sarımsağı üzerine coğrafi açıdan yapmış olduğu bu çalışmada sarımsağın Anadolu ve Anadolu'ya yakın coğrafyaların anavatanı olduğunu belirtmiş bu sebeple Anadolu da çok fazla sarımsak çeşidinin olduğunu ancak sarımsak tarımının çok fazla emek ve işgücü istediğinden Anadolu'nun belirli bölgesinde daha fazla yetiştirildiğini söylemektedir. Bu bölgelerin başında Kastamonu gelmekte Kastamonu'da ise Taşköprü sarımsağı bilinmektedir. Taşköprü sarımsağının da-

yanıklılığı ve kalitesi ile iç ve dış pazarlarda tanıtımının yapılması ve Taşköprü ilçesinde yapılan Sarımsak Festivali Kastamonu iline ekonomik bir katkı sağladığını tespit etmiştir.

Evren ve diğerleri (2006), sarımsağın antimikrobiyal özellikleri üzerine yapmış oldukları çalışmada sarımsağın zambakgiller familyasından *Allium* cinsinden bir bitki olduğunu ve inşalar tarafından çok uzun zamanlardan bu yana yemeklere lezzet vermek ve bazı hastalıkları tedavi etmek amacıyla da kullanıldığını belirtmiştir. Sarımsağın antimikrobiyal etkisinin ilk defa 19 yüzyılda Pastör tarafından bulunduğunu ve buna müteakiben sarımsak üzerine birçok bilim adamının değişik konular üzerinde çalışmalar yaptıklarını belirtmiştir. Yapılan bu çalışmalardan bazıları sarımsağın antifungal, antibakteriyel ve antiviral etkilerini ve sarımsağın bu etkilerinin sarımsağın bünyesinde bulunan allisinden ileri geldiğini tespit etmişlerdir.

Taban ve diğerleri (2004), Kastamonu Taşköprü yöresinde sarımsak tarımı yapılan toprakların verimlilik durumunu ve sarımsak bitkisinin üretimi esnasında sarımsağın beslenme problemlerini belirleyebilmek amacıyla yapmış olduğu çalışmada 40 adet toprak numunesini alarak toprakların bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri belirlemiş ve genel olarak, killi ve kumlu toprakların ile hafif alkali reaksiyonlu ve orta kireçli olan toprakların % 67,5'i azot, % 40' ı fosfor, % 82,5'i kükürt (SO₄-S), % 5'i potasyum, % 97,5'i çinko ve mangan, % 7,5'i demir ve % 67,5'i bor bakımından yetersiz olduğu belirlenmiştir.

Taban ve diğerleri (2013), Kastamonu Taşköprü yöresinde yetiştirilen sarımsak bitkisinin selenyum içeriğini ve bazı toprak özellikleri arasındaki ilişkilerin açıklanması ile ilgili yapmış olduğu bu çalışmada Taşköprü'de en fazla sarımsak tarımının yapıldığı 18 farklı alandan aynı zaman diliminde toprak ve sarımsak numuneleri alınmıştır. Sarımsak numunelerinin selenyum içerikleri ile toprak numunelerinin selenyum içerikleri ICP-OES tekniği kullanılarak belirlenmiştir. Elde edilen bulgular sarımsak numunelerinde kuru mg Se/kg taze ağırlık prensibine göre 3,535-9,330 mg/kg selenyum saptanırken, bu değer yaş ağırlık ilkesine göre 0,884-2,333 mg/kg arasında belirlenmiştir.

Ankri ve Mirelman (1999), allisinin antimikrobiyal özellikleri ile ilgili yapmış olduğu çalışmada, taze sarımsağın dövülerek elde edilen ekstraktlarında allisin içeriğinin çok önemli seviyede olduğunu saptamıştır. Saf formda allisinin antimikrobiyal ve antibakteriyel aktivite sergiledikleri bulunmuştur. Bazı antibiyotik ilaçlara karşı dirençli olan Gram-negatif ve Gram-pozitif bakterilerin geniş bir yelpazesi, *Escherichia coli* enterotoxigenic suşlar ve özellikle *Candida albicans*'a karşı mantar önleyici aktivitesi olduğu saptanmıştır.

Arzanlou ve Bohlooli (2010), taze sarımsaklardan allisin sentezi ilgili çalışmasında, yeşil sarımsak bitki özlerinde allisin'in varlığını araştırmıştır. Taze sarımsak ekstraktında,

sarımsak yapraklarında ve taze sarımsak gövdesinde allisin içeriği HPLC yöntemi ile belirlenmiştir. Allisin sarımsakta en fazla gövde de 0.48 ± 0.01 mg / mL, daha sonra yeşil sarımsak yapraklarında ve taze sarımsak gövdesinde 0.44 ± 0.00 ve 0.26 ± 0.01 mg / mL'dir. Bu çalışmada elde edilen sonuçlar taze sarımsak bitkisinin güçlü bir allisin kaynağı olduğu saptanmıştır ve birçok ülkede taze sarımsaklar allisin kaynağı olarak kullanılmaktadır.

Demiray ve Tülek (2014), sarımsak dilimlerinin konveksiyonlu kurutucuda kuruma karakteristiklerinin belirlenmesi çalışmasında, kabin tipi kurutma makinesinde sarımsak dilimlerinin kurutma sıcaklıklarının kuruma kinetiği üzerindeki etkilerini incelenmiştir. Deneysel kurutma verileri arasında sarımsak dilimlerinin kurutma karakteristik özelliklerini açıklayan en uygun kurutma modeli Page ve Modifiye Page Modeli olduğunu saptamıştır. Sarımsak dilimlerinin kurutma işleminin gerçekleştiği sıcaklık aralığında nem difüzyonu $4,214 \times 10^{-10}$ ve $2,221 \times 10^{-10}$ m² s⁻¹ ve aktivasyon enerjisi 30,582 kJ mol⁻¹ olarak bulunmuştur.

2.10. Kurutmanın Matematiksel Modellemeleri

Matematiksel modelleme kurutma teknolojisinin en önemli parçasıdır. Matematiksel modellenme, optimum çalışma koşullarına karar verme ve daha sonra istenilen çalışma koşullarında uygun kurutmayı yapabilmek için kurutma donanımlarının tasarımlarına olanak sağlamaktadır. Modelleme teorisi, etkin sistemi tanımlayan bir grup matematiksel denklemdir. Bu denklemleri uygulayarak işlemlerin başlangıç koşullarının bilgisi ile zamanın bir fonksiyonu tahmin edilebilir. Ancak, kuruma eş zamanlı ısı ve kütle transferi dâhil çok karmaşık bir süreç olduğu için, denklemler sayısal yöntemler kullanılmadan çözmek neredeyse imkânsızdır. Bu nedenle, analitik yolla çözülebilir aşağıdaki varsayımlara, basitleştirilmiş modelleri kullanarak elde edilebilir (Kutlu vd., 2015).

1. İhmal edilebilir büzülme
2. Düzgün ilk nem dağılımı
3. Sabit difüzyon katsayısı
4. İhmal edilebilir harici direnç

Fick'in İkinci Kanunu genel difüzyonal kurutma aralığında gıdaların kurutma kinetiğinin çeşitli modellemeleri için kullanılır (Eşitlik 2.7).

$$\frac{dM}{dt} = \nabla(D_{eff} \nabla M) \quad (2.7)$$

Sonsuz bir levha için boyutsuz nem oranı denklemi Eşitlik 2.8’de ve Eşitlik 2.9 boyutsuz nem oranı verilmiştir.

$$\ln MR = \ln \frac{8}{\pi^2} - \frac{D_{eff}\pi^2}{4L^2} \cdot t \quad (2.8)$$

$$MR = \frac{M - M_e}{M_i - M_e} \quad (2.9)$$

D_{eff} : Difüzyon katsayısı (m^2/s)

M : Belirli zamanda nem miktarı (kg su miktarı/kg kuru madde)

M_e : Denge nem miktarı (kg su miktarı/kg kuru madde)

M_i : Başlangıç nem miktarı (kg su miktarı/kg kuru madde)

L : Ürünün kalınlığı (m)

MR : Boyutsuz nem oranı

Eşitlik 2.8 ve 2.9 sadeleştirildiğinde aşağıdaki denklem elde edilir (Eşitlik 2.10).

$$M_R = \frac{8}{\pi^2} \exp\left(-\frac{\pi^2 D_{eff}^t}{L^2}\right) \quad (2.10)$$

Bilim adamları Eşitlik 1.6’ya dayanarak kuruma davranışını açıklayan bir dizi başarılı modeller tanımlamışlardır. Kurutma sabiti “k” yerine taşıma özellikleri söz konusu olduğu modeller kullanmışlar ve bu modellere ince tabaka model olarak adlandırmışlardır (Çizelge 2.4). İnce tabaka denklemleri kurutma işlemlerinin bağımsız kontrol mekanizmasını uyumlu bir şekilde ifade etmektedir. Bu denklemler, tarım ürünlerinin kuruma sürelerini tahmin etmek ve kuruma eğrilerinin genel formunu etme etmek için kullanılır (Kutlu vd., 2015).

Çizelge 2.4. Bazı ince tabaka kurutma modelleri (Mayor ve Sereno, 2003)

Modeller	Denklemler
Handerson ve Pabis	$MR = a \exp(-kt)$
Newton	$MR = \exp(-kt)$
Page	$MR = \exp(-kt^n)$
Modifiye Page	$MR = \exp(-kt)^n$
Logaritmik	$MR = a \exp(-kt) + c$

2.10.1. Handerson ve Pabis Modeli

Handerson ve Pabis Modeli Eşitlik 2.6'nın Fick'in İkinci Yasası'nın basitleştirilmiş şeklidir (Kutlu vd., 2015).

$$M_R = \frac{M - M_e}{M_i - M_e} = a \exp(-kt) \quad (2.11)$$

2.10.2. Newton Modeli

Newton Modeli, Handerson ve Pabis Modeli'ne çok benzemekle beraber Newton'un Soğutma Yasası'na paralel bir model olarak kabul edilmiştir. Bu model temel olarak bir sıvı içerisinde daldırılmış bir gövdeden ısı akışı ile düşük sıcaklıklarda tarım ürünlerinin kurutulmasında kullanılmaktadır (Kutlu vd., 2015).

$$M_R = \frac{M - M_e}{M_i - M_e} = \exp(-kt) \quad (2.12)$$

2.10.3. Page Modeli

Page Modeli, 1949 yılında Page, Newton Modeli'nde kurutma süresini daha iyi açıklayabilmek için "t" üs ekleyerek yeni bir model geliştirerek yeni bir model oluşmasını sağlamıştır (Kutlu vd., 2015).

$$M_R = \frac{M - M_e}{M_i - M_e} = \exp(-kt^n) \quad (2.13)$$

2.10.4. Modifiye Page Modeli

Modifiye Page Modeli, Page Modeli'ndeki "k" üstel ekleyerek geliştirilmiş bir modeldir (Kutlu vd., 2015).

$$M_R = \frac{M - M_e}{M_i - M_e} = \exp((-kt)^n) \quad (2.14)$$

2.10.5. Logaritmik Model

Logaritmik Model, bu model kurutma mekanizmasını tanımlamak için yaygın olarak kullanılan bir denklemdir (Kutlu vd., 2015).

$$M_R = \frac{M - M_e}{M_i - M_e} = a \exp(-kt) + c \quad (2.15)$$

Yukarıdaki bu modeller nem oranını açıklamak için kullanılmaktadır. Deneysel olarak bulunan ve modeller ile tahmin edilen ayrılabilir nem oranı değerleri arasındaki uyumu istatistiksel olarak açıklamak amacıyla tahminin standart hatası (RMSE), ki-kare (χ^2) değerleri ile modelin modelleme yeterliliği (EF) kullanılmaktadır (Kutlu ve vd., 2015).

$$RMSE = \sqrt{\left[\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (MR_{tahmini,i} - MR_{deneysel,i})^2 \right]} \quad (2.16)$$

$$ki - kare = \frac{\sum_{i=1}^N (MR_{deneysel,i} - MR_{tahmini,i})^2}{N - n} \quad (2.17)$$

$$EF = \frac{\sum_{i=1}^N (ANO_{deneysel,i} - ANO_{deneysel,ort})^2 - \sum_{i=1}^n (ANO_{tahmini,i} - ANO_{deneysel,i})^2}{\sum_{i=1}^N (ANO_{deneysel,i} - ANO_{deneysel,ort})^2} \quad (2.18)$$

Bu modellerde $MR_{tahmini}$: Tahmini ayrılabilir nem oranı, $MR_{deneysel}$: Deneysel ayrılabilir nem oranı, N:Deneysel veri sayısı, n:Kullanılan modeldeki katsayı sayısı ve $MR_{deneysel\ ort}$: Deneysel ayrılabilir nem oranı değerlerinin ortalamasıdır. Tahminin standart hatası (RMSE), model ile elde edilen tahmini değerler ile deneysel değerler arasındaki sapmayı göstermektedir. Ayrıca ki-kare (χ^2) değerinin azalması ile uyumun arttığı belirtilmektedir. Bunların yanında deneysel verileri açıklayan modelin modelleme yeterliliği (EF) değerinin bire yakın olması modelin kullanılabilirliğinin bir göstergesidir (Kutlu vd., 2015).

2.11. Bazı Gıda Ürünleri İçin Kurutma Kinetiği Çalışmaları

Erbay (2007) zeytin yaprağının kurutma kinetiğinin incelenmesi çalışmasında araştırma sonuçlarını doğrusal olmayan regresyon analizini kullanarak ince tabaka kurutma modellerine uygulanmıştır (Çizelge 2.5). Yapılan analiz sonucunda zeytin yaprağının kurutma kinetiğini en iyi açıklayan matematiksel modelin, en yüksek r^2 ile en düşük ki-kare değerlerine sahip olan Midilli ve Küçük Modeli olduğu saptanmıştır.

Çizelge 2.5. Zeytin kurutma modellerin istatistik sonuçları (Erbay, 2007)

Modeller	r^2	χ^2
Newton	0,997	$6,80.10^{-4}$
Page	0,999	$2,78.10^{-4}$
Modifiye Page	0,999	$2,78.10^{-4}$
Handerson ve Pabis	0,997	$6,27.10^{-4}$
Logaritmik	0,999	$8,63.10^{-5}$
Midilli ve Küçük	0,999	$7,53.10^{-5}$

Kurutma kinetiğinin matematiksel modellenmesi ile ilgili başka çalışmada ise Yaldız ve arkadaşları (2001) sultan üzümünün kurutma modellemesini çalışmışlardır (Çizelge 2.6). Bu çalışmada r^2 ve ki-kare değerlerine göre en uygun model Page Modeli olduğu tespit etmiştir.

Çizelge 2.6. Üzüm kurutma kinetiğinin modellenmesinde kullanılan kurutma modellerin istatistik sonuçları (Yaldız vd., 2001)

Modeller	r^2	χ^2
Newton	0,969	$6,30.10^{-3}$
Page	0,974	$4,96.10^{-3}$
Modifiye Page	0,970	$5,76.10^{-2}$
Handerson ve Pabis	0,969	$5,82.10^{-3}$
Logaritmik	0,970	$5,68.10^{-2}$

Başka bir kurutma kinetiği çalışmasında Goyal ve arkadaşları (2007) erik dilimlerinin tünel tipi kurutucuda kurutulmasını modellemiş (Çizelge 2.7) ve r^2 ve ki-kare değerlerine göre en uygun model Logaritmik Model olduğunu tespit etmiştir.

Çizelge 2.7. Erik kurutmada kullanılan modellerin istatistik sonuçları (Goyal vd., 2007)

Modeller	r^2	χ^2
Newton	0,997	$5,96.10^{-5}$
Page	0,997	$5,99.10^{-5}$
Handerson ve Pabis	0,997	$6,66.10^{-5}$
Logaritmik	0,999	$3,64.10^{-5}$

Sarı ve Karaarslan (2014) ananasın mikrodalga kurutma ve uygun kurutma modelinin bulunması çalışmasında, ilk nem içeriği %88 olan ananas meyvesinin nem içeriği %7 olan ananasları çalışmasının materyali olarak kullanmıştır. Ananasın kurutma işlemleri, kuruma süresine bağlı olarak mikrodalga gücünü (180, 360, 540, 720 ve 900W), mikrodalga gücü ile sıcak hava (180, 360 ve 540 W) , (100, 150 ve 200°C) kombinasyonu ve

sadece sıcak hava (100, 150 ve 200°C) ile gerçekleştirilmiştir. Yapılan alışma sonucu elde edilen verilere göre en uygun kurutma modeli Midilli-Küçük Modeli olarak bulunmuştur.

3.MATERYAL VE METOT

3.1.Materyal

Kurutma denemelerinde kullanılan sarımsak, Kastamonu'nun Taşköprü ilçesinde Taşköprü Sarımsak Üreticileri Birliği tarafından hakiki Taşköprü sarımsağı kabul edilen sarımsaklar temin edilerek çalışmamızda kullanılmıştır (Şekil 3.1). Temiz olgun ve sağlam olanları seçilip kurutma işlemine kadar +4°C'de buzdolabında muhafaza edilmiştir.



Şekil 3.1. Kurutma işleminde kullanılacak Taşköprü sarımsağı

Denemelerde kullanılan Taşköprü sarımsağı örneklerinin, kurutma işlemine başlamadan önce ilk nem içeriği, etüvde 130°C sıcaklıkta 3 saat kurutulmasıyla saptanmıştır (Anonim, 2008). Kuru madde miktarı %36,2 olarak bulunmuş ve ilk nem içeriği %63,8 olarak tespit edilmiştir.

3.1.1. Denemelerde Kullanılan Sistemler ve Ölçü Aletleri

Taşköprü sarımsağı, hava sirkülasyonu olan, Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Bilişsel ve Teknoloji Uygulama ve Araştırma Merkezi'nde bulunan etüvde (Mimmert UN 160, Mimmert, Schwabach, Almanya) kurutulmuştur. Kurutma kabınınin genel görünümünü Şekil 3.2'de ve kurutma kabinine ait teknik özellikler Çizelge 3.1'de verilmiştir.



Şekil 3.2. Fanlı hava sirkülasyonlu etüv tipi kurutucu

Çizelge 3.1. Fanlı hava sirkülasyonlu etüv tipi kurutucunun teknik özellikleri

Özellikler	Değerler
Dış ebatlar (GxDxY, mm)	745 x 584 x 1107
İç ebatlar (GxDxY, mm)	560 x 400 x 720
Hacim (L)	161
Maksimum yükleme kapasitesi (kg)	210
Sıcaklık aralığı (°C)	10-900
Programlama	Kabin içindeki sıcaklık ve bağıl nem dijital olarak ayarlanır ve izlenir
Tepsi özellikleri	40 x 60 cm ebadında, delikli paslanmaz telden sabit olmayan 4 adet tepsi

3.1.2. Denemelerde Kullanılan Cihazlar

Manuel olarak kabuklarından ayıklanan sarımsaklar uygun kalınlıkta kurutma işlemi için sarımsak dilimleyicisi (E12330, Zyliss) (Şekil 3.3) kullanılmıştır. Kurutma denemeleri süresince örneklerin ağırlıkları 0,1 mg hassasiyetli elektronik terazi (ITEM PA214C, Ohaus, NJ, ABD) ile ve tartım için gerekli olan oda sıcaklığına kadar soğutma işlemi desikatör kullanılmış ve su aktivitesini belirlemek için su aktivitesi ölçüm cihazı (Testo 645, Testo, İzmir, Türkiye) kullanılmış, kül tayini için kül fırını, allisin ekstraksiyonu için santrifüj (Allegra x-30R, Beckman Coulter, Almanya) kullanılmıştır.



Şekil 3.3. Sarımsak dilimleyici

3.2. Metot

Kurutma denemeleri etüvde 50, 60 ve 70°C sıcaklıklarda asıl kurutma işlemine geçmeden her bir sıcaklıklarda ayrı ayrı ön deneme yapılmıştır. Ön denemeler sonucunda örneklerin kuruma davranışını ortaya koymak için çalışmanın gerçekleştirildiği koşullara göre örnekleme zamanları belirlenmiş, denemelerin tamamlanması için uygun olabilecek nem içerikleri ve bu nem içeriklerine ulaşılması için gerekli olan zaman ve su aktiviteleri belirlenmiştir. Asıl denemeler, ön denemelerde elde edilen sonuçlar dikkate alınarak yürütülmüştür.

3.2.1. Örnek Hazırlama

Kurutma işlemine kadar +4°C’de buzdolabında muhafaza edilen yaklaşık 5 kg Kastamonu Taşköprü sarımsakları oda sıcaklığında 2 saat denge stabilizasyonu için bekletilmiştir. Bekletilen sarımsak kabuklarından manuel olarak ayrılmış ve ortalama 3 mm kalınlığında olacak şekilde sarımsak dilimleyicisi yardımıyla dilimlenmiştir (Rasouli, 2011). Dilimlenen sarımsaklar, allisin oluşumu için 30 dakika oda sıcaklığında bekletilmiştir. Dilimlenmiş sarımsaklar (Şekil 3.4) kurutma öncesi kalibrasyonu yapılan konvektif fırınında 50, 60 ve 70°C sıcaklıkta kurutma işlemine maruz bırakılmıştır. Kurutma işlemi sırasında farklı zamanlarda numunelerin ağırlık kayıpları gravimetrik olarak takip edilmiş ve her bir zaman diliminde kurutulan numunelerden (Şekil 3.5 ve 3.6) yirmişer gram alınarak -24°C’de analiz öncesinden saklanmıştır.



Şekil 3.4. Kurutma öncesi dilimlenmiş Taşköprü sarımsağı



Şekil 3.5. Kurutma öncesi kuruma haznesine dizilmiş Taşköprü sarımsak dilimleri



Şekil 3.6. Kuruma sonrası, dilimlenmiş Taşköprü sarımsak örnekleri

3.2.2. Analiz Yöntemleri

3.2.2.1. Toplam Kuru Madde İçeriklerinin Belirlenmesi

Bu çalışmada Taşköprü sarımsak örneklerinin kuru madde içeriği, etüvde 130°C sıcaklıkta sabit tartıma ulaşmıncaya kadar kurutulması yoluyla belirlenmiştir (Anonim, 2008).

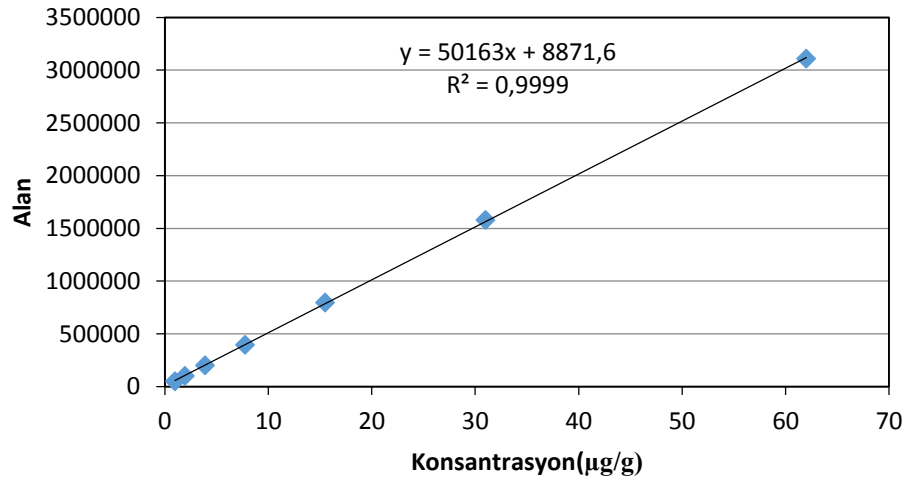
3.2.2.2. Sarımsak Ekstraktlarının Hazırlanması

Ekstrakt elde edebilmek için, kurutma işlemi sırasında alınan ve -24°C'de muhafaza edilen sarımsaklardan yirmişer gram havan yardımıyla ezilip ve içerisine 50 mL soğuk distile su konularak ultrasonik su banyosunda 10 dakika boyunca ses dalgalarına maruz bırakılmıştır. 50 mL Falcon tüple santrifüjleme işlemi (+4°C sıcaklıkta 20 dakika süre ile 12320 G-Force) sonrasında berrak süpernatant uygun bir balon jöje içerisine toplanmış ve ekstraksiyon işlemi bir kez daha yapıldıktan sonra süpernatantlar bir araya getirilmiştir. Hacim tamamlandıktan sonra, numuneler analiz öncesinde -24°C sıcaklıkta saklanmıştır (Zor, 2006; Ratti, 2007).

3.2.2.3. Standart Allisin Çözeltisinin Hazırlanması

Standart allisin (Santa Cruz Biyoteknoloji, Dallas, ABD) çözeltisi 1mg/100µL saf allisin standardı 900 µL ultra saf su ve metanol (HPLC saflıkta, Sigma-Aldrich, ABD)'de (50:50, v:v) çözülerek -24°C sıcaklıkta muhafaza edilmiştir. Standart çalışma çözeltileri

stok çözeltiler mobil faz (metanol ve su karışımı) ile 64, 32, 16, 8 ve 4 kat seyreltilmek suretiyle hazırlanmış ve standart allisin kalibrasyon grafiği Şekil 3.7’de verilmiştir.



Şekil 3.7. Standart allisin kalibrasyon grafiği

3.2.2.4. HPLC Sistemi ve Kromatografik Koşulları

Allisinin tanımlanması ve degradasyonun belirlenmesi hesaplamalarında (Şekil 3.8) yüksek performanslı sıvı kromatografisi (HPLC) cihazı kullanılmıştır. HPLC cihazı 4'lü pompa (quarternary pump), PDA dedektör, gaz giderici (degasser) ve kolon fırını ve otosamplerden oluşmaktadır. Elde edilen kromatogramlar “Shimadzu LC Solution” yazılım programı ile değerlendirilmiştir. HPLC sisteminde mobil faz olarak, metanol-su karışımı (50:50, v/v) kullanılmıştır (Arzanlou ve Bohlooli, 2010). Kromatografik analiz sonuçları, 1mL/dakikalık bir akış oranında, 30°C sıcaklıkta yapılmış ve allisin 220 nm’de tespit edilmiştir.



Şekil 3.8. Yüksek performanslı sıvı kromatografisi (HPLC) cihazı

Kromatografik koşullar aşağıda özetlenmiştir:

- **Kolon:** C-18 kolonu (250 x 4,6 mm ID, 5µm) (MZ-Analysentechnik, Kromasil, Mainz /Almanya)
- **Akış hızı:** 1 mL/min
- **Elüsyon süresi:** 25 min
- **Enjeksiyon hacmi** 20 µL
- **Dalga boyu:** 220 nm
- **Hareketli faz (mobil faz):** Metanol-su (50:50, v:v)
- **Kolon sıcaklığı:** 30°C

3.2.3. Kurutma Kinetiğinin Belirlenmesi

Taşköprü sarımsakların kurutma işlemi sonucunda elde edilen bulgularla sarımsak dilimlerinin kuruma hızı (Eşitlik 3.1) ve nem oranını (Eşitlik 3.2) belirlendi. Kurutma kinetiğinin matematiksel modellemesini belirlemesi için ince tabaka kurutma modellerinden Page, Modifiye Page, Logaritmik, Handerson ve Pabis ve Newton Modelleri seçilmiştir.

Nem İçeriğinin Hesaplanması

Taşköprü sarımsaklarının kurutulması çalışmalarında, nem içeriğinin belirlenmesi için yapılan çalışmaların hesaplamaları Eşitlik 3.1'deki denklem esas alınarak hesaplanmıştır;

$$M_t = \frac{m-KM}{KM} \quad (3.1)$$

Eşitlik 3.1'de,

M_t = Herhangi bir t anındaki nem içeriği (kg su/kg kuru madde)

m = Örneğin ağırlığı (g)

KM = Örneğin içerdiği kuru madde miktarıdır (g) (Maskan, 2001).

Kuruma Hızının Hesaplanması

Kuruma hızı, nem içeriğine karşılık kuruma zamanı eğrilerinin türevlerinin alınması ile bulunmuştur.

$$\text{Kuruma Hızı} = \frac{M_{t-dt} - M_t}{dt} \quad (3.2)$$

Eşitlik 3.2’de,

M_{t-dt} = t+dt anındaki nem içeriği (kg su/kg kuru madde)

M_t = Herhangi bir t anındaki nem içeriği (kg su/kg kuru madde)

dt = Kuruma zamanını (h) ifade etmektedir (Maskan, 2001).

Nem Oranının Hesaplanması

Nem oranı Eşitlik 3.3’te göre hesaplanmıştır.

$$MR = \frac{M_t - M_e}{M_0 - M_e} \quad (3.3)$$

Bu eşitlikte

MR = Nem oranı (birimsiz)

M_t = Herhangi bir t anındaki nem içeriği (kg su/kg kuru madde)

M_e = Denge anındaki nem içeriği (kg su/kg kuru madde)

M_0 = Başlangıçtaki nem içeriğidir (kg su/kg kuru madde).

Gıdaların kurutulması işleminde; M_e değeri M_t ve M_0 ile kıyaslandığında çok küçüktür ve hesaplamalarda M_e değerinin kullanılmasının sonuçlara herhangi bir etki etmeyeceğinden kullanılmayabilir (Maskan, 2001).

3.2.4. Allisin Degradasyonunun Reaksiyon Derecesinin Belirlenmesi

Sıfıncı Dereceden Kinetik Model

Sıfıncı dereceden kinetik model Eşitlik 3.4’te sunulmuştur.

$$A_t = A_0 - kt \quad (3.4)$$

Eşitlik 3.4’te,

A : Herhangi bir t anındaki bileşen değeri

A_0 : t=0 anındaki bileşen değeri

k_0 : Kinetik sabit (h^{-1})

t : Kuruma zamanını (h) ifade etmektedir (Maskan, 2001).

Birinci Dereceden Kinetik Model

Birinci dereceden kinetik model Eşitlik 3.5'te sunulmuştur.

$$\ln A_t = \ln A_0 - kt \quad (3.5)$$

Eşitlik 3.5'te,

A: Herhangi bir t anındaki bileşen değeri

A₀: t=0 anındaki bileşen değeri

k₁: Kinetik sabit (h⁻¹)

t: Kuruma zamanını (h) ifade etmektedir (Maskan, 2001).

İkinci Dereceden Kinetik Model

İkinci dereceden kinetik model Eşitlik 3.6'da sunulmuştur.

$$\frac{1}{A} = \frac{1}{A_0} + kt \quad (3.6)$$

A: Herhangi bir t anındaki bileşen değeri

A₀: t=0 anındaki bileşen değeri

k₂: Kinetik sabit (h⁻¹)

t: Kuruma zamanını (h) ifade etmektedir (Maskan, 2001).

3.2.5. Aktivasyon Enerjisinin Hesaplanması

Reaksiyonun sıcaklık derecesine bağımlılık düzeyi, hem Q₁₀ ve hem de aktivasyon enerjisinin (E_a) hesaplanmasıyla belirlenmiştir. Reaksiyon hızı ve sıcaklık arasındaki ilişki Arrhenius tarafından 1889'da tanımlanmış olup bugün de geçerliliğini koruyan bu ifade Eşitlik 3.7'de verilmiştir.

$$k = k_0 \exp^{-E_a/RT} \quad (3.7)$$

Eşitlik 3.7'de,

k= Kinetik sabit (1/h)

k_0 =Arrhenius sabiti veya frekans faktörü (h^{-1})

E_a =Aktivasyon enerjisi (kJ/mol)

R = gaz sabiti ($8,314 \times 10^{-3}$ kJ/mol.K)

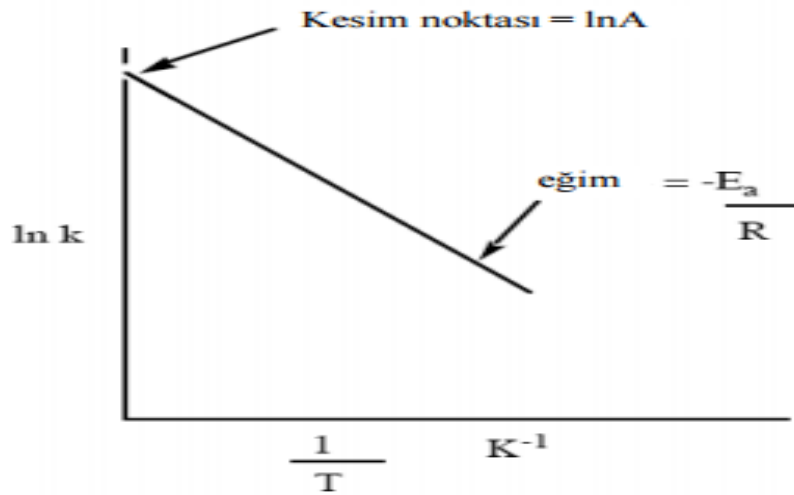
T =Sıcaklık (K)

Eşitlik 3.7 ile verilen Arrhenius bağıntısının doğal logaritması alınarak,

$$\ln k = \ln k_0 - E_a/RT \quad (3.8)$$

Eşitlik 3.8 elde edilir. Bu eşitlikten yararlanılarak aktivasyon enerjisi hesaplanır. $1/T - \ln k$ grafiği çizilerek (Şekil 3.9) elde edilen doğrunun eğiminden yararlanılarak ve Eşitlik 3.9 kullanılarak, E_a hesaplanır.

$$E_a = -(\text{eğim})R \quad (3.9)$$



Şekil 4. $1/T$ ye göre kinetik sabitinin doğal logaritmasının ($\ln k$) grafiğinden aktivasyon enerjisi hesaplanması (Acartürk, 2007)

3.2.6. Q_{10} Değerinin Hesaplanması

Reaksiyonun sıcaklığa bağımlılığı gösteren diğer bir kinetik katsayı olan Q_{10} değeri, sıcaklığın 10°C yükseltilmesinin reaksiyon hızına etkisini gösteren bir kriter olup (Cemeroğlu vd., 2011), Eşitlik 3.8'den yararlanılarak hesaplanmıştır.

$$Q_{10} = (k_2/k_1)^{10/(T_2-T_1)} \quad (3.10)$$

$k_1 = T_1$ sıcaklığındaki kinetik sabit (1/h)

$k_2 = T_2$ sıcaklığındaki kinetik sabit (1/h)

$T_1 =$ Sıcaklık (K)

$T_2 =$ Sıcaklık (K)

3.2.7. Yarı Ömür Süresinin ($t_{1/2}$) Hesaplanması

Yarı ömür süresi, allisinin %50'sinin kaybı için gerekli süre olup genellikle yarılanma ömürleri daha çok birinci derece reaksiyonlar için kullanılmaktadır. sıfırcı ve ikinci derece kinetik reaksiyonlar için yarı ömür süreleri anlamlı olmadığından pek fazla kullanılmamaktadır (Cemeroğlu vd., 2011). Sıfırcı dereceden olan tepkimeler için gerekli görüldüğünde kullanılan yarı ömür Eşitlik 3.11'de, birinci derece reaksiyonlar için kullanılan yarılanma ömrü denklemini Eşitlik 3.12'de, ikinci derece reaksiyonlar için kullanılan yarılanma ömrü ise Eşitlik 3.13'te sunulmuştur.

$$t_{1/2} = \frac{A_0}{2 \cdot k_0} \quad (3.11)$$

$$t_{1/2} = \frac{0,693}{k_1} \quad (3.12)$$

$$t_{1/2} = \frac{1}{A_0 \cdot k_2} \quad (3.13)$$

3.2.8 Regresyon Analizleri

Ortalama hata kareleri toplamın karekökü (RMSE), model ile elde edilen tahmini değerler ile deneysel değerler arasındaki sapmayı göstermektedir. Ayrıca ki-kare (χ^2) değerleri Eşitlik 2.16 ve 2.17 ifadeleri kullanılarak hesaplanmıştır. Hesaplamalarda Microsoft Excel programı kullanılmıştır.

3.2.9. İstatiksel Analizleri

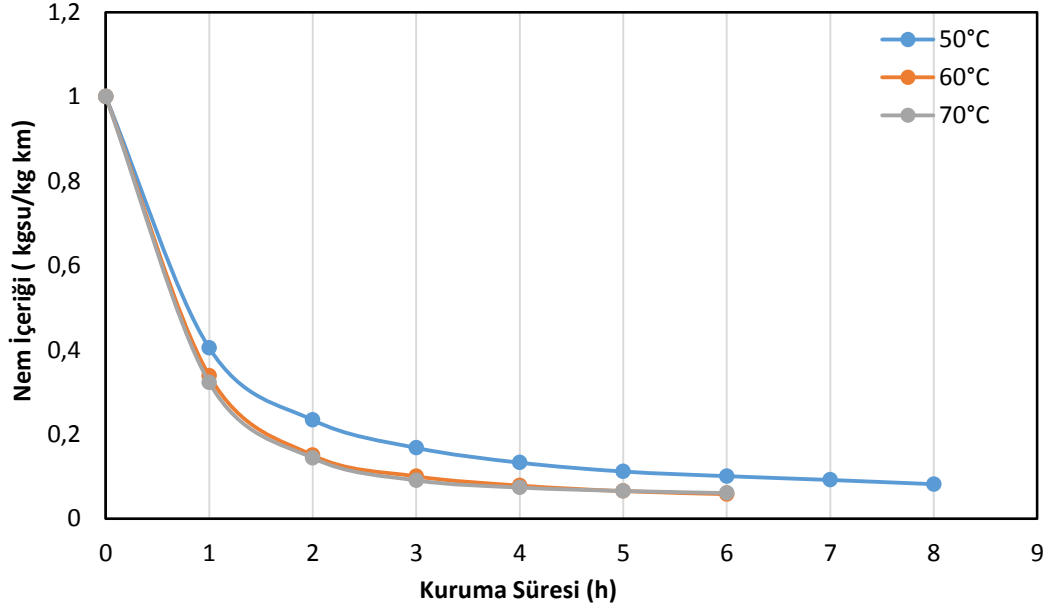
Üç tekerrürlü olarak gerçekleştirilen denemeler sonucunda yapılan iki paralelli analizlerden elde edilen veriler the SAS System for Windows 9.0 (SAS Institute Inc., Carry, North Carolina, ABD) istatistiksel paket programı kullanılmış ve varyans analizi yapılmıştır. Ortalamalar arasındaki farklılık düzeyi Duncan çoklu karşılaştırma testi kullanılarak

$\alpha=0,005$ düzeyinde belirlenmiş ve harflendirme Saxton (2000) tarafından geliştirilen PDGLM800 Makro kullanılarak elde edilmiştir.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

4.1. Nem İçeriği Değişimi

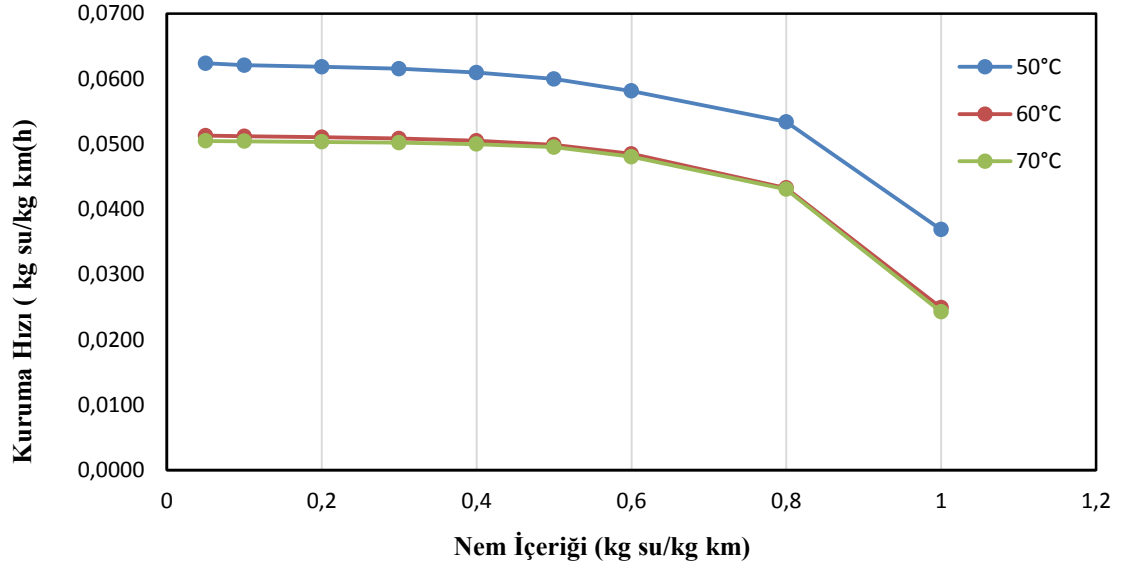
Kullanılan sarımsak örneklerinin başlangıç ortalama nem içeriklerinin üç farklı kurutma sıcaklığında (50, 60 ve 70°C) zamana bağlı olarak nem içeriğindeki değişimler Şekil 4.1.'de grafiksel olarak sunulmuştur.



Şekil 4.1. Farklı sıcaklık değerlerinde kurutulan sarımsak örneklerine ait nem içeriği değerlerinin kuruma zamanı ile değişimi

4.2. Kuruma Hızı Değişimi

50, 60 ve 70° C sıcaklık değerlerinde kurutulan sarımsak örneklerinin kuruma hızları, bu ortamlarda zamana bağlı olarak belirlenmiş olan nem oranlarının kullanımı ile Eşitlik 3.1'den hesaplanmıştır. Her bir sıcaklık için elde edilen kuruma hızı değerleri, örneğin nem içeriğine bağlı olarak Şekil 4.2'de grafiksel olarak gösterilmiştir.



Şekil 4.2. Farklı sıcaklık değerlerinde kurutulmuş sarımsak örneklerine ait kuruma hızı değerlerinin nem içeriği ile değişimi

Sarımsak örneklerinin kurutulması sırasında tüm sıcaklık derecelerinde yapılan kurutma işlemleri Şekil 4.2 incelendiğinde, çoğunlukla azalan hızda kuruma periyodu gözlemlenmiştir. Sabit hızda kuruma periyodu yer yer gözlenmiştir.

Kurutmanın genel prensiplerine göre yüksek sıcaklık altında yapılan hızlı kurumunun, kurutulan ürünün etrafında yüzeysel sert bir kuru tabaka oluşturup, iç kısımlardaki suyun uzaklaşmasını engellediği bilinirken, çalışmada sıcaklık arttıkça kuruma hızında dolayısıyla sarımsaktan nem taşınmasında azalma görülmemiştir. Sarımsak dilimlerinin boyutunun, yüzeyde sert bir kuru tabakanın oluşumunu engellediği düşünülmektedir.

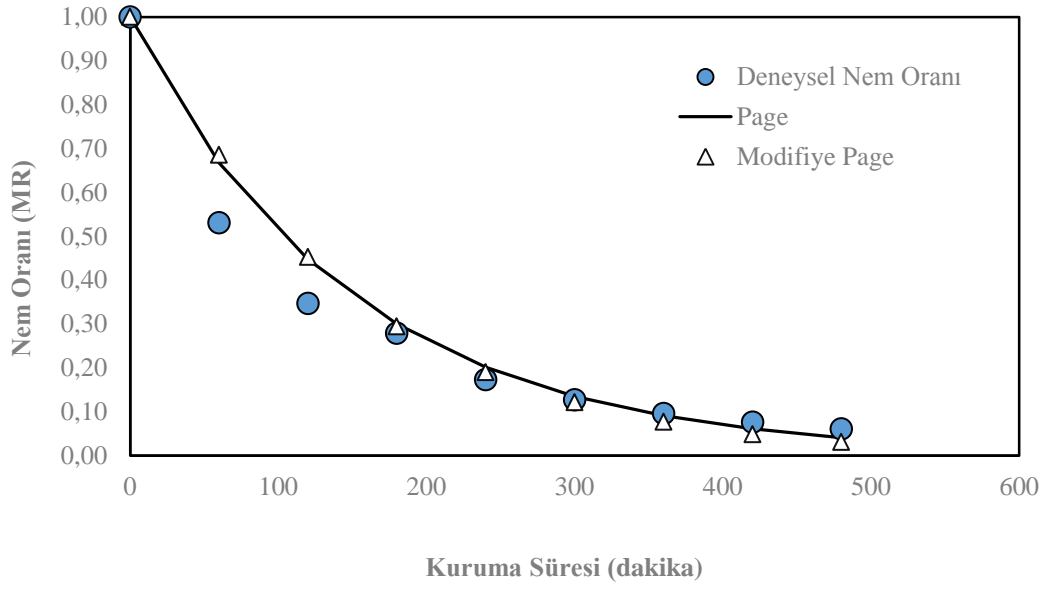
4.3. Kuruma Kinetiğine Ait Modelleme Çalışmaları

Fan hava sirkülasyonlu etüv tipi kurutucuda kurutulan sarımsak örneklerinin üç farklı sıcaklık ortamında kurutulması sırasında elde edilen nem oranı değerlerinin kuruma zamanı ile değişimini içeren deneysel veriler, doğrusal olmayan regresyon analizi ile beş ayrı ince tabaka kuruma modellerine uygulanmıştır. Bu analizin sonucunda elde edilen model uyum sonuçları Çizelge 4.1’de verilmiştir.

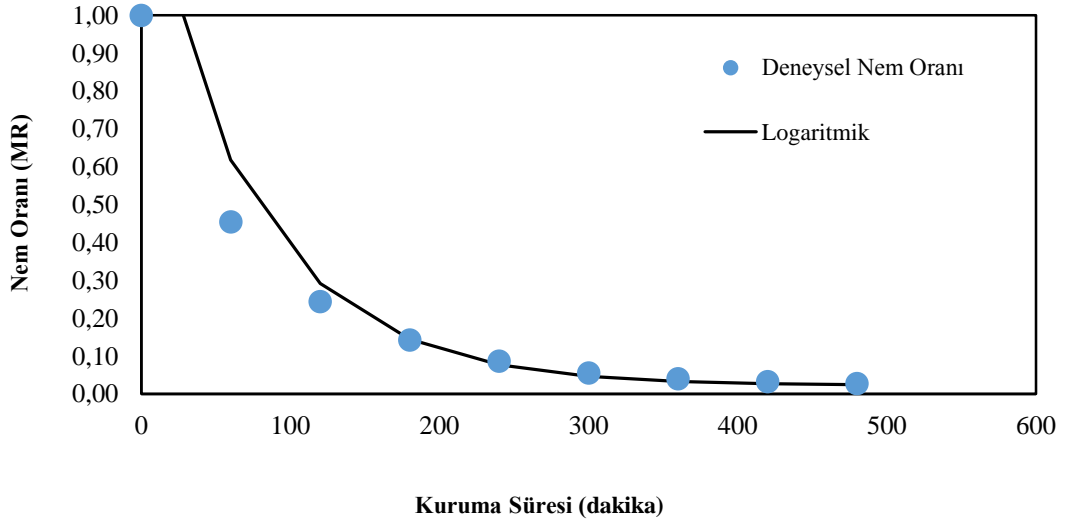
Çizelge 4.1. Farklı sıcaklık değerlerinde kurutulan sarımsak örneklerinde elde edilen deneysel sonuçların doğrusal olmayan regresyon analizi ile teorik modellere uyumun incelenmesi

MODEL	Sıcaklık (°C)	Sabitler ve Katsayılar			χ^2	RMSE	r^2
Henderson ve Pabis	50	k=0,0057	a=0,7765		0,01838	0,11960	0,9787
	60	k=0,0074	a=0,6669		0,01193	0,09633	0,9563
	70	k=0,0083	a=0,5698		0,01288	0,09830	0,8855
Newton	50	k=0,0057			0,00685	0,07300	0,9787
	60	k=0,0074			0,00118	0,03033	0,9563
	70	k=0,0083			0,00830	0,07880	0,8855
Page	50	k=0,0339	n=0,7137		0,00919	0,08450	0,9927
	60	k=0,0400	n=0,7415		0,00384	0,05467	0,9908
	70	k=0,0562	n=0,7079		0,00118	0,02298	0,9403
Modifiye Page	50	k=0,0087	n=0,7137		0,00632	0,07013	0,9927
	60	k=0,0130	n=0,7415		0,00186	0,03800	0,9908
	70	k=0,0171	n=0,7079		0,00154	0,03359	0,9403
Logaritmik	50	k=0,2736	a=2,6000	c=0,0610	0,05054	0,19830	0,9884
	60	k=0,0122	a=0,9463	c=0,0330	0,03833	0,17270	0,9975
	70	k=0,0177	a=1,0794	c=0,0330	0,00640	0,06930	0,9967

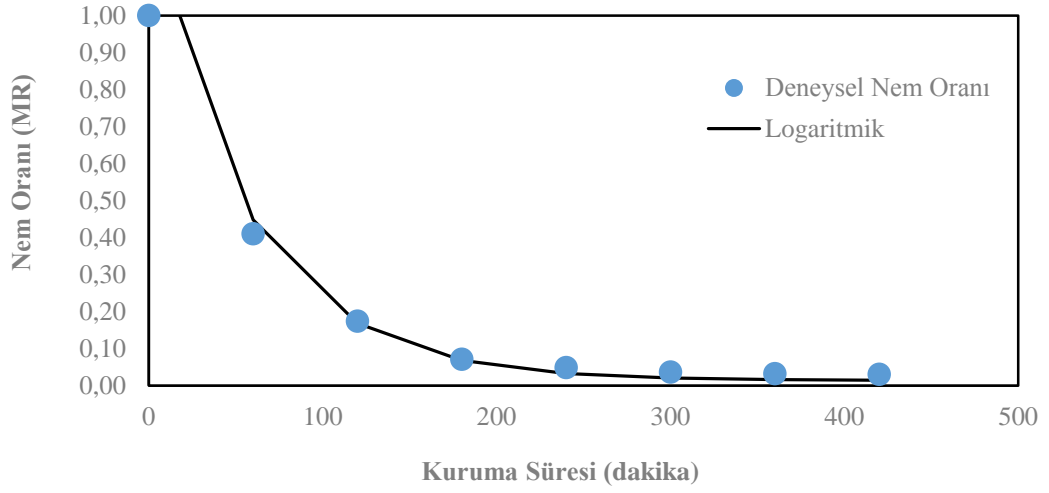
50°C sıcaklık değerlerine göre deneysel verilere en iyi uyum veren modellerin, en yüksek r^2 ile en düşük RMSE (Root Mean Square Error) ve ki-kare değerlerini veren “Page” ile “Modifiye Page” modelleri olduğu görülmüş, 60 ve 70°C sıcaklık değerlerine göre ise de “Logaritmik” modelin olduğu görülmüştür. Bunun yanı sıra, kurutma süresi boyunca deneysel nem içeriği değerlerinin azalışının, tüm kurutma sıcaklıklarında “Page”, “Modifiye Page” ve “Logaritmik” modelleri ile oldukça iyi uyum gösterdiği saptanmıştır (Şekil 4.3, 4.4 ve 4.5).



Şekil 5.3. 50°C kurutma ortamına ait deneysel nem oranları ile Page ve Modifiye Page modelden elde edilen nem oranlarının zamana göre değişimi

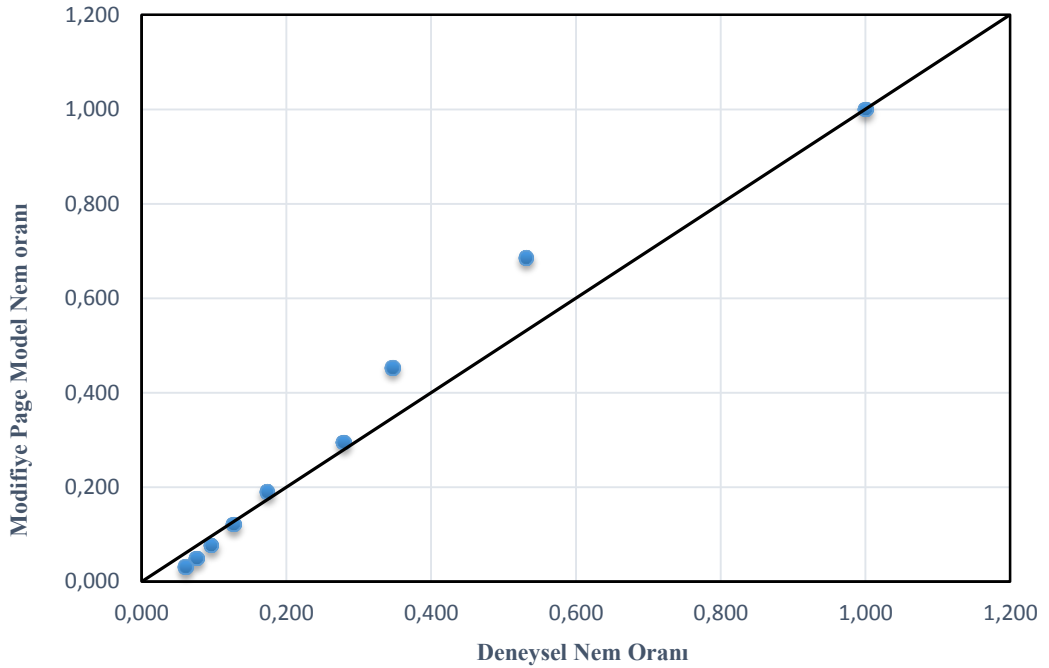


Şekil 4.4. 60°C kurutma ortamına ait deneysel nem oranları ile Logaritmik modelden elde edilen nem oranlarının zamana göre değişimi

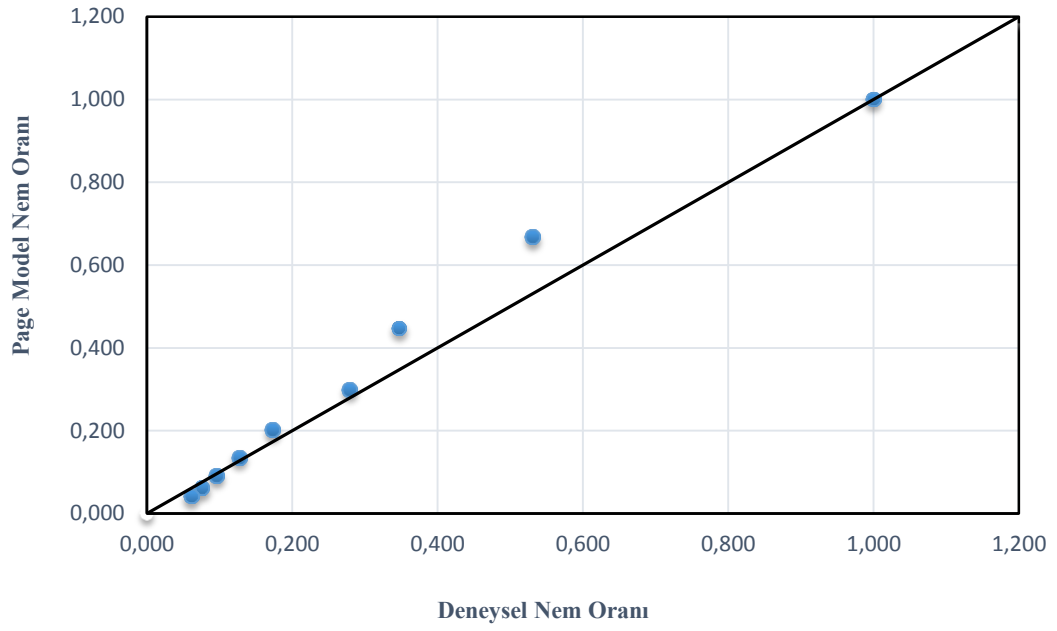


Şekil 4.5. 70°C kurutma ortamına ait deneysel nem oranları ile Logaritmik modelden elde edilen nem oranlarının zamana göre değişimi

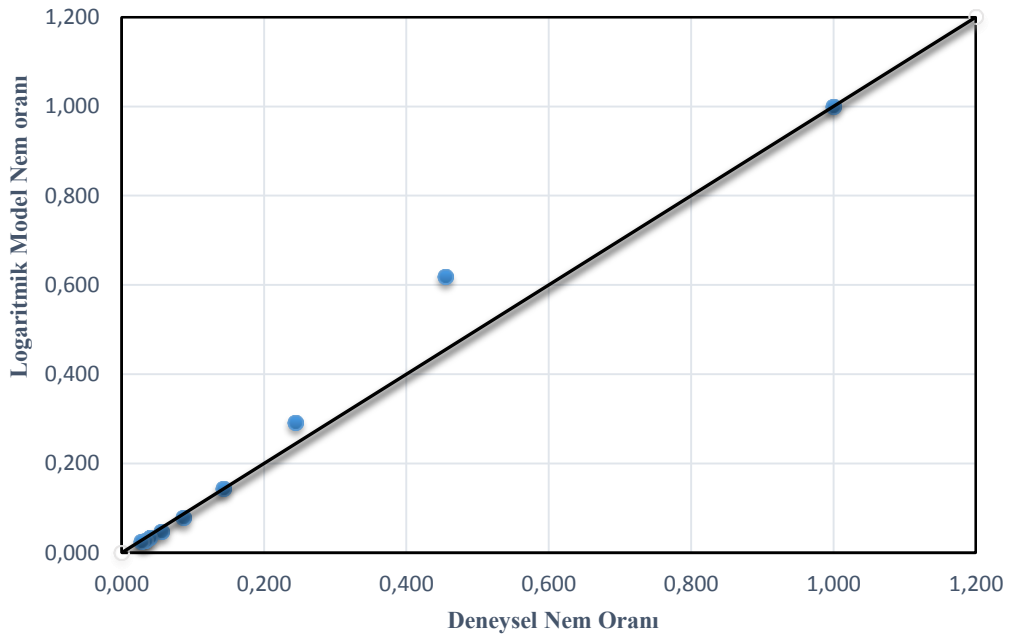
50,60 ve 70°C sıcaklık için deneysel kuruma oranı değerleri ile Page, Modifiye Page ve Logaritmik modellerinden elde edilen kuruma oranlarının uyumu sırasıyla Şekil 4.6, 4.7, 4.8 ve 4.9’da gösterilmiştir.



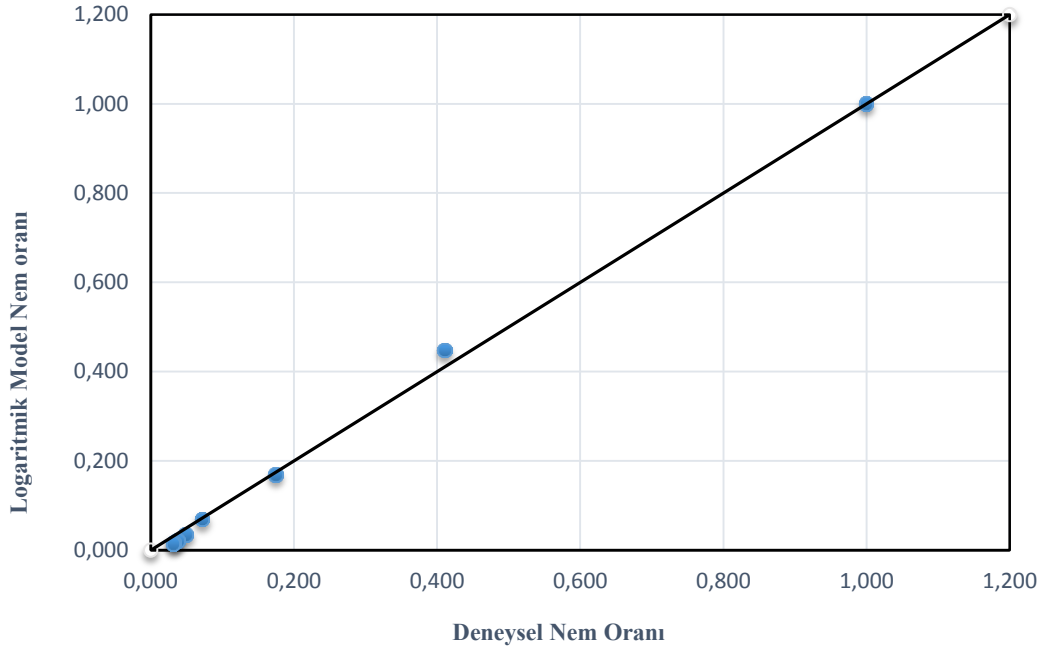
Şekil 6. 50°C sıcaklıkta kurutma için deneysel nem oranı sonuçları ile Modifiye Page modelden elde edilen nem oranı sonuçlarının uyumu



Şekil 4.7. 50°C sıcaklıkta kurutma için deneysel nem oranı sonuçları ile Page modelden elde edilen nem oranı sonuçlarının uyumu



Şekil 4.8. 60°C sıcaklıkta kurutma için deneysel nem oranı sonuçları ile Logaritmik modelden elde edilen nem oranı sonuçlarının uyumu



Şekil 4.9. 70°C sıcaklıkta kurutma için deneysel nem oranı sonuçları ile Logaritmik modelden elde edilen nem oranı sonuçlarının uyumu

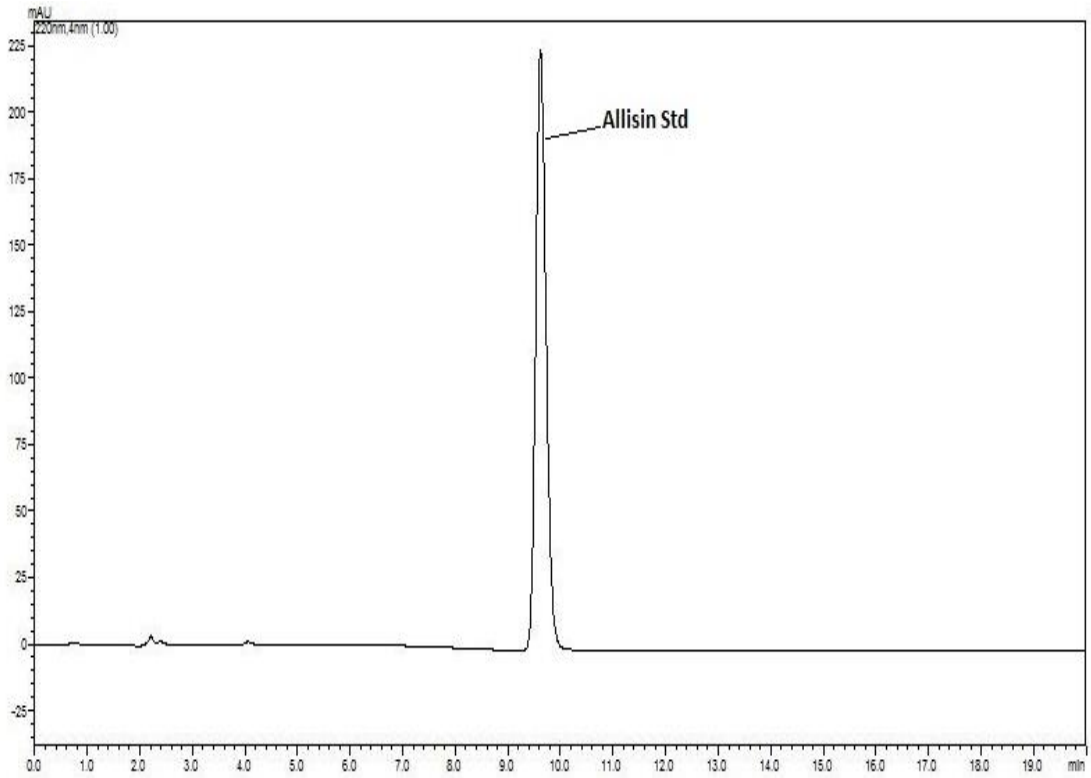
Sarımsağın kurutma kinetiği üzerine yapılan benzer çalışmalarda Babetto ve diğerleri 2011 yılında yapmış oldukları sarımsak dilimlerini kuruma sürecinin denge nem içeriği ve kurutma kinetiğinin belirlenmesi çalışmasında sarımsak dilimlerini konveksiyon tipi kurutucuda 30, 40, 45 ve 50°C’de kurumaya maruz bırakmış olduğu çalışmasında kurutma kinetiğini en uygun açıklayan ve r^2 ’si en yüksek olan matematiksel model Modifiye Halsey modeli olduğunu ve sıcaklığın artması ile kuruma hızının da arttığını tespit etmiştir. Figel (2009) taze Çin sarımsağının vakum fırında kurutma, kurutma kinetiğinin belirlenmesi çalışmasında 240, 480 ve 720 W güçte sarımsak dilimlerini kurutmuş ve kurutma sonucunda yapmış olduğu analizde vakum fırınının gücünün artırılması sarımsağın kuruma hızına olan etkisinin pozitif olduğu tespit edilmiştir. Demiray ve Tülek (2014) Taşköprü sarımsağının sıcak hava ile kurutmanın sarımsağın kuruma karakteristik özelliklerinin belirlenmesi çalışmasında sarımsaklar 3mm kalınlığında dilimlenerek 55, 65 ve 75°C sıcaklıkta kurutulmuş ve kurutma sonucunda r^2 değeri en yüksek olan Page ($r^2=0,9928$) ve Modifiye Page ($r^2=0,9970$) modellerinin sarımsak kurutma karakteristiğini açıklayan en uygun modeller olduğu tespit edilmiştir. Demiray ve Tülek çalışmalarında benzer materyal kullanmış olmalarına rağmen kurutma modellerinin 65 ve 75°C sıcaklıklarda da Page ve Modifiye Page modeller olması kurutma havasının belirli bir hızda yapmış olmasının yanında kuruma süresinin de daha kısa tutulmasından kaynaklandığı söylenebilir. Yukarıdaki

benzer çalışmaların sonuçlarından da anlaşılacağı gibi kurutma sıcaklığının artması kurutma hızını artırıcı bir etkisinin olduğu saptanmış ve literatür bulguları bu tez çalışmasının sonuçlarını destekler niteliktedir.

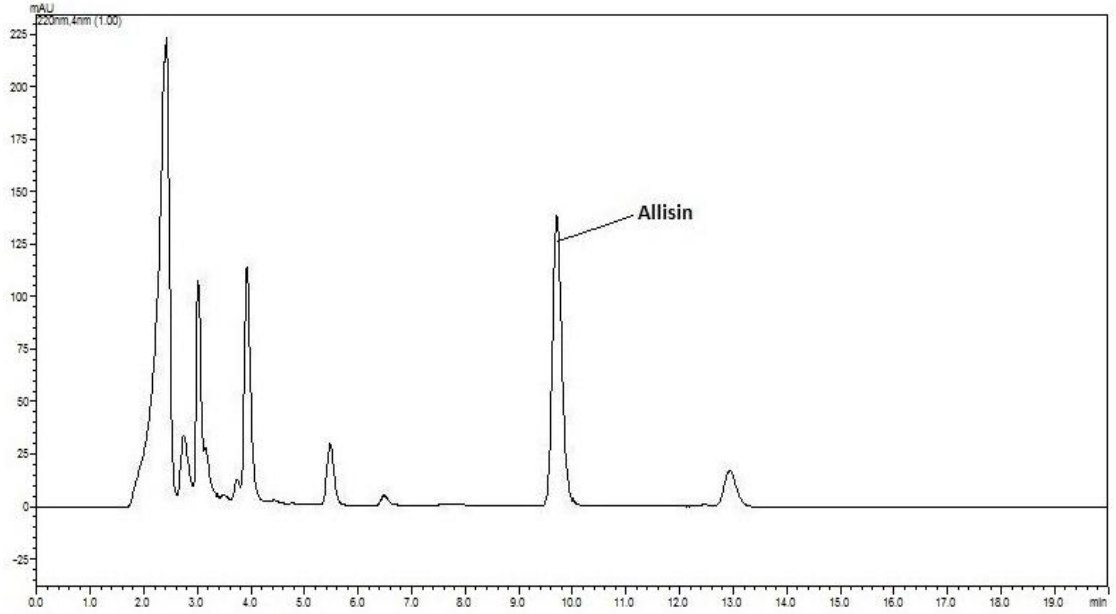
4.4. Allisinin Degradasyon Kinetiğinin Belirlenmesi

Bir reaksiyonun derecesi deney sonuçlarından yararlanılarak bulunur. Reaksiyonun derecesini bulmak için çeşitli yöntemler mevcut olup biz bu deney için grafik yöntemini kullandık. Grafik yöntemi ile reaksiyonun derecesini bulmada zamana karşı derişim verilerinin ve her derece için kinetik denklemler elde edilir. Sıfırncı derece için derişimle (A), zaman (t), birinci derece için derişimin doğal logaritmasıyla ($\ln A$), zaman(t) ikinci derece için ise derişimin tersi ($1/A$) ile zamanı(t) denklemler elde edilip grafiğı çizilerek reaksiyonun derecesi belirlenir (Acartürk, 2007).

Kurutma sonunda allisinin degradasyon kinetiğini hesaplamadan önce, kurutma öncesi sarımsağın allisin konsantrasyonu standart allisin çözeltisi kullanılarak yüksek performanslı sıvı kromatografisi cihazı ile tayin edildi ve standart allisin ve kuruma öncesi allisin kromatogramı Şekil 4.10 ve 4.11’de gösterilmiştir.



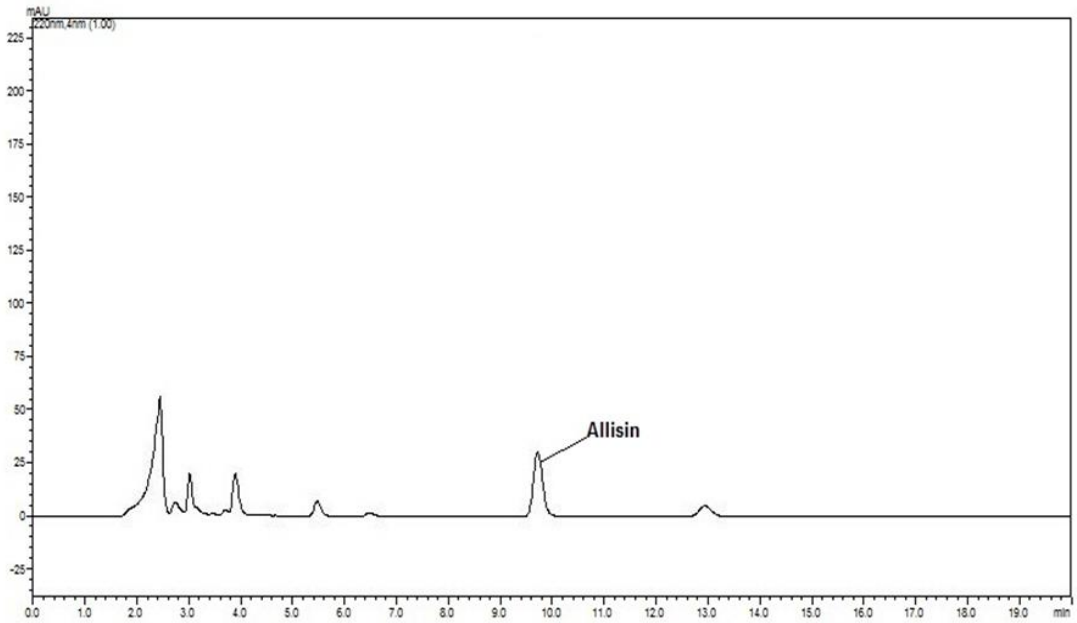
Şekil 4.10. Standart allisin kromatogramı



Şekil 4.11. Kuruma öncesi yaş sarımsakta allisin kromatogramı

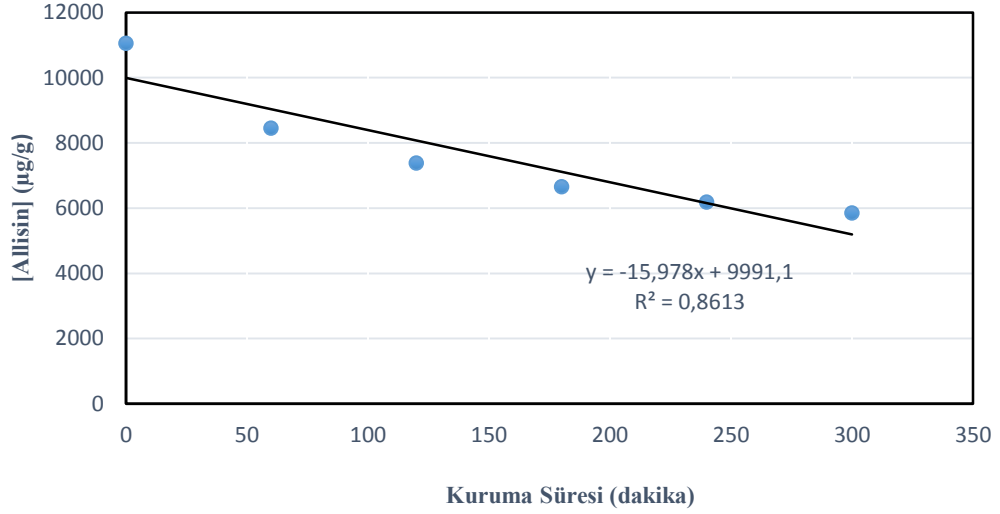
4.4.1. 50°C sıcaklık için allisin degradasyon kinetiğinin reaksiyon derecesinin belirlenmesi

Taşköprü sarımsağının 50°C’de kurutulması sonucunda kurutma öncesi sarımsakta bulunan başlangıç allisin konsantrasyonundan 3 saatlik kurutma sonunda kalan sarımsaktaki allisin konsantrasyonunu gösteren kromatogram Şekil 4.12’de gösterilmiştir.

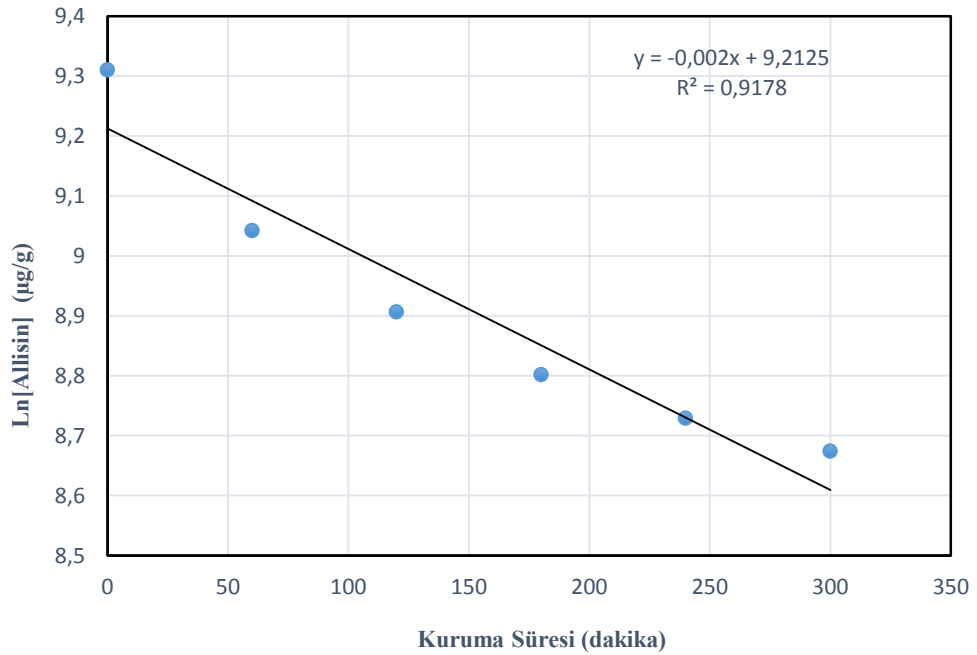


Şekil 4.12. 50°C’de 3 saat kurutulmuş sarımsakta allisin kromatogramı

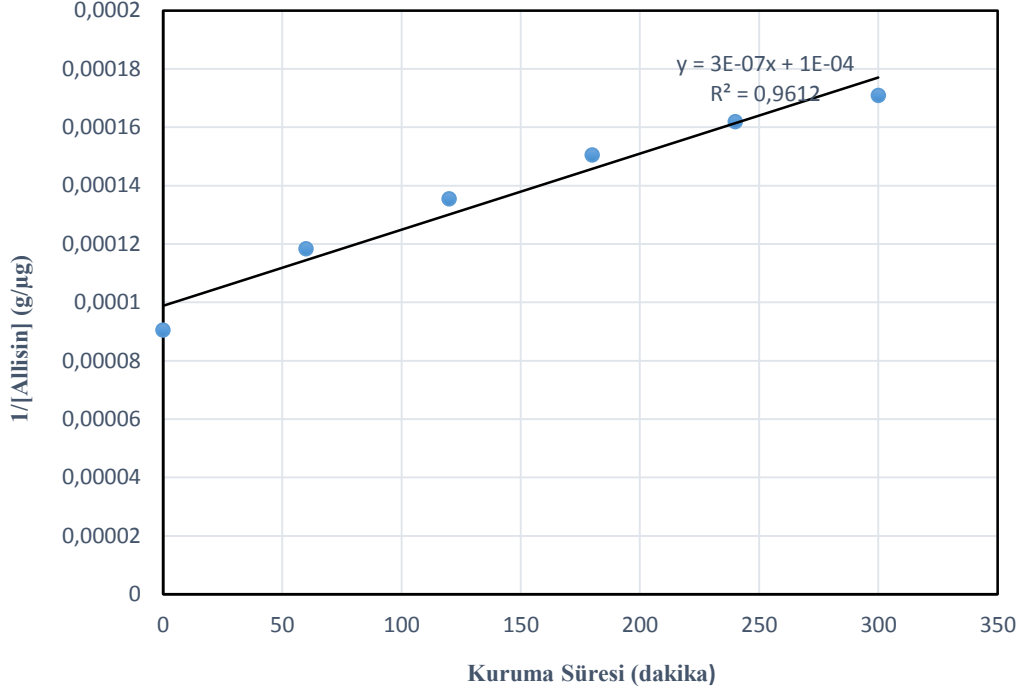
Taşköprü sarımsağının 50°C’de kurutulması sonucunda allisinin degradasyon kinetiğinin reaksiyon derecesini grafik yöntemi ile hesaplanmasını Şekil 4.13, 4.14 ve 4.15’te gösterilmiştir.



Şekil 4.13. 50°C için allisinin degradasyon kinetiğinin sıfıncı dereceden denkleme göre grafiği



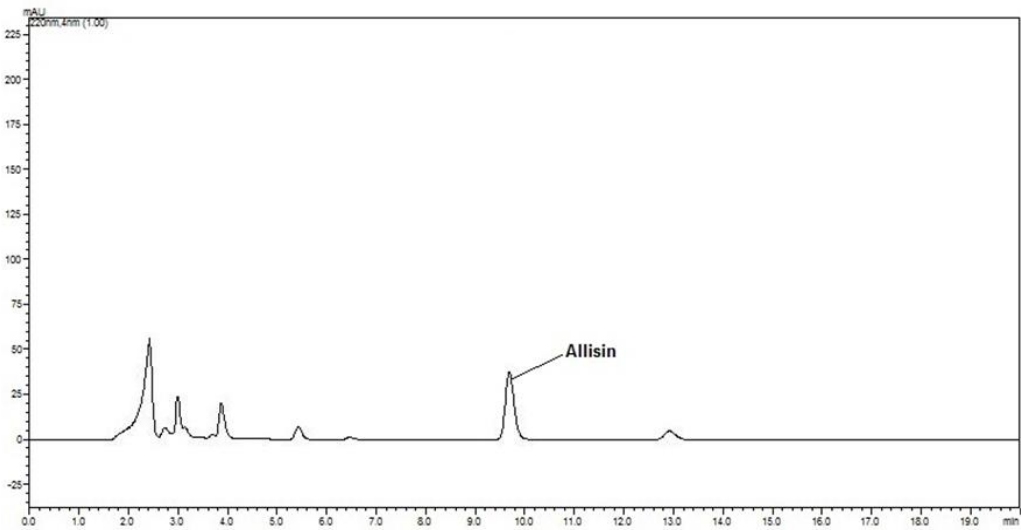
Şekil 4.14. 50°C için allisinin degradasyon kinetiğinin birinci dereceden denkleme göre grafiği



Şekil 4.15. 50°C için allisin degradasyon kinetiğinin ikinci dereceden denkleme göre grafiği

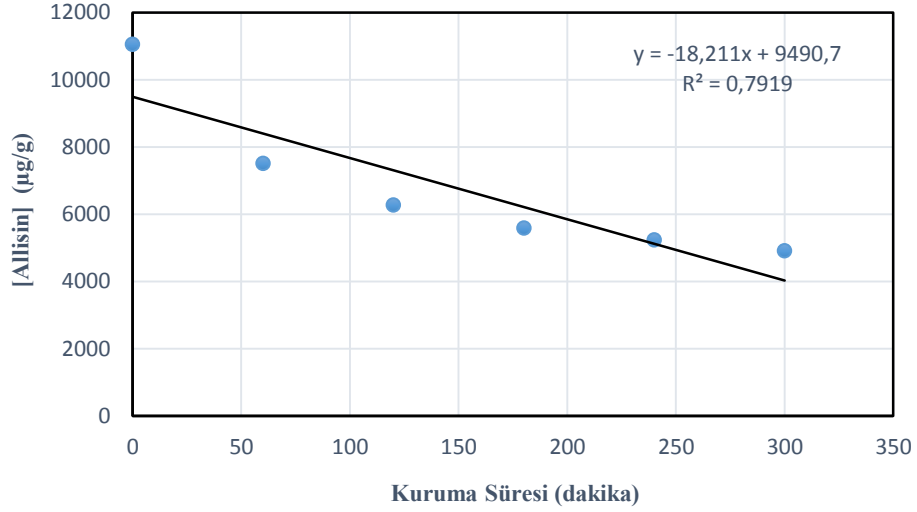
4.4.2. 60°C sıcaklık için allisin degradasyon kinetiğinin reaksiyon derecesinin belirlenmesi

Taşköprü sarımsağının 60°C'de kurutulması sonucunda kurutma öncesi sarımsakta bulunan başlangıç allisin konsantrasyonundan 3 saatlik kurutma sonunda kalan sarımsaktaki allisin konsantrasyonunu gösteren kromatogram Şekil 4.16'da gösterilmiştir.

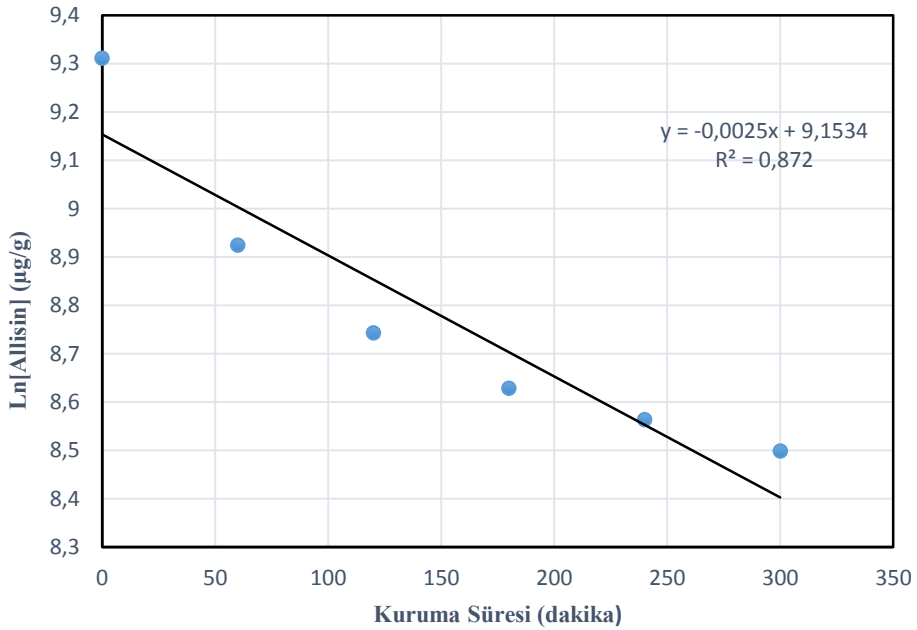


Şekil 4.16. 60°C'de 3 saat kurutulmuş sarımsakta allisin kromatogramı

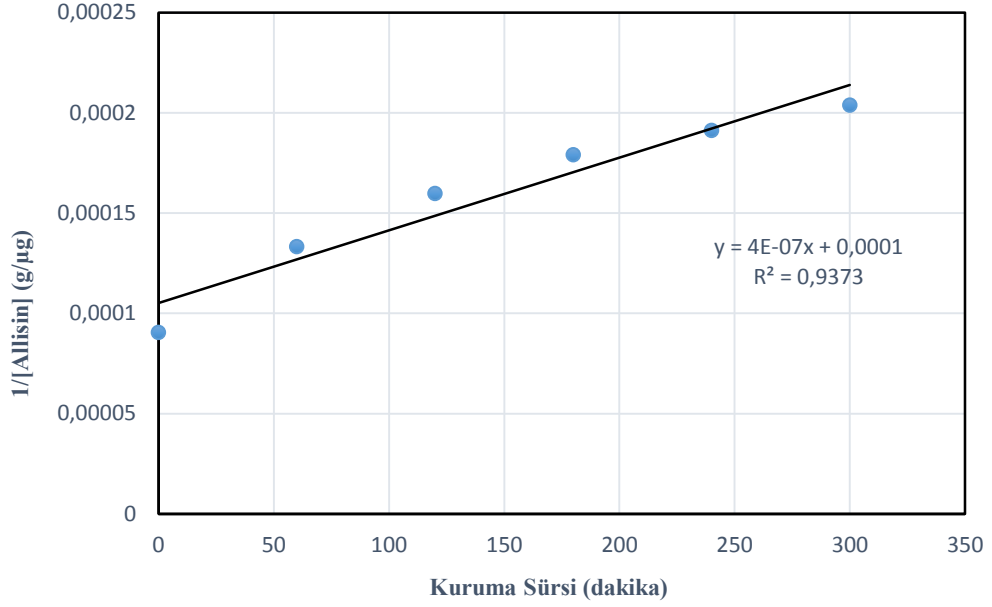
Taşköprü sarımsağının 60°C’de kurutulması sonucunda allisinin degradasyon kinetiğinin reaksiyon derecesini grafik yöntemi ile hesaplanmasını Şekil 4.17, 4.18 ve 4.19’da gösterilmiştir.



Şekil 4.17. 60°C için allisinin degradasyon kinetiğinin sıfırıncı dereceden denkleme göre grafiği



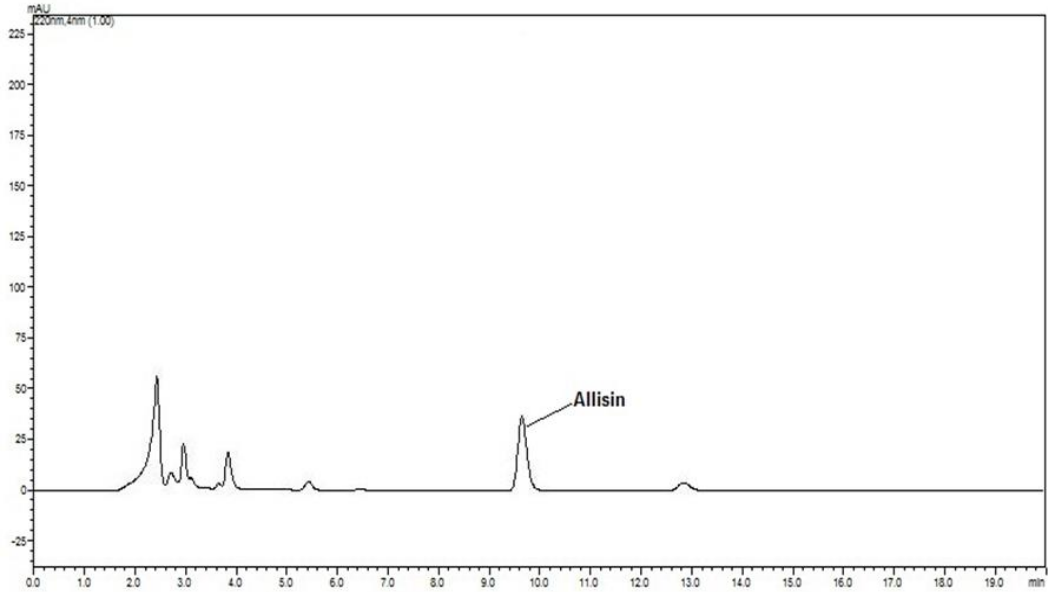
Şekil 4.18. 60°C için allisinin degradasyon kinetiğinin birinci dereceden denkleme göre grafiği



Şekil 4.19. 60°C için allisinin degradasyon kinetiğinin ikinci dereceden denkleme göre grafiği

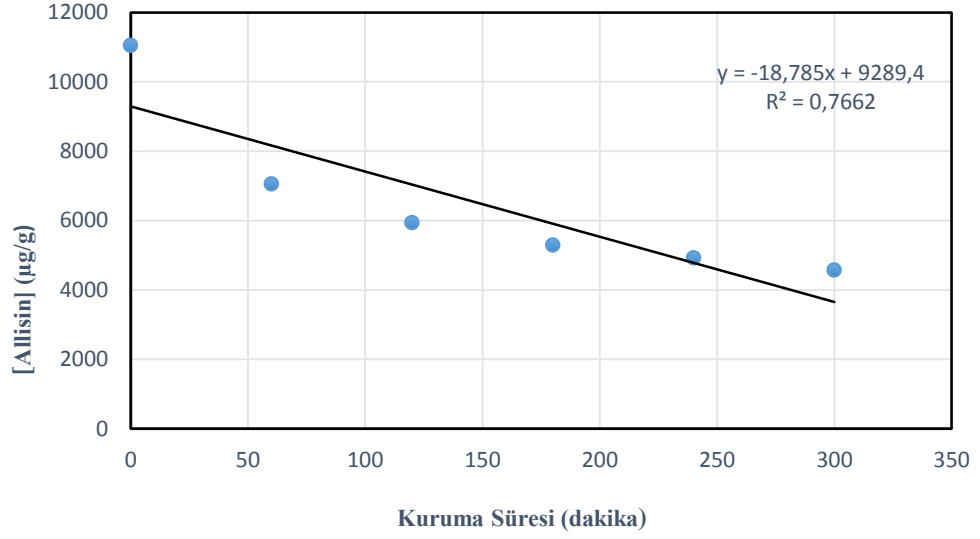
4.4.3. 70°C sıcaklık için allisin degradasyon kinetiğinin reaksiyon derecesi belirlenmesi

Taşköprü sarımsağının 70°C’de kurutulması sonucunda kurutma öncesi sarımsakta bulunan başlangıç allisin konsantrasyonundan 3 saatlik kurutma sonunda kalan sarımsaktaki allisin konsantrasyonunu gösteren kromatogram Şekil 4.20’de gösterilmiştir.

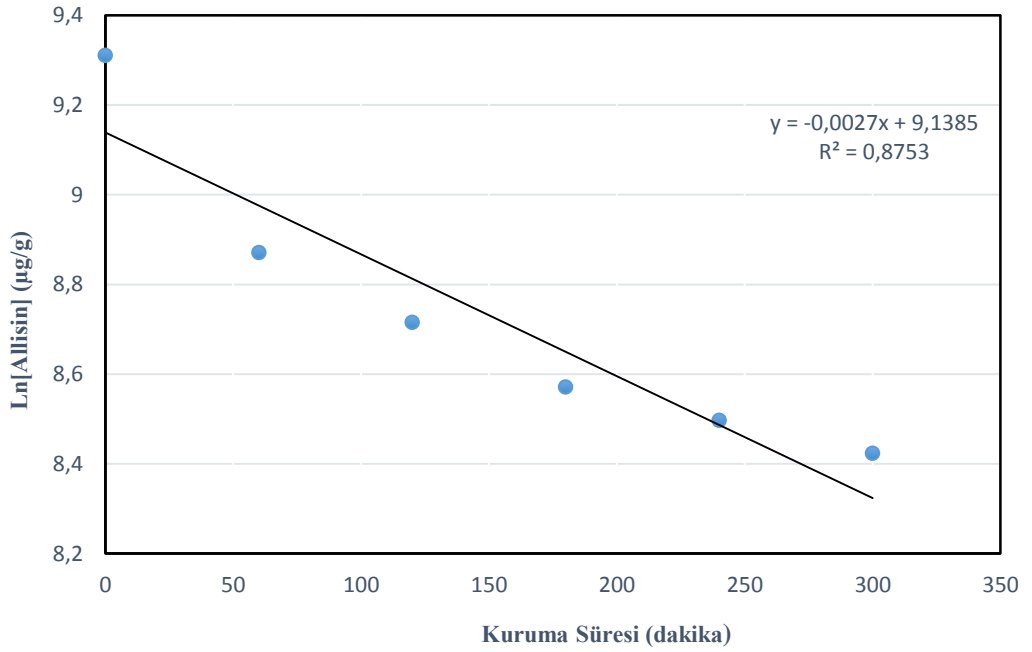


Şekil 4.20. 70°C’de 3 saat kurutulmuş sarımsakta allisin kromatogramı

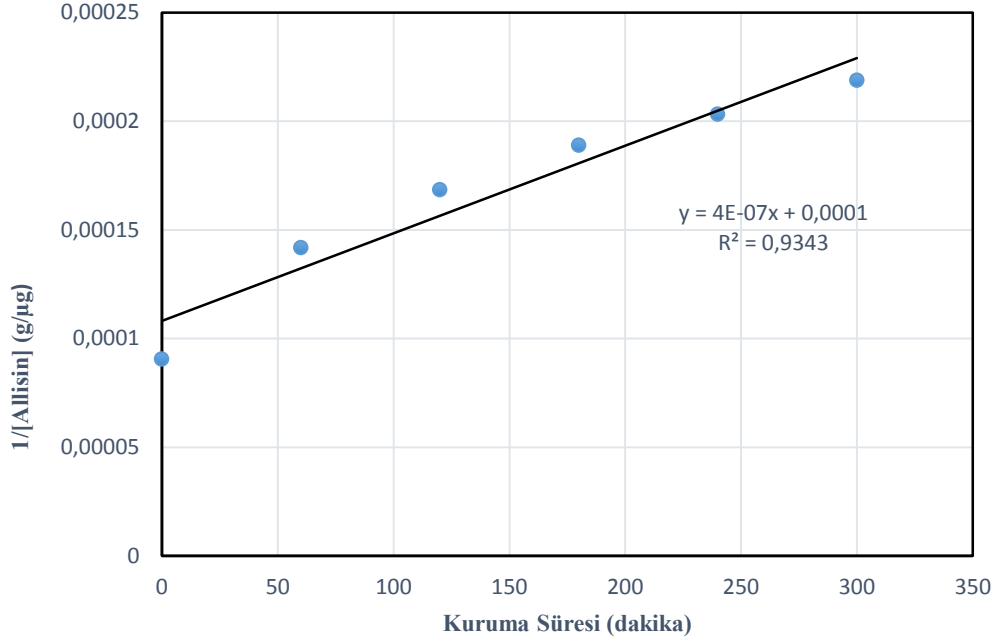
Taşköprü sarımsağının 70°C’de kurutulması sonucunda allisinin degradasyon kinetiğinin reaksiyon derecesini grafik yöntemi ile hesaplanmasını Şekil 4.21, 4.22 ve 4.23’te gösterilmiştir.



Şekil 4.21. 70°C için allisinin degradasyon kinetiğinin sıfırıncı dereceden denkleme göre grafiği



Şekil 4.22. 70°C için allisinin degradasyon kinetiğinin birinci dereceden denkleme göre grafiği



Şekil 4.23. 70°C için allisinin degradasyon kinetiğinin ikinci dereceden denkleme göre grafiği

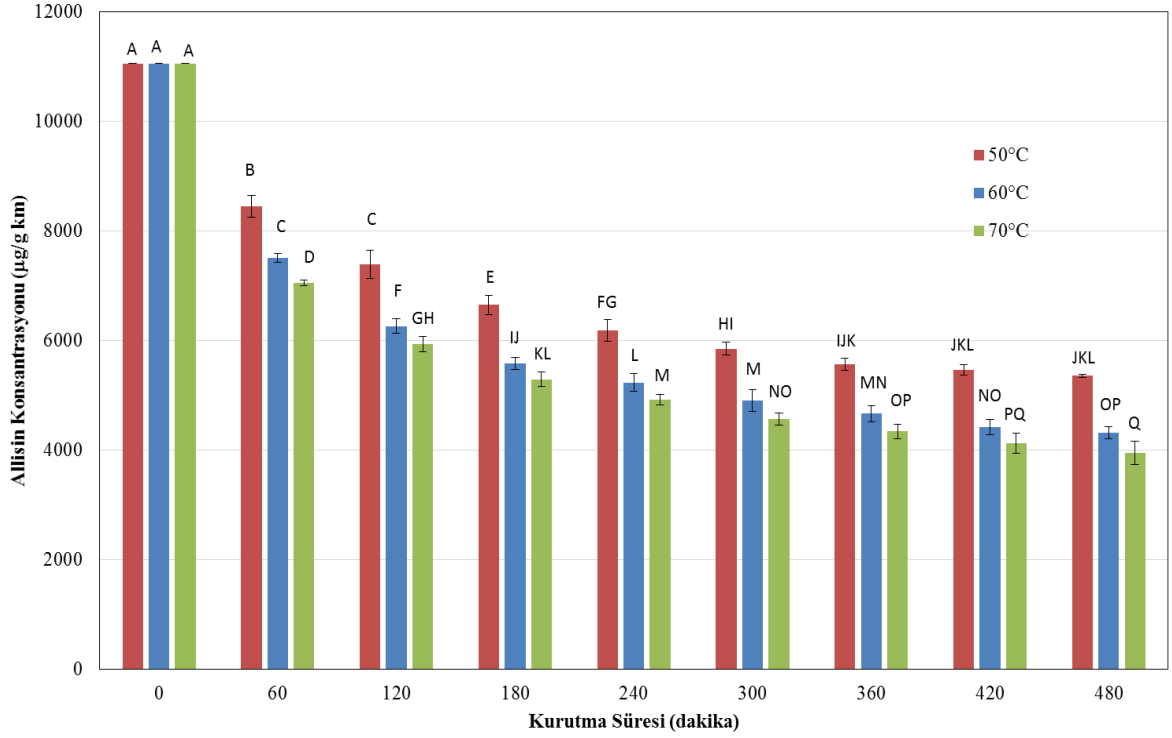
Çizelge 4.2. Farklı sıcaklık değerlerinde allisinin degradasyon kinetiğinin elde edilen deneysel sonuçların doğrusal olmayan regresyon analizi ile teorik modellere uyumun incelenmesi

Sıcaklık (°C)	Reaksiyon Derecesi	χ^2	RMSE	r^2	$t_{1/2}$ (dakika)
50	0.	6762501,9	2600,48	0,86	345,87
	1.	0,02106	0,13	0,91	206,09
	2.	4,76431E-08	0,0002	0,96	271,63
60	0.	14639483	3826,156	0,79	303,46
	1.	0,018574	0,124	0,87	107,64
	2.	1,60972E-07	0,0004	0,93	226,18
70	0.	18657837,77	4319,47	0,77	294,19
	1.	0,016759	0,118	0,86	92,59
	2.	1,81088E-07	0,0004	0,93	226,18

Gıdalarda gerçekleşen reaksiyonlar genellikle birinci derece reaksiyonlar olup, az miktarda sıfıncı ve ikinci derece reaksiyonlar meydana gelmektedir. Ancak bazı özel durumlarda ise reaksiyonların dereceleri kesirli olduğu durumlarla da karşılaşılmaktadır. Gıdalarda parçalanma bozulma gibi reaksiyonlarda ikinci derece reaksiyonlar az görülmesine karşın, Horak ve Kessler (1981), sütte tiyamin parçalanmasını, Robertsen ve Samaniego (1986), limon sularında askorbik asit parçalanmasında ikinci derece reaksiyon gerçekleşti-

ğini tespit etmişlerdir (Cemeroğlu, 2013). Taşköprü sarımsak dilimlerinin 50, 60 ve 70°C sıcaklıklarda kurutulması sonunda gerçekleşen allisinin degradasyon reaksiyonunun ikinci dereceden bir reaksiyon olması, gıdalarda çok az görülen ikinci derece reaksiyon olması bakımından önemlidir.

Taşköprü sarımsak dilimlerinin 50, 60 ve 70°C sıcaklıklarda kurutulması sonunda sarımsakta bulunan allisinin kurutma sürelerindeki degradasyonunu Şekil 4.24'te görülmektedir.



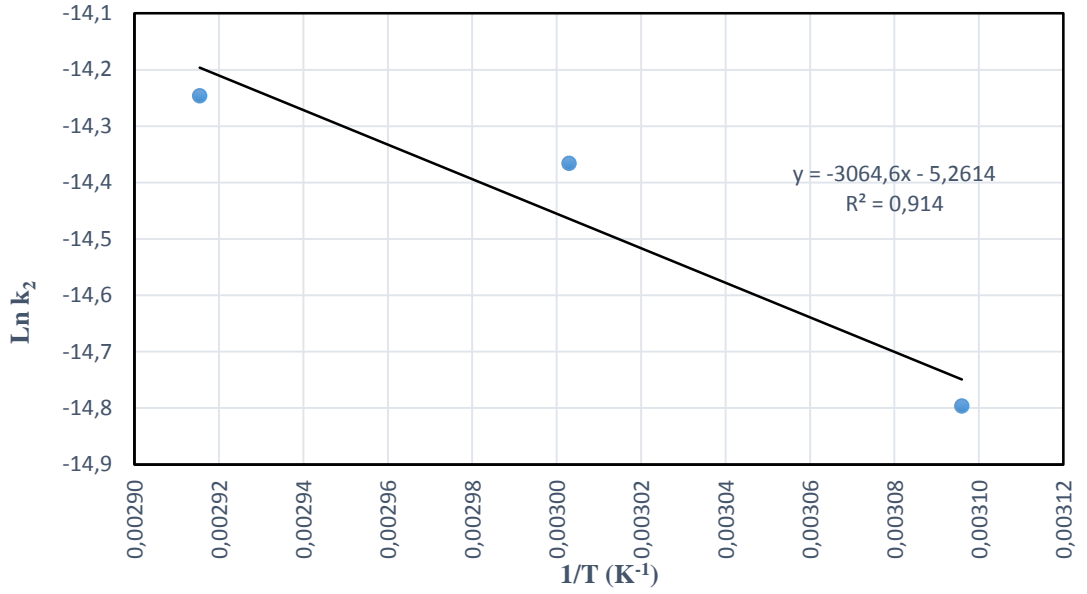
Şekil 4.24. Sarımsağın 50, 60 ve 70°C sıcaklıkta kurutulmasında allisin degradasyonunun değişimi (Sütunlar üzerinde farklı harfler ortalamaların istatistiksel açıdan $\alpha=0,05$ seviyesinde farklı olduğunu gösterirken, çizgiler standart sapmaları ifade etmektedir)

Dilimlenmiş sarımsakların allisin içeriği üzerine hem kurutma sıcaklığının hemde kurutma süresinin etkisi istatistiksel açıdan önemli bulunmuştur ($p<0,05$). Kurutma sıcaklığı ile kurutma süresinin interaksiyonu da sarımsakların allisin içeriğini önemli derecede etkilemiştir ($p<0,05$). Taşköprü sarımsak dilimlerinde başlangıç allisin içeriği ortalama $10911,00 \pm 145,68 \mu\text{g/g}$ kuru madde düzeyinde bulunmuştur. 60°C kurutma sıcaklığında 60 dakika kurutma süresi sonunda allisin içeriği $7511,31 \pm 101,82 \mu\text{g/g}$ kuru madde düzeyine düşerken, 50°C sıcaklıkta 120 dakika kurutma sonunda $7382,60 \pm 315,09 \mu\text{g/g}$ kuru madde düzeyine düşmüştür. Bu iki ortalama istatistiksel açıdan benzer bulunmuştur ($p>0,05$). Benzer şekilde 70°C sıcaklıkta 240 dakika kurutma süresi sonundaki allisin içe-

riği $4921,00 \pm 108,23$ $\mu\text{g/g}$ kuru madde iken, 60°C sıcaklıkta 300 dakika kuruma süresi sonunda $4906,61 \pm 241,10$ $\mu\text{g/g}$ kuru madde düzeyine düşmüştür. Aynı şekilde bu iki ortalama istatistiksel açıdan benzer bulunmuştur ($p > 0.05$).

Aktivasyon enerjisi, bir reaksiyonun gerçekleşebilmesi için aşılması gereken enerji olup; her reaksiyonun kendine özgü bir aktivasyon enerjisi vardır. Bir tepkimenin aktivasyon enerjisinin yüksek ya da düşük olması gerçekleşecek olan reaksiyonun kolay veya zor gerçekleşeceğini göstermektedir (Acartürk, 2007). Bir reaksiyonun aktivasyon enerjisi reaksiyonun hızının sıcaklığa bağlı olarak hangi düzeyde değiştiğini göstermektedir. Her reaksiyonun aktivasyon enerjisi kendine özgüdür. Gıdalarda gerçekleşen reaksiyonların aktivasyon enerjisi $8,4$ kJ/mol ile 628 kJ/mol gibi geniş bir aralığa sahiptir. Gıdalarda görülen bazı reaksiyonlara ait aktivasyon enerjisi; basit hidroliz reaksiyonlarında $E_a = 4,2-84$ kJ/mol, serbest radikaller tarafından yağların oksidasyonu reaksiyonlarının $E_a = 62-105$ kJ/mol, enzimatik olmayan esmerleşme reaksiyonlarının $E_a = 209-628$ kJ/mol ve enzimatik reaksiyonların $E_a = 16,6-62,6$ kJ/mol gibi değişik aktivasyon enerjisine sahip gıda reaksiyonları bulunmaktadır (Cemeroğlu, 2013).

Gıdaların kurutulması hem ısı hem de kütle transferi ile ilişkili olup, kütle transferi hızı ise su buharı difüzyon hızı ile doğrudan ilişkilidir. Literatürde farklı gıdalarda kurutma sırasındaki difüzyon için aktivasyon enerjilerinin hesaplandığı değişik çalışmalar mevcuttur. Demiray ve Tülek (2014) Kastamonu Taşköprü sarımsağının kurutma karakteristiklerinin belirlenmesi çalışmasında sarımsakların 55 , 65 ve 75°C farklı sıcaklıklarda kurutulmasında kurutma reaksiyonunun aktivasyon enerjisini $30,58$ kJ/mol olarak tespit etmiş, Akoy (2014) mango dilimlerinin kurutma karakterizasyonunun belirlenmesi çalışmasında mango dilimlerini $60,70$ ve 80°C sıcaklıklarda kurutmuş ve kurutma reaksiyonunun gerçekleşmesi için gerekli olan aktivasyon enerjisini $30,99$ kJ/mol olarak tespit etmiştir. Taşköprü sarımsaklarının 50 , 60 ve 70°C sıcaklıklarda sarımsak dilimlerinin kurutulması sırasında sarımsaklardaki allisin içeriğinin degradasyon reaksiyonu için gerekli olan aktivasyon enerjisini Çizelge 4.3'te gösterildiği gibi $25,48$ kJ/mol olarak tespit edilmiştir.



Şekil 4.25. 1/T ye göre kinetik sabitinin doğal logaritmasının (Lnk₂) grafiğinden aktivasyon enerjisi hesaplanması

Çizelge 4.3. Allisinin degradasyon kinetiğinin Q10 değerleri ile reaksiyonun aktivasyon enerjisi

Sıcaklık (°C)	Q ₁₀ Değerleri	Aktivasyon Enerjisi
50-60	4,180	25,48 (kJ/mol)
50-70	2,858	
60-70	3,065	

Bir reaksiyonun sıcaklık düzeyinden ne oranda etkilendiğini Q₁₀ değeri göstermektedir. Q₁₀ değeri incelendiğinde, kurutma sıcaklığının 50'den 60°C'ye çıkarılmasının, 50'den 70°C'ye yükseltilmesinin allisinin degradasyon kinetiği üzerindeki etkisine göre 60'dan 70°C'ye göre yükseltilmesine nazaran daha etkili olduğu gözlenmiştir. Aktivasyon enerjisi, reaksiyon hızının sıcaklığa bağlı olarak hangi düzeyde değiştiğini göstermektedir. Her sistemin aktivasyon enerji değeri kendine özgüdür ve bu değer, sistemin su aktivitesi düzeyi ile değişebilir (Cemeroğlu, 2013). Taşköprü sarımsak dilimlerindeki allisin degradasyonu için verilen 25,48 kJ/mol aktivasyon enerjisi, ikinci derece reaksiyon için hesaplanmıştır.

Sarımsağın farklı sıcaklık ve kurutma yöntemleri ile allisinin degradasyon kinetiğinin belirlenmesi ile ilgili benzer çalışmalarda Ratti ve diğerleri 2007 yılında yapmış oldukları sarımsak kurutma ve kurutmanın allisin konsantrasyonu üzerine etkisi çalışmasında taze beyaz kanada sarımsağını sıcak hava ile 40, 50 ve 60°C'de 3 saat kurutma işlemi ger-

çekleştirmiştir. Allisinin başlangıç konsantrasyonu 9224,4 µg/g kuru madde iken kurutma sonucunda allisinin konsantrasyonu sırasıyla 9498,2 µg/g, 8991,6 µg/g ve 7736,0 µg/g olarak bulunmuştur. Rahman ve diğerleri 2009 yılında yapmış oldukları sarımsak dilimlerinin kurutma kinetiğinin ve farklı kurutma yöntemlerinin allisin potansiyeli üzerine etkisi çalışmalarında 5 mm kalınlığındaki Çin sarımsağını sıcak hava, vakum ve azot atmosferinde kurutma işlemine ait sonuçlar Çizelge 4.4'te verilmiştir.

Çizelge 4.4. Farklı kurutma yöntemleri ile sarımsak kurutmasının allisin degradasyonu (Rahman, 2009)

Kurutma Yöntemi	Kurutma Sıcaklığı (C)	Kurutma Süresi (h)	Kuruma Öncesi Allisin Konsantrasyonu (µg/g kuru madde)	Kuruma Sonrası Allisin Konsantrasyonu (µg/g kuru madde)
Sıcak hava	50	7	7000	4932
	60	6	7692	4731
	80	4	7632	3808
	90	3	7632	3845
Vakum	50	8	7309	4655
	60	7	7259	4700
	90	4	7620	2955
Azot Atmosferi	40	15-21	5117	3103
	60	6	8048	4103

Çizelgeden de anlaşılacağı üzere sıcaklık arttıkça sarımsağın kuruma süresi ve allisinin degradasyon hızı artmaktadır. Yukarıdaki benzer çalışmaların sonuçlarından da anlaşılacağı gibi kurutma sıcaklığının artması kurutma hızını artırıcı bir etkisinin yanı sıra allisinin degradasyonu üzerinde de artırıcı bir etkiye sahip olduğu saptanmış olup bu sonuçlar yapmış olduğumuz çalışmayı destekler niteliktedir.

Sarımsağın dilimlendiğinde allisin bileşiği dilimlemenin olduğu yüzeyde allinin bileşiğinden enzimatik olarak sentezlenmeye başlar çünkü allisinin sarımsaktaki görevi sarımsağı dış etkenlerden korumak olduğundan sentezlenme önce zararın geldiği bölgeden başlar ve daha sonra iç kısımlara doğru sentezlenme devam eder. Eğer kurutma öncesi yaş sarımsaktaki allisin içeriği kurutma sonrası sarımsaktaki allisin içeriğinden düşük çıkar ise allinin bileşiğinin tamamının allisine dönüşmeden kurutma işleminin yapıldığı söylenebilir.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu yüksek lisans tez çalışmasında Taşköprü sarımsağının kuru madde ve kül içerikleri belirlenmiş, üç farklı sıcaklıkta (50, 60 ve 70°C) dilimlenmiş sarımsakların kuruma kinetiğinin matematiksel olarak modellenmesi yapılmıştır. Araştırmada, üç farklı kurutma sıcaklığında allisin degradasyon kinetiği belirlenmiştir. Çalışma bulgularından aşağıdaki sonuç ve önerilere ulaşılmıştır.

1. Taşköprü sarımsak dilimlerinin farklı kurutma sıcaklıklarına göre kuruma davranışlarına bakıldığında 50°C'ye göre 60 ve 70°C sıcaklıklarda kuruma hızının beklenildiği gibi daha hızlı olduğu saptanmıştır. Sarımsak dilimlerinin 60°C sıcaklıkta kuruma davranışı ile 70°C sıcaklıkta kuruma davranışı arasında sarımsak fazla bir farkın olmadığı saptanmıştır.
2. Taşköprü sarımsak dilimlerinin farklı sıcaklıklarda kuruma kinetiğinin matematiksel modellenmesi yapıldığında 50°C kurutma işleminde ince tabaka kurutma modellerinden en iyi uyum gösteren modelin en yüksek r^2 değeri ile en düşük RMSE ve ki-kare değerleri olan model, Page ve Modifiye Page Modelleri, 60 ve 70°C sıcaklıklarda kurutma işleminde ise ince tabaka kurutma modellerinden en iyi uyum gösteren yani en yüksek r^2 değeri, en düşük RMSE ve ki-kare değerleri olan model, Logaritmik Model olduğu saptanmıştır.
3. Taşköprü sarımsağının çalışılan kurutma sıcaklıklarında allisinin degradasyon reaksiyonu, bu çalışmada elde edilen bulgular ışığında ikinci dereceden bir bozulma reaksiyonu olduğu belirlenmiş ve sıcaklık artışının allisinin degradasyonu üzerinde artırıcı bir etkisinin olduğu tespit edilmiştir.
4. Sarımsak dilimlerinin 50°C sıcaklıkta 8 saat kurutulması sonunda allisinin %48,5'i korunurken, 60 ve 70°C sıcaklıkta sırasıyla %39,1 ve %35,8'i korunabilmiştir. Sonuçlar, kurutulmuş sarımsak ürünlerinde allisinin en yüksek düzeyde alıkonması (korunması) için kurutma sıcaklığının düşük tutulmasının önemli olduğunu göstermektedir.
5. Allisinin sağlık üzerine etkisi ayrıca sarımsağın kurutulması sonrası elde edilen sarımsak türevlerinin ve allisinin ekstraktlarının ekonomik değerinin kaybolmaması göz önünde bulundurularak kurutma işleminin süre ve sıcaklık olarak dikkate alınması bakımında bu çalışma önemlidir.

6. Taşköprü sarımsağının dilimlenip 30 dakika bekletilmesi sonrasında sarımsaktaki allisin konsantrasyonu yaklaşık 11 mg/g kuru madde olarak tespit edilmiştir. Biyolojik aktiviteye sahip allisinin kurutulmuş ürünlerdeki son konsantrasyonu için, dilimlenmiş sarımsakların allisin oluşumu için belirli bir süre bekletilmesi önemlidir.
7. Taşköprü sarımsağının farklı sıcaklıklarda kurutulmasında allisinin degradasyon (veya alıkonma) kinetiğinin belirlenmesi hem sarımsak ile ilgili çalışmalarda hem de Taşköprü sarımsağı ile ilgili çalışmalarda önemli bir literatür boşluğunu doldurmuştur.

KAYNAKLAR

Anonim, 2008. Mesleki eğitim ve öğretim sistemini güçlendirilmesi projesi gıda teknolojisi meyveleri kurutma. Ankara.
<http://www.hbogm.meb.gov.tr/modulerprogramlar/kursprogramlari/gida/moduller/meyvele rikurutma> (Erişim Tarihi: 13.11.2015)

Anonim, 2014. Gıdalarda temel işlemler II. <http://www.akademik.adu.tr/myo/cine/webfolders/dersnotlari/gida/temel/islemler> (Erişim Tarihi: 13.11.2015)

Acartürk, F., 2007. *Modern Farmasötik Teknolojileri*. Fersa Matbaacılık, Ankara, 142 s.

Aktaş, N., Akköse, A., 2008. Gıdalarda Faz Değişimleri ve Oluşturduğu Etkileri. *Türkiye 10.Gıda Kongresi kitabı*, Erzurum, 21-23.

Ankri, S., Mirelman, D., 1999. Antimicrobial properties of allicin from garlic. *Microbes and Infection*, 2, 125-129.

Akoy, E.O.M., 2014. Experimental characterization and modeling of thin-layer drying of mango slices. Sudan. *Internatiol Food Research Journal*, 21(5), 1911-1917.

Arıcı, R.Ç., Mengeş, H.O., 2012. Mantarın (agaricus bisporus) kuruma karakteristiklerinin belirlenmesi ve kuruma davranışın modellenmesi. *Selçuk Tarım ve Gıda Bilimleri Dergisi*, 26 (1), 84-91.

Artık, N., Poyrazoğlu, E.S., 1994. Kastamonu sarımsağının bileşimi unsurları ve sarımsak ürünleri üretimi üzerine araştırma. *Gıda*, 1(19), 3-9.

Arzanlou, M., Bohlooli, S., 2009. Introducing of green garlic plant as a new source of allicin. *Food Chemistry*, 120, 179-183.

Ayan, H., 2010. Güneşte ve Yapay Kurutucuda Kurutulmuş (*Lycopersicum esculentum*) Üretimi ve Proses Sırasındaki Değişimlerin Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı, Ankara, Türkiye.

Babetto, A.C., Frarie, F.B., Barrozo, M.A.S., Fraire, J.J., 2011. Drying of garlic slices: Kinetics and nonlinearity measures for selecting the best equilibrium moisture content equation. *Journal of Food Engineering*, 107, 347-352.

Bayhan, H.A., 2011. Kabin Tipi Bir Kurutucuda Kurutma Süresini Etkileyen Parametrelerin Deneysel Olarak İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi. Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Isparta, Türkiye.

Baysal, T., İçier, F. Baysal, A.H., 2011. *Güncel Elektriksel Isıtma Yöntemleri*. Medya Ltd. Şti., İzmir, 130 s.

Bhagyalakshmi, N., Thimmaraju, R., Venkatachalam, L., Chidambara Murthy, K. N., Sreedhar R. V., 2005. Nutraceutical applications of garlic and the intervention of biotechnology. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 45, 607–621.

Cemeroğlu, B., 2013. *Gıda Mühendisliğinde Temel İşlemler*. Bizim Grup Basımevi, Ankara, 3, 769s.

Cemeroğlu, B., Acar, J., 1986. *Meyve ve Sebze İşleme Teknolojisi*. Gıda Teknolojisi Derneği Yayınları kitabı, Ankara, 6, 582s.

Cemeroğlu, B., Karadeniz, F., Özkan, M., 2003. *Meyve ve sebze işleme teknolojisi*. Ankara Gıda Teknolojisi Derneği Yayınları, 28, 541-567.

Cemeroğlu, B., Özkan, M., Toklucu kırca A., 2011. *Gıda Mühendisliğinde Reaksiyon Kinetiği*. Gıda Teknolojisi Derneği Yayınları, Ankara, 182s.

Corzo-Martinez, M., Nieves corzo, N., Villiamile, M., 2007. Biological properties of onions and garlic. *Trends in Food Science and Technology*, 18, 609-625.

Darıcı, S., Şen, S., 2015. Experimental investigation of convective drying kinetics of kiwi under different conditions. *Heat and Mass Transfer*, 51(8), 1167-1176.

Donald, B.B., Fred, W.B., Carl, W.H., 1973. *Drying Cereal Grains*. Westport, The AVI Publishing Company INC, 265s.

Demiray, E., Tülek, Y., 2014. Drying characteristics of garlic (*Allium sativum* L) slices in a convective hot air dryer. *Heat Mass Transfer*, Denizli, 50, 779-786.

Erbay, B., Küçüköner, E., 2008. Gıda endüstrisinde kullanılan farklı kurutma sistemleri. *Türkiye 10. Gıda Kongresi* kitabı, Erzurum, 1045-1048.

Erdem, T., 2008. Ozonlu su ile yıkanan kırmızı pul biberin mikrodalga enerjisi ile kurutulması, Yüksek Lisans Tezi. Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tarım Makinaları Anabilim Dalı. Adana, Türkiye.

Evranoz, Ö., 1998. Gıda maddelerinin kurutulması sırasında kuruma kinetiğini kontrol eden faktörler ve kalite üzerine etkileri. *Gıda* 13(1), 51-58.

Evren, M., Apan, M., Albayram, C., 2006. Sarımsağın Antimikrobiyal Özellikleri. *Türkiye 9. Gıda Kongresi kitabı*, Bolu, 680-692.

Erbay, B. Ve Küçüköner, E., 2008. Gıda Endüstrisinde Kullanılan Farklı Kurutma Sistemleri. *Türkiye 10. Gıda Kongresi, Erzurum*, 1045-1048.

Erentürk, S., Gulaboğlu, M.S., Gültekin, S., 2005. The effects of cutting and drying medium on the vitamin C content of rosehip during drying. *Journal of Food Engineering*, 68, 513-518.

Figel, A., 2009. Drying kinetics and quality of vacuum-microwave dehydrated garlic cloves and slices. *Journal Of Food Engineering*, 94, 98-104.

Geankoplis, C.J., 1993. Transport proceses and unit operations. *Prentice Hall İnternatiol*, 520-569.

Genç, S., 2012. Sarımsakta Yeni Trendler. *Kuzey Anadolu Kalkınma Ajansı Taşköprü Sarımsak Panel kitabı*, Kastamonu, 27-35.

Goyal, R.K., Kingsly, A.R.P., Manikatan, M.R., İlyas, S.M., 2007. Mathematical modeling of thin tayer drying kinetics of plum in a tunnel dryer. *Journal Food Engineering*, 79, 176-180.

Günasekaran, S. 1999. Pulsed microwave-vacuum drying of food banana. *Journal of Food Engineering*, 44(2), 71-78.

Güner, M., 1991. *Kurutmanın bilimsel temelleri, kurutma modelleri ve güneşli kurutucular*. Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları, 48, 29s.

Güracar, M., 1995. Güneş Enerjili Hava Isıtıcısı Yardımıyla Tarım Ürünlerinin Kurutulması, Yüksek Lisans Tezi. Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Tekirdağ, Türkiye.

İbret,Ü.B., 2005.Türkiye’de sarımsak tarımı ve Taşköprü sarımsağı üzerine coğrafi açıdan bir inceleme. *Marmara Coğrafya Dergisi*, 12, 18-50.

İseava. J., 2007. Kayısı Kurutmasının Deneysel ve Teorik Olarak Araştırılması, Doktora Tezi. Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye.

Karaaslan, S., 2008. Sebze ve Endüstri Bitkilerinin Mikrodalgayla Kurutulması Üzerine Çalışmalar, Doktora Tezi. Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Tarım Makinaları Anabilim Dalı, Adana, Türkiye.

Koyuncu, M., 2012.Sarımsak ve Taşköprü Sarımsağı. Kuzey Anadolu Kalkınma Ajansı Taşköprü Sarımsak Panel kitabı, Kastamonu, 11-20.

Kutlu, N., İşçi, A., Demirkol, S.Ö., 2015. Gıdalarda ince tabaka kurutma modelleri. *Gıda*, 40(1), 39-46.

Lahsasni, S., Kouhila, M., Mahrouz, M., İdliman, A., Jamali, A., 2004. Thin layer convective solar drying and mathematical modelling of prickly pear peel (*Opuntia ficus İndica*). *Energy*, 29, 211-224.

- Lanzotti, V., 2006. The analysis of onion and garlic. *Journal of Chromatography A*, 1112, 3-22.
- Maskan, M., 2001. Drying, shrinkage and rehydration characteristics of kiwifruits during hot air and microwave drying. *Journal of Food Engineering*, 48 (2), 177-182.
- Mujumdar, A.S., 2007. Handbook of Industrial Drying. CRC Press, New York, 605 s.
- Mayor, L., Sereno, A.M., 2003. Modeling shrinkage drying convective drying of food materials a review. *Journal of Food Engineering*, 61, 373-386.
- Özgen, F., 2013. Elma kurutulmasında kullanılan konvektif tip bir kurutma sisteminin tasarımı. *Engineer and the Machinery Magazine*, 656, 42-49.
- Polatçı, H., Tarhan, S., 2009. Farklı kurutma yöntemlerinin reyhan (*Ocimum basilicum*) bitkisinin kuruma süresine ve kalitesine etkisi. *Gazi Osmanpaşa Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 26(1), 61-70.
- Rahman, M.S., Al-shamsi, Q.H., Bengtsson, G.B., Sablani, S.S., al-Alavi, A., 2009. Drying kinetics and allicin potential in garlic slices during different methods of drying. *Drying Technology*, 27, 467-477.
- Rasouli, M., 2011. Convective drying of garlic (*Allium sativum* L.). Part I: Drying kinetics, mathematical modeling and change in color. *Australian Journal of Crop Science*, 5(13), 1707-1714.
- Ratti, C., Araya-Farias, M., Mendez-Lagunas, L., Makhlof, J., 2007. Drying of garlic (*Allium Sativum*) and its effect on allicin retention. *Taylor and Francis Drying Technology*, 25, 349-356.
- Ünlütürk, A., Turantaş, F., Acar, J., 1999. Gıda Mikrobiyolojisi. *Mengi Tan Basım Evi*, İzmir, 414 s.
- Saldamlı, İ. ve Saldamlı, E., 2004. Gıda Endüstrisi Makineleri. *Savaş Kitapevi*, Ankara, 318 s.
- Saxton, A. M., 2000. PDGLM800 Macro for the SAS System (Version 8 or higher), The University of Tennessee, Knoxville, Tennessee, ABD.
- Sosyal, Y. ve Öztekin, S., 2001. Techninal and economic performance of a tray dryer for medicinal and aromatic plants. *Journal of Agricultural. Engineering Research*, 79(1), 73-79.
- Sarı, M., Karaarslan, S., 2014. Ananasın mikrodalga ile kurutulması ve uygun kuruma modelinin belirlenmesi, *Süleyman Demirel Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi* , 9 (1), 42-50.

Tarhan, S., Polatçı, H., 2009. Farklı kurutma yöntemlerinin reyhan (*Ocimum basilicum*) bitkisinin kuruma süresine ve kalitesine etkisi. *GOÜ, Ziraat Fakültesi Dergisi*, 26(1),61-70.

Taban, S., Çıkılı, Y., Kebeci, F., Taban, N., Sezer, S. M., 2004. Taşköprü yöresinde sarımsak tarımı yapılan toprakların verimlilik durumu ve potansiyel beslenme problemlerinin ortaya konulması. *Tarım Bilimleri Dergisi*, 10(3), 297-304.

Taban, S., Turan, M.A., Sezer, S.M., Türkmen, N., 2013. Kastamonu taşköprü yöresinde yetiştirilen sarımsak bitkisinin selenyum içerikleri ve bazı toprak özellikleri arasındaki ilişkiler. *U.Ü. Ziraat Fakültesi Dergisi*, 27(11), 39-47.

Tripathy, P.P. and Kumar, S., 2009. Modeling of heat transfer and energy analysis of potato slices and cylinders during solar drying. *Applied Thermal Engineering*, 29(1), 884-891.

Uslu, M.K. ve Certel, M., 2006. Dielektrik ısıtma ve gıda işlemede kullanımı. *Gıda Teknolojileri Elektronik Dergisi*, 3, 61-69.

Yıldıran, H., 2008. Sarımsak Sapları ile Beslemenin İnek Sütü Bileşenine Olan Etkilerinin Saplanması, Yüksek Lisans Tezi. Fen Bilimleri Enstitüsü, Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta, Türkiye.

Yağcıoğlu, A., 1999. *Tarım Ürünlerinde Kurutma Tekniği. Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları*, 536s.

Yaldız, O., Ertekin, C., Uzun, H.İ., 2001. Mathematical modelling of thin layer solar drying of sultana grapes. *Energy*, 26, 457-465.

Zor, T.T., 2006. Kastamonu Sarımsağının (*Allium sativum* L.) Alicin ve Alliin İçeriğinin HPLC ile Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi. Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara Üniversitesi, Ankara, Türkiye.

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Mahmut DOĞANTÜRK
Doğum Yeri : Kahramanmaraş
Doğum Tarihi : 20.06.1982
Yabancı Dili : İngilizce



Eğitim Durumu

Lise : Kahramanmaraş Hoca Ahmet Yesevi Lisesi, 2001
Lisans : Fırat Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Kimya Mühendisliği, 2007
Yüksek Lisans : Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı, 2016

Çalıştığı Kurum

2011-2014 : Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Sağlık Yüksekokulu
2014- : Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Bilimsel ve Teknoloji Uygulama ve Araştırma Merkezi