

T.C.
TRAKYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MISIRIN DİNLENDİRMELİ KURUMA DAVRANIŞININ İNCELENMESİ

SERCAN YILMAZ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

TEZ DANIŞMANI: Yrd. Doç.Dr.Oktay HACIHAFIZOĞLU

2010
EDİRNE

T.C.
TRAKYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MISIRIN DİNLENDİRMELİ KURUMA DAVRANIŞININ İNCELENMESİ

SERCAN YILMAZ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

Bu Tez 05/02/2010 Tarihinde Aşağıdaki Jüri Tarafından Kabul Edilmiştir.

.....

.....

.....

Yrd.Doç.Dr. Oktay HACIHAFIZOĞLU
Danışman

Doç.Dr. Kamil KAHVECİ
Üye

Yrd.Doç.Dr. Mesut BOZ
Üye

ÖNSÖZ

Bu çalışmada sabit hava hızında ve değişik sıcaklıklarda, hem sürekli kurutma hem de değişik dinlendirme periyotları kullanılarak tek tabaka mısırın kuruma davranışı incelendi. Elde edilen sonuçlar doğrultusunda; dinlendirme periyotları kullanılarak yapılan kurutma işleminin, enerji tasarrufu sağladığı ve dinlendirme süresinin artmasıyla bu tasarrufun arttığı görülmektedir. Elde edilen bu sonuçlar, mısırın kuruma davranışının ifade etmekte kullanılan farklı model sonuçlarıyla karşılaştırılmış ve deney sonuçlarına en uygun modelin; sürekli kurutmada Page modelinin, dinlendirmeli kurutmada Midilli et al. ve Diffusion Approach modellerinin olduğu belirlenmiştir.

Tüm lisansüstü eğitimim boyunca ve bu tezi hazırlamam esnasında yardımlarını hiçbir zaman esirgemeyen, başta sayın hocam; Yrd.Doç.Dr. Oktay HACIHAFIZOĞLU'na, Yrd.Doç.Dr. Kamil KAHVECİ'ye, Prof.Dr. Ahmet CİHAN'a, Mak.Müh. Bertan TOPALOĞLU'na teşekkürü bir borç bilirim.

Sercan YILMAZ

ÖZET

Mısır, insanların gıda ihtiyacını karşılayan önemli bir tahıl olup, hasat sırasında yüksek nem oranlarına sahiptir. Mısırın üretiminden sonraki en önemli problemi kurutmadır. Mısırın işlenip uzun süre bozulmadan saklanabilmesi için, %24-25 kuru baza göre olan hasat nemini, %14 kb'ın altına düşürmek gerekir. Kurutmanın amacı; tahıl üretim verimliliğini arttırmak, ekim alanlarından daha fazla yararlanmak, hasat sonrasında yüksek nem oranına sahip tahılın bozulmadan uzun süre saklanabilmesi için, küf ve çürümeden meydana gelen kayıplarla, zararlı böceklerin etkilerini azaltmaktır. Ürünün güneş altına bırakılarak doğal olarak kurutulması birçok olumsuzluğu beraberinde getirmektedir. Bundan dolayı doğal kurumanın olumsuz etkilerinden etkilenmemek için, yapay yolla kurutmanın avantajlarından yararlanılacaktır.

Mısırın kuruma davranışı incelendiğinde; kurutma davranışının ilk zamanlarında, kurutma hızının yüksek olduğu, zaman ilerledikçe kurutma hızının azaldığı gözlenmektedir. Bunun nedeni de; kurutma başlangıcında yüzeye yakın bölgede bulunan nemin kolayca alınabilmesine rağmen, mısır içindeki nemin alınmasının daha zor olmasıdır. Mısır içindeki nemin yüzeye gelmesi için kurutma esnasında ara bir yerde kurutma işlemini durdurup nemin yüzeye gelmesini bekleyerek daha sonra kurutma işlemine devam etmek, kurutmada bir enerji tasarrufu sağlayabilir.

Kurutma işlemine ara vererek dinlendirmenin mısır kurutma davranışı üzerine etkisini belirleyebilmek için; sıcak havanın cebri konveksiyonu ile çalışan bir deney tesisatı kuruldu. Deney tesisatında üç kurutma bölgesine tek tabaka olacak şekilde mısırlar yerleştirildi. Kurutma deneyleri; 40°C, 45°C, 50°C, 55°C, 60°C, 65°C, 70°C sıcaklıkta ve 2 m/s hızda hava kullanılarak yapıldı. Birinci bölgedeki mısır numunesi sürekli olarak kurutuldu. İkinci bölgedeki mısır numunesi ise; yarım saat kurutulduktan sonra, yarım saat dinlendirildi ve mısır nem seviyesi istenilen seviyeye gelinceye kadar bu periyotlarla kurutma işlemine devam edildi. Üçüncü bölgedeki mısır numunesi de 1 saat dinlenme periyodu ile benzer şekilde kurutuldu.

Mısırın kuruma davranışını simüle etmek için Newton, Page, Midilli, Two Term vb teorik ince tabaka kurutma matematik modelleri kullanılmıştır. Her bir model için, tek

tabaka mısırın kuruma davranışını ifade etmedeki uygunluğu belirlemek için korelasyon katsayısı r , standart hata e_s ve ortalama karesel sapma χ^2 hesaplandı. Hesaplanan bu değerler sonucunda; $r > 0.90$ olmak kaydıyla, korelasyon katsayısı 1' e en yakın, en küçük standart hata ve ortalama karesel sapma üreten model, mısırın kuruma davranışını en iyi ifade eden modeldir. Buna göre en uygun modelin; sürekli kurutmada Page modeli, dinlendirmeli kurutmada Midilli et al. ve Diffusion Approach modellerinin olduğu belirlenmiştir. Sonuçlar ayrıca, dinlendirme periyotları kullanılarak kurutma işleminin enerji tasarrufu sağladığını ve dinlendirme süresinin artmasıyla bu tasarrufun arttığını göstermektedir.

Anahtar kelimeler: Mısırın dinlendirmeli kurutulması, Mısır kuruma davranışı, Mısırın ince tabaka kurutulması

ABSTRACT

Corn is one of the most important nutritious grains which have high moisture rates during harvest. Moisture content of 24-25 percent d.b. at the harvest should be reduced below 14 percent d.b. to prevent it from deterioration during storage. The reasons for drying are to increase productivity of grains, to benefit more from the fields and to decrease the harmful effects of moisture, mould, rotting and insects upon the corn which has also high moisture after the harvest. Sun has lots of negative effects in the drying process therefore artificial drying processes are going to be used rather than natural method in order to decrease the negative effects.

An observation of the drying kinetics of the corn grains shows that the drying rate is higher at the beginning of the drying process and then it gradually decreases as the time passes. The reason for this is that while the moisture portion near the grain surface is easily removed at the beginning of the process, the remaining moisture near the center is not. Pausing the drying process for a period of time in order to provide a diffusion of the moisture uniformly within the grain and then resuming may provide an energy conservation.

An experimental setup consisting of forced convection of warm air periodic pausing of the drying process on the drying behavior of corn. Sieves containing corn grains of thin layer were placed in three drying zones of the experimental setup. The experimental were carried out using air at 40°C, 45°C, 50°C, 55°C, 60°C, 65°C, 70°C temperature and 2m/s velocity. Corn grains in the first drying zone was dried continuously. The 30 min. Successive drying and pausing periods were applied to the corn in the second zone until the moisture content drops to a desired level. Corn grains in the third zone were dried similarly but with 1 hour periods and intervals.

In order to simulate the drying treatment a lot of semi theoretic and empirical thin layer mathematical drying models such as Newton, Page, Midilli, Two Term etc. were applied. For the availability of describing single layer drying treatment, correlation coefficient, standard error and mean square deviation were considered as r , e_s , and χ^2 respectively for each model. Under the condition of $r > 0.90$ and being the closest to 1, the best describing model for the drying treatment of corn is the one that produces the minimum standard error and mean square deviation. Page model was proved to be the

most available model for these conditions. Fortran programming language and Graf4win program were applied to the experimental data drying curves were obtained for each model. The overall results show that periodic drying process saves energy and the energy conversation increases as the duration of pause increases.

Keywords : Intermittent drying of corn, Drying treatment of corn, Thin layer drying of corn

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖNSÖZ	i
ÖZET.....	ii
ABSTRACT	iv
İÇİNDEKİLER	vi
SEMBOLLER	viii
ŞEKİL LİSTESİ.....	x
TABLO LİSTESİ.....	xii
 1.GİRİŞ	 1
2.KURUTMA	4
2.1. Mısırın Kurutulmasının Önemi	5
2.2 Mısır Kurutma Sistemleri.....	7
2.2.1. Doğal Hava Sıcaklıklı Kurutma Sistemleri	7
2.2.2. Düşük Hava Sıcaklıklı Kurutma Sistemleri	8
2.2.3. Yüksek Hava Sıcaklıklı Kurutma Sistemleri	8
2.2.4. Kombine Sıcaklıklı Kurutma Sistemleri	9
2.3. Mısırın Nem Oranı	9
2.4. Kurutma Süreci	10
2.4.1 Sabit Hızda Kuruma Süreci.....	13
2.4.2 Azalan Hızda Kuruma Süreci.....	14
2.5 Sorpsiyon İzotermi.....	14
3. DENEY SÜRECİ.....	16
3.1. Deney Tesisatı Ve Ölçüm Elemanları.....	16
3.2. Mısırın Hazırlanması.....	18
3.3. Deneylerin Yapılışı	19

4. TEORİK MODEL SONUÇLARI.....	20
4.1. Sürekli Kurutma İçin Teorik Sonuçlar.....	20
4.2. 30dk Dinlendirme Periyodu İçin Teorik Sonuçlar.....	27
4.3. 60dk Dinlendirme Periyodu İçin Teorik Sonuçlar.....	34
5.DENEYSEL SONUÇLAR	41
5.1. Sürekli Kurutma İçin Deneysel Sonuçlar.....	41
5.2. 30dk Dinlendirmeli Kurutma İçin Deneysel Sonuçlar.....	48
5.3. 60dk Dinlendirmeli Kurutma İçin Deneysel Sonuçlar.....	52
6. TEORİK VE DENEYSEL SONUÇLARIN KARŞILAŞTIRILMASI	56
6.1. Sürekli Kurutma Grafikleri	56
6.2. 30dk Dinlendirmeli Kurutma Grafikleri	58
6.3. 60 dk Dinlendirmeli Kurutma Grafikleri	60
7. SÜREKLİ VE DİNLENDİRMELİ KURUTMA PERİYOTLARININ MUKAYESESİ.....	62
7.1. Page Modeli İçin Kurutma Periyotlarının Karşılaştırılması.....	62
7.2. Diffusion Approach Modeli İçin Kurutma Periyotlarının Karşılaştırılması	66
7.3. Midilli Modeli İçin Kurutma Periyotlarının Karşılaştırılması	70
8. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME	74
ÖZGEÇMİŞ	77
KAYNAKLAR	78

SEMBOLLER

a_0	: Kurutma sabiti
a	: Kurutma sabiti
a_1	: Kurutma sabiti
a_2	: Kurutma sabiti
b	: Kurutma sabiti
C_{AB}	: Gazların özelliklerini içeren sabit
D	: Difüzyon katsayısı
d	: Boru çapı
e_s	: Standart hata
h_{g1}	: T_1 sıcaklığında doymuş buhar
h_{g2}	: T_2 sıcaklığında doymuş buhar
h_{fg}	: Doymuş sıvı buhar entalpisi
h'	: Kütle transfer katsayısı
k	: Kurutma katsayısı
k_1	: Kurutma katsayısı
k_2	: Kurutma katsayısı
l_0	: Boru uzunluğu
m	: Nem oranı
M_A	: A boşluğundan B boşluğuna birim zamanda geçen A gazını kütlesi
M_B	: B boşluğundan A boşluğuna birim zamanda geçen B gazını kütlesi
M_e	: Denge nemindeki mısır kütlesi
M_{es}	: Mısırın denge nemindeki sıvı miktarı
M_s	: Mısırın içerdiği sıvı miktarı
M_y	: Yaş mısırın kütlesi
M_g	: Gazın moleküler kütlesi
$M_{t,i}$	: Teorik boyutsuz nem oranı
$M_{d,i}$	: Deneysel boyutsuz nem oranı
m_0	: Mısırın başlangıçtaki nem içeriği
m_y	: Mısırın yaş baza göre nem oranı
N	: Ölçüm sayısı

P	: Toplam basınç
P_a	: A gazının basıncı
P_b	: B gazının basıncı
R	: Üniversal gaz sabiti
R_a	: A gazının sabiti
R_b	: B gazının sabiti
r	: Korelasyon katsayısı
r_0	: Gözenek yarıçapı
t	: Zaman
T	: Sıcaklık
T_a	: A gazının sıcaklığı
T_b	: B gazının sıcaklığı
V	: Hız
W_1	: Havadaki nem miktarı
Λ	: Orantı katsayısı
ρ	: Yoğunluk
φ	: Bağıl nem
χ^2	: Ortalama karesel sapma

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 1.1. Türkiye’de mısır ekim alanlarının illere göre dağılımı.....	2
Şekil 2.1. Higroskobik maddelerin kuruma oranı eğrisi	11
Şekil 2.2. Higroskobik maddelerin kuruma hızının zamanla değişimi	12
Şekil 2.3. Higroskobik maddelerin kuruma hızının nem oranıyla değişimi	12
Şekil 2.4. Sorpsiyon	15
Şekil 3.1. Şematik kurutma deney tesisatı	17
Şekil 6.1. Sürekli kurutma Page model sonuçları ile deneysel değerlerin karşılaştırılması	56
Şekil 6.2. Sürekli kurutma Diffusion Approach model sonuçları ile deneysel değerlerin karşılaştırılması	57
Şekil 6.3. Sürekli kurutma Midilli model sonuçları ile deneysel değerlerin karşılaştırılması	57
Şekil 6.4. 30 dk dinlendirmeli kurutma Modified Page model sonuçları ile deneysel değerlerin karşılaştırılması	58
Şekil 6.5. 30 dk dinlendirmeli kurutma Diffusion Approach model sonuçları ile deneysel değerlerin karşılaştırılması	59
Şekil 6.6. 30 dk dinlendirmeli kurutma Midilli model sonuçları ile deneysel değerlerin karşılaştırılması	59
Şekil 6.7. 60 dk dinlendirmeli kurutma Modified Page model sonuçları ile deneysel değerlerin karşılaştırılması	60
Şekil 6.8. 60 dk dinlendirmeli kurutma Diffusion Approach model sonuçları ile deneysel değerlerin karşılaştırılması	61
Şekil 6.9. 60 dk dinlendirmeli kurutma Midilli model sonuçları ile deneysel değerlerin karşılaştırılması	61
Şekil 7.1. 40°C kurutma havası sıcaklığı için karşılaştırmalı grafikler	62
Şekil 7.2. 45°C kurutma havası sıcaklığı için karşılaştırmalı grafikler	63
Şekil 7.3. 50°C kurutma havası sıcaklığı için karşılaştırmalı grafikler	63
Şekil 7.4. 55°C kurutma havası sıcaklığı için karşılaştırmalı grafikler	64
Şekil 7.5. 60°C kurutma havası sıcaklığı için karşılaştırmalı grafikler	64

Şekil 7.6. 65°C kurutma havası sıcaklığı için karşılaştırmalı grafikler	65
Şekil 7.7. 70°C kurutma havası sıcaklığı için karşılaştırmalı grafikler	65
Şekil 7.8. 40°C kurutma havası sıcaklığı için karşılaştırmalı grafikler	66
Şekil 7.9. 45°C kurutma havası sıcaklığı için karşılaştırmalı grafikler	66
Şekil 7.10. 50°C kurutma havası sıcaklığı için karşılaştırmalı grafikler	67
Şekil 7.11. 55°C kurutma havası sıcaklığı için karşılaştırmalı grafikler	67
Şekil 7.12. 60°C kurutma havası sıcaklığı için karşılaştırmalı grafikler	68
Şekil 7.13. 65°C kurutma havası sıcaklığı için karşılaştırmalı grafikler	68
Şekil 7.14. 70°C kurutma havası sıcaklığı için karşılaştırmalı grafikler	69
Şekil 7.15. 40°C kurutma havası sıcaklığı için karşılaştırmalı grafikler	70
Şekil 7.16. 45°C kurutma havası sıcaklığı için karşılaştırmalı grafikler	70
Şekil 7.17. 50°C kurutma havası sıcaklığı için karşılaştırmalı grafikler	71
Şekil 7.18. 55°C kurutma havası sıcaklığı için karşılaştırmalı grafikler	71
Şekil 7.19. 60°C kurutma havası sıcaklığı için karşılaştırmalı grafikler	72
Şekil 7.20. 65°C kurutma havası sıcaklığı için karşılaştırmalı grafikler	72
Şekil 7.21. 70°C kurutma havası sıcaklığı için karşılaştırmalı grafikler	73

TABLO LİSTESİ

Tablo 3.1. Kullanılan teorik modeller ve denklemleri	19
Tablo 4.1. 40°C kurutma havası sıcaklığı için teorik sonuçlar	20
Tablo 4.2. 45°C kurutma havası sıcaklığı için teorik sonuçlar	21
Tablo 4.3. 50°C kurutma havası sıcaklığı için teorik sonuçlar	22
Tablo 4.4. 55°C kurutma havası sıcaklığı için teorik sonuçlar	23
Tablo 4.5. 60°C kurutma havası sıcaklığı için teorik sonuçlar	24
Tablo 4.6. 65°C kurutma havası sıcaklığı için teorik sonuçlar	25
Tablo 4.7. 70°C kurutma havası sıcaklığı için teorik sonuçlar	26
Tablo 4.8. 40°C kurutma havası sıcaklığı ve 30dk dinlendirme periyodu için teorik sonuçlar	27
Tablo 4.9. 45°C kurutma havası sıcaklığı ve 30dk dinlendirme periyodu için teorik sonuçlar	28
Tablo 4.10. 50°C kurutma havası sıcaklığı ve 30dk dinlendirme periyodu için teorik sonuçlar	29
Tablo 4.11. 55°C kurutma havası sıcaklığı ve 30dk dinlendirme periyodu için teorik sonuçlar	30
Tablo 4.12. 60°C kurutma havası sıcaklığı ve 30dk dinlendirme periyodu için teorik sonuçlar	31
Tablo 4.13. 65°C kurutma havası sıcaklığı ve 30dk dinlendirme periyodu için teorik sonuçlar	32
Tablo 4.14. 70°C kurutma havası sıcaklığı ve 30dk dinlendirme periyodu için teorik sonuçlar	33
Tablo 4.15. 40°C kurutma havası sıcaklığı ve 60dk dinlendirme periyodu için teorik sonuçlar	34
Tablo 4.16. 45°C kurutma havası sıcaklığı ve 60dk dinlendirme periyodu için teorik sonuçlar	35
Tablo 4.17. 50°C kurutma havası sıcaklığı ve 60dk dinlendirme periyodu için teorik sonuçlar	36

Tablo 4.18. 55°C kurutma havası sıcaklığı ve 60dk dinlendirme periyodu için teorik sonuçlar	37
Tablo 4.19. 60°C kurutma havası sıcaklığı ve 60dk dinlendirme periyodu için teorik sonuçlar	38
Tablo 4.20. 65°C kurutma havası sıcaklığı ve 60dk dinlendirme periyodu için teorik sonuçlar	39
Tablo 4.21. 70°C kurutma havası sıcaklığı ve 60dk dinlendirme periyodu için teorik sonuçlar	40
Tablo 5.1. 40°C kurutma havası sıcaklığı için deneysel sonuçlar	41
Tablo 5.2. 45°C kurutma havası sıcaklığı için deneysel sonuçlar	42
Tablo 5.3. 50°C kurutma havası sıcaklığı için deneysel sonuçlar	43
Tablo 5.4. 55°C kurutma havası sıcaklığı için deneysel sonuçlar	44
Tablo 5.5. 60°C kurutma havası sıcaklığı için deneysel sonuçlar	45
Tablo 5.6. 65°C kurutma havası sıcaklığı için deneysel sonuçlar	46
Tablo 5.7. 70 °C kurutma havası sıcaklığı için deneysel sonuçlar	47
Tablo 5.8. 40°C kurutma havası sıcaklığı ve 30dk dinlendirme periyodu için deneysel sonuçlar	48
Tablo 5.9. 50°C kurutma havası sıcaklığı ve 30dk dinlendirme periyodu için deneysel sonuçlar	49
Tablo 5.10. 60°C kurutma havası sıcaklığı ve 30dk dinlendirme periyodu için deneysel sonuçlar	50
Tablo 5.11. 70°C kurutma havası sıcaklığı ve 30dk dinlendirme periyodu için deneysel sonuçlar	51
Tablo 5.12. 40°C kurutma havası sıcaklığı ve 60dk dinlendirme periyodu için deneysel sonuçlar	52
Tablo 5.13. 50°C kurutma havası sıcaklığı ve 60dk dinlendirme periyodu için deneysel sonuçlar	53
Tablo 5.14. 60°C kurutma havası sıcaklığı ve 60dk dinlendirme periyodu için deneysel sonuçlar	54
Tablo 5.15. 70°C kurutma havası sıcaklığı ve 60dk dinlendirme periyodu için deneysel sonuçlar	55
Tablo 8.1. Toplam kurutma zamanı ve kurutma enerjisinin değişimi	74

1.GİRİŞ

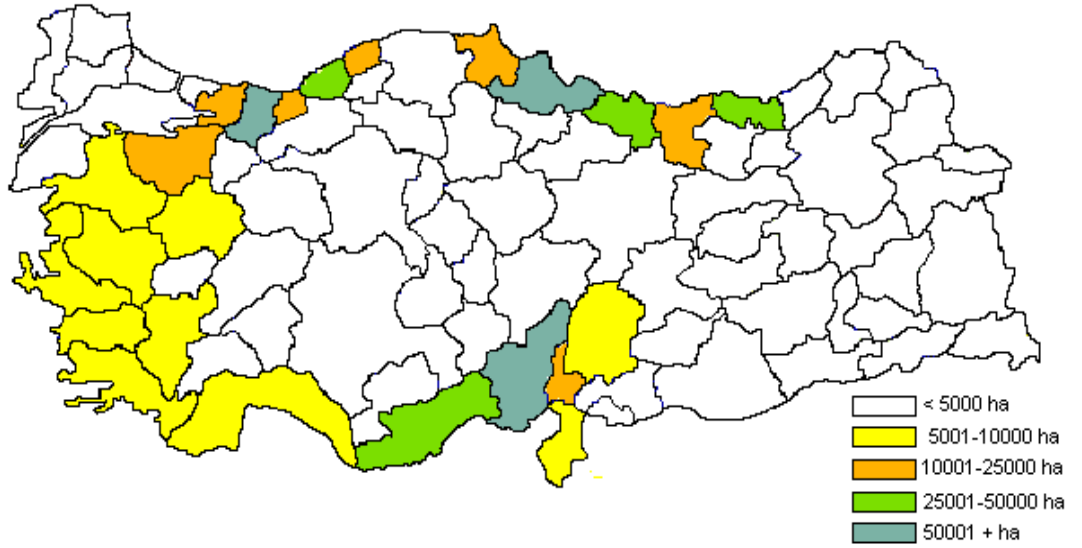
Dünya tarımsal üretim yapısı içerisinde tahıllar oldukça önemli bir yere sahiptir. Buğday, pirinç ve mısır gerek üretimi, gerekse ticareti ile bu grup içerisinde yer alan en önemli ürünlerdir. Mısır ise; diğer tahıllara göre oldukça geniş bir kullanım alanı olması nedeni ile farklı bir konuma sahiptir (Taşdan, 2005). Mısırın anavatanı Amerika kıtası olup, Dünya'nın her yerine buradan yayıldığı bilinmektedir. Mısırın ülkemize girişi ise; Kuzey Afrika üzerinden olmuştur. Bu bitkiye, ülkemizde mısır adının verilmiş olması, bu bitkinin Mısır ve Suriye üzerinden geldiğinin bir göstergesidir (Babaoğlu, 2005).

Mısır gıda maddesi ve gıda endüstrisi mamulleri (haşlama, kavurma, mısır patlağı, ırmık, un, ekmek, diğer fırın ürünleri, çerez, yağ, konserve, nişasta, şurup, pastacılık ürünleri, şekerleme ve çikolata, süt asidi, içki sanayi ürünleri) ve hayvan yemi (ezme, kabuk, kepek, melas, karma yem, silaj) olarak değerlendirilmektedir (Karabaş vd, 2002). Dünya'da üretilen mısırın % 27'si insan beslenmesinde, % 73'ü ise hayvan yemi olarak kullanılmaktadır. Ancak, bu tüketim oranı ülkelerin gelişmişlik düzeyine bağlı olarak değişebilmektedir. Örneğin; gelişmekte olan ülkelere % 45,9 hayvan beslenmesinde, % 54,1'i insan beslenmesinde ve sanayi hammaddesi olarak kullanılırken, gelişmiş ülkelere hayvan yeminin payı % 88,9'a ulaşmakta, hatta bu oran A.B.D' de % 90'a kadar yükselmektedir. Dünyada insan beslenmesinde tüketilen günlük kaloringin %11'i mısır bitkisinden sağlanmaktadır (Kırtok, 1998). Bu kullanım çeşitliliğinin yanı sıra artan nüfus, işlenmiş ürünlere olan talep artışı, sağlıklı yaşam koşulları, hayvansal üretimin artışı ve işleme sanayinin gelişimi gibi faktörlere bağlı olarak ortaya çıkan talep gelişimi dünya mısır üretiminin sürekli olarak artmasını sağlamıştır(Taşdan, 2005).

Elde edilen mısır verimleri; ülkeye ve yetiştirilen türlere bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Ortalama tane verimi yaklaşık dekara 50-60 kg olan ülkelerin yanında, yine dekara 1 ton ve üzerinde verimlerin alınabildiği ülkeler de mevcuttur. Dünyada en çok mısır Amerika kıtasında üretilmektedir. A.B.D, tek başına dünya toplam mısır üretiminin % 40-45' ini karşılamaktadır. Amerika' dan sonra mısır üretiminde sırasıyla; Çin, Brezilya, Arjantin, Meksika ve Fransa gelmektedir (Babaoğlu, 2005).

Mısır ülkemiz tarımında da, önemli bir yere sahiptir. Ülkemizde hayvancılığın gelişmesine paralel olarak artan karma yem talebi sonucunda mısır üretimi de artış

göstermiştir. Ülkemiz mısır üretim alanı 570–600 bin hektar arasında değişmektedir. Ülkemizde hemen hemen tüm bölgelerde az ya da çok mısır üretilmektedir. Ancak üretimin en fazla yapıldığı bölgeler; Karadeniz, Akdeniz, Marmara ve Ege Bölgesi' dir. Ekim alanlarının illere göre dağılımı incelendiğinde, 5.000 hektar ve daha büyük ekim alanına sahip illerin genellikle kıyı bölgeler ya da kıyı iklim kuşağına dahil illerde yoğunlaştığı görülmektedir (Şekil 1.1.). 25.000 hektardan daha fazla ekim alanına sahip iller ise; başta Adana, Samsun ve Sakarya olmak üzere, Doğu Akdeniz ile Doğu Marmara - Orta Karadeniz kuşağında yer almaktadır. Ege ve Batı Akdeniz'de ise ekim alanları genellikle 5.000-10.000 ha genişliğindedir.



Kaynak: DİE

Şekil 1.1. Türkiye’de mısır ekim alanlarının illere göre dağılımı

Dünya’ da yetiştirilen mısır çeşitleri başlıca yedi gruptan oluşmaktadır. Bunlar; at dişi mısır, sert mısır, unlu mısır, şeker mısır, cin mısır, kavuzlu mısır ve mumlu mısırdır. Mısır tanesinde yaklaşık % 70 nişasta, % 10 protein, %5 yağ, %2 şeker ve vitamin A bulunur (Kırtok, 1998).

Mısırın olgunlaşmasını tamamlayıp tamamlamadığı, tanenin koçana bağlandığı uç kısmında oluşan siyah noktadan anlaşılır. Koçanın orta kısımlarından rastgele alınan her 4 tanenin 3 tanesinde siyah nokta oluşmuş ise; mısır olgunlaşmasını tamamlamış demektir. Bu dönemde, nem oranı % 30-35 civarında olup, elle hasat için uygundur. Mısır hasadı hububat (buğday-arpa) biçer-döveri ile rahatlıkla hasat edilebilir. Makineli

hasada uygun mısırdaki nem oranı ise; % 20-25 arasında olmalıdır. Çok fazla kurumuş koçanlarda hasat sırasında tanelerde kırılmalar meydana gelebilir(Babaoğlu, 2005). Hasatta geç kalınırsa protein oranı azalır, selüloz oranı artar (Altindeğer, 2005). Hasat sonrası elde edilen ürün nemli ise; depolamadan önce mutlaka kurutmak gerekir. Aksi takdirde mısırlar kısa sürede küflenerek bozulurlar.

Bu çalışmada hedeflenen; mısırın kurutulmasında, farklı sıcaklıklarla ve dinlenme süreleri ile yapılan deneylerde, kurutma şartlarını inceleyerek, toplam kurutma zamanı ve enerji tüketiminde ne kadar bir farklılık olduğunu görmektir.

2.KURUTMA

Yaş veya nemli bir malzemeden sıvı veya nemin alınması işlemine kurutma denir (Simmonds vd, 1953). Ya da diğer bir tanımla kurutma; genel anlamda bir cismin içindeki suyu gidermek ya da azaltmak için yapılan işlem olarak tanımlanabilir (Yılmaz ve Doğan 2001). Kurutma işlemi bir ısı ve kütle transferi olayı olup güneş enerjisi ile tarım ürünlerini kurutma, en eski gıda saklama yöntemlerinden birisi olarak bilinmektedir (Akyurt vd., 1971). Ürün rutubetli bir şekilde depolanacak olursa, tanenin normal solunumundan dolayı, silonun ortasında sıcaklık oluşacaktır, bu da havanın rutubetini artırarak küf mantarlarının gelişmesine neden olacaktır (Taşdan, 2005). Dinlendirmeli kurutma da; sürekli kurutmaya göre alternatif bir kurutma yöntemidir ve bazı üstünlüklerinden dolayı sürekli kurutmaya göre daha çok tercih edilmektedir(Cihan vd., 2008).

Mısırın uzun süre bozulmadan saklanabilmesi için, genellikle %24-25 (kb) arasında olan hasat nemini %14 (kb)' ın altına düşürmek gerekir (Açıkgöz, 1982). Mısırın kurutulması iki şekilde yapılabilmektedir. Bunlardan birincisi doğal yollarla (güneş ısısı) yapılan kurutmadır ve ürünün güneş ısısı ile kurummasının beklenmesi yöntemiyle yapılmaktadır. Bu tür kurutmada kurutulacak olan sebze ve meyvelerin çoğunluğu, güneşte yere serilmekte ve kuruma işlemi tamamlanıncaya kadar açık havada bekletilmektedir. Güneşte kurutmada; yağmur, rüzgârın neden olduğu tozlar, pislikler, böcek ve sinek gibi çeşitli canlıların temas etmesi nedeniyle gıdanın kalitesi ciddi olarak azalmaktadır. Bu nedenle de, ürünün iç ve dış pazarda satışlarında sorunlar yaşanmaktadır (Cemeroğlu, 1986). Kurutma işlemi doğal yollar dışında kurutma tesislerinde de yapılabilmektedir. Kurutma, ister doğal yollarla ister makinalı sistemlerde yapılsın oldukça dikkatli yapılmalıdır. Çünkü ürünün nem oranının istenen düzeye düşürülememesi durumunda ürünün sanayide işlenmesinde ve depolamada sorunlar ortaya çıkmaktadır. Ürünün fazla kurutulması durumunda ise tane ağırlığı düşmektedir. Dolayısıyla her iki durumda da ürün kalitesi olumsuz yönde etkilenmektedir (Taşdan, 2005).

Kurutma sırasında malzemenin, tat, görünüş, renk, besin değeri gibi kalite özellikleri mümkün olduğunca az değişmelidir. Ayrıca kurutma en ucuz dayandırma yöntemidir. Kurutulmuş gıda üretiminde daha az işçilik ve daha az donanım gerektiği

gibi bunların taşınmasında ve depolanmasında da daha az masraf yapılır. Kurutulmuş ürünlerin çoğunun özel kullanım alanları vardır (Kahveci, K. ve Cihan, A.). Örneğin, birçok ülkede kuru hazır çorbalar endüstri hâline gelmiş durumdadır. Kuru çorba üretiminin ham maddesi, kurutulmuş çeşitli sebze ve tahullardır. (Megep, 2007).

Genellikle kurutma işlemine; kuruma kinetiği, başlangıç nem oranı, kurutma havası hızı, kurutma havası sıcaklığı ve bağıl nemi gibi değişik faktörler etki etmekte olup, bu faktörler arasında en önemli olanı kurutma havası sıcaklığıdır. Krokida vd. (2003), mısır ve bazı sebzeleri kuruttuğu çalışmasında; kurutma havası hızı ve havanın bağıl nemindeki değişimin kurutmaya etkisinin neredeyse olmadığını, asıl etkinin kurutma havası sıcaklığındaki değişimden kaynaklandığının belirlemişlerdir.

Thompson vd. (1968), tarafından mısır kurutulmasına uygulanan ısı ve kütle dengesi modelinde kurumanın ard arda gelen tabakalarda gerçekleştiği kabul edilmiştir.

Zaman&Bala(1989), Page denklemini, kuş üzümü, çekirdeksiz üzüm, incir ve erik gibi, fazla miktarda şeker ihtiva eden zirai ürünlerin kuruma sonuçlarına da uygulayarak lineer bir bağıntı elde etmişlerdir.

Daha önceki çalışmaların incelenmesiyle, yüksek sıcaklıklarda kuruma zamanının kısaldığı, birim havaya verilen ısı miktarının arttığı, düşük sıcaklıklarda ise kuruma zamanının uzadığı, birim havaya verilen ısı miktarının azaldığı tespit edilmiştir.(Cihan vd., 1995).

2.1 Mısırın Kurutulmasının Önemi

Tarımsal ürünlerin kurutulmasındaki amaç; depolama süresi içerisinde ürünün bozulmadan saklanmasını sağlamaktır. Ürün nemi, ortam sıcaklığı, ortamdaki oksijen miktarı, zararlı mikroorganizmalar ürünlerin bozulmasına neden olan başlıca etmenlerdir (Karaaslan ve Erdem, 2009). Mısırın hasat edilip işlendikten sonra uzun süre bozulmadan veya küflenmeden saklanabilmesi için; kuru baza göre %24-25 civarında olan hasat neminin, 6 aydan az bir zaman dilimi için yapılacak olan depolama için % 15 nem oranına kadar kurutulmalıdır. Daha uzun süreli depolamalarda ise; nem oranının kuru baza göre %14' e indirilmesi gerekir (Babaoğlu, 2005).

TSE tarafından yayımlanan, TS 3415' nolu standart mısırın tanımı, sınıflandırması, ambajlaması vb. temel konuları kapsamaktadır. Bu standarda göre mısıra ait temel özellikler şu şekilde belirtilmektedir (TSE, 1979) :

1. Kendine özgü koku, tat ve renkte olmalı, yabancı tat ve koku, özellikle kızıışma ve küf kokusu olmamalı,
2. İçerisinde canlı böcekler bulunmamalı,
3. Islak ve % 15'den fazla rutubetli olmamalıdır.

TSE tarafından belirlenen bu temel standart özelliklerinden olan nem oranı; alım-satım yapan herkes tarafından yaygın şekilde dikkate alınmaktadır. Mısıra ait TSE standardında temel özelliklerin başında yer alan nem, piyasanın yerleşik kuralı haline dönüşmüştür ve bu özelliğinden dolayı da mısır pazarlamasında dikkat edilen en önemli kriterdir. Nem oranının önemli derecede dikkate alınmasının nedeni ise mısırın hasat edilebilmesinin yanı sıra depolanabilmesi ya da işlenebilmesi için düşük oranda nem içermesinin zorunlu olmasıdır (Taşdan, 2005).

Ülkemizde kurutma işlemi genelde, güneş ışınlarının rahat alınabildiği, geniş zeminlerde yapılmaktadır. Ancak, hasat edilen mısırın, güneşte rahat ve uzun bir zamanda kurutulabilmesi için, hava şartları her zaman uygun olmayabilir. Dolayısıyla kurutma için uygun iklim koşullarını beklemek hem zaman açısından, hem de bekleme sürecinde olgunlaşan tahıldaki tane kaybı açısından pek mümkün değildir. Bununla birlikte kurutulacak olan mısırların zemine yayılması, karıştırılması vb. gibi işlerden dolayı büyük bir iş gücüne ihtiyaç duyulacaktır hem de bu işlemlerin yapılması esnasında belirli bir miktar ürünün kaybolacağı aşikârdır. Diğer bir yöntem ise; ısıtılmış havanın kurutulacak numuneye gönderilmesidir. Bu yöntem sayesinde, tüm hasat pazara gelmeden, yüksek fiyatla satmak ve aynı zamanda nemi yüksek olduğu için uygulanan indirimden etkilenmemek mümkün olur. Dolayısıyla mısır ürünün kurutulması bize bazı faydalar sağlamaktadır, bunlar;

-Üreticinin yada tüccarın elde edilen ürünü zaman kısıtlaması olmadan dilediğinde pazarlayabilmesi

-Mısır tohumlarının uzun süre bozulmadan saklanabilmesi

-Mısırı bozulmadan uzun süre saklayabilmek için nem oranının belirli bir değerin altında olmasının sağlanması

-Mısır tarlada olgunlaştıktan sonra iklim şartlarından bağımsız olarak hasat edilerek ürün kaybının azaltılması.

2.2 Mısır Kurutma Sistemleri

Kurutma yöntemlerinin hemen hemen hepsi ısı ve kütle transferi esasına dayanmaktadır. Kurutulacak malzemenin içindeki suyun buharlaştırılması için gerekli ısının malzemeye iletilmesi (ısı transferi), buhar haline gelen suyun hava akımı ile mahalden uzaklaştırılması (kütle transferi) ile gerçekleşmektedir. Endüstriyel kurutmanın da temel amacı, kurutma süreci için gerekli olan ısı enerjisinin en ekonomik şekilde temin edilmesidir (Yılmaz ve Doğan, 2005). Kurutma sistemleri, kullanılan hava sıcaklığına göre sınıflandırılmaktadır;

- Doğal havalı kurutma sistemleri
- Düşük sıcaklıklı kurutma sistemleri
- Yüksek sıcaklıklı kurutma sistemleri
- Kombine kurutma sistemleri

2.2.1. Doğal Havalı Kurutma Sistemleri

Çevre havasının, herhangi bir ısıtma işlemine tabi tutulmadan doğrudan kurutma havası olarak kullanıldığı sistemlerdir. Bağlı nemin düşük olduğu ve hava sıcaklığının göreceli olarak yüksek olduğu durumlarda kurutma işlemi gerçekleştirilebilir. Kurutma işleminin olabilmesi için çevre havasının sıcaklığına ve nemine bağlı denge neminin mısırın o andaki nem değerinden küçük olması gerekir. Bu tür kurutma daha çok silo tip kurutucularda görülür. Kurutma havası bir fan vasıtasıyla siloya gönderilir. Havayı siloya gönderen fan, hava sıcaklığının 1-2.5°C artmasını sağlar. Bu sıcaklık farkı ilave olarak bir kurutma potansiyeli sağlar (Kunze, 1985).

2.2.2. Düşük Sıcaklıklı Kurutma Sistemleri

Bu tür kurutucularda kurutma havasının kurutma potansiyelini arttırmak amacı ile çevre havası 2–10°C arasında ısıtılır. Bu sıcaklık artışı, kurutma havasının bağıl neminde hissedilir oranda bir düşme sağlar. Bu durum kurutma havasının denge nemi değerinin düşmesine ve kurutma potansiyelinin artmasına neden olur. Tip olarak yine doğal havalı kurutmadaki silo tipi kullanılır. Ancak fan girişine veya çıkışına hava ısıtıcısının ilave edilmesi gerekir. Hava ısıtıcısı, nem kontrollü olarak çalıştırılır. Havanın bağıl nemi belli bir değerin altında iken, sistem doğal havalı kurutucu olarak kullanılır. Bağıl nem değeri, belirlenen limiti aştığı takdirde ısıtıcı devreye girer. Sistemin doğal havalı kurutucuya göre avantajlı yanı, çevre koşullarına olan bağımlılığın söz konusu olmamasıdır. Bir miktar ısınan havanın silo içinde üst tabakalara doğru doyması ve üst tabakalardaki tahılın hava sıcaklığından daha düşük sıcaklıkta olması sonucu tahıl taneciği üzerinde yoğuşma meydana gelebilir. Bu da beraberinde tahılın küflenme tehlikesini ortaya çıkarır. Enerji girdisi doğal havalı kurutucuya oranla daha yüksektir. Bu da kurutma maliyetini etkileyen bir faktördür(Kunze, 1985).

2.2.3. Yüksek Sıcaklıklı Kurutma Sistemleri

Çevre havasının, kurutma işleminden önce 10-80°C arasında ısıtıldığı sistemlere yüksek sıcaklıklı kurutucular denir. Sabit yataklı veya hareketli yataklı olmak üzere iki ayrı tipi vardır; sabit yataklı tip, silo tipi kurutucu olup tahıl kuruma sürecinde hareketsizdir, hareketli tipte ise tahıl sürekli hareket halinde olup kurutucunun bir tarafından giren nemli tahıl, çıkış bölgesinden kurumuş olarak çıkmaktadır. Bu sistemler ısı transferini ve bunun sonucunda kütle transferini arttırmak amacıyla çeşitli formlarda yapılmaktadırlar. Paralel akımlı, karşıt akımlı, çapraz akımlı kurutucular gibi. Bu tür kurutucuların üstünlükleri; kuruma hızının yüksek olması, kurutma kapasitesinin büyük olması, hava koşullarına bağımlılığın söz konusu olmamasıdır. Dezavantajları ise; yatırım, bakım ve işletme giderlerinin yüksek olması, sıcaklığın iyi kontrol edilemediği koşullarda yangın tehlikesinin söz konusu olmasıdır(Steffe&Singh, 1980b).

2.2.4. Kombine Kurutma Sistemleri

Kombine sistemlerde kurutma iki aşamada yapılır. Hasat sonrası ilk nemi %20 (y.b.) den fazla olan ürün, yüksek sıcaklıkta çalışan bir kurutucuyla ön kurutmaya alınır. Nemi kısa sürede %20 seviyelerine indikten sonra, çevre havası veya düşük sıcaklıkta çalışan ikinci bir kurutucuya aktararak kurutmaya devam edilir. Bu yöntemin, ürünün baştan sona sıcak hava ile kurutulmasına göre en az %25 daha az enerji tüketimi sağladığı görülmüştür.

2.3. Mısırın Nem Oranı

Tarım ürünlerinde nem miktarı, bünyesinde tutulan su ağırlığı olarak ele alınır. Su miktarı, % olarak oransal biçimde tanımlanır. Nem miktarının belirlenmesinde “Yaş baz” (yb), “Kuru baz” (kb) olmak üzere iki tanımdan biri kullanılmaktadır (ASAE; 1983). Mısır içindeki su kütlesinin, toplam kütleyle oranına yaş baza göre nem oranı denir (Cemeroğlu,1986).

$$m_y = \frac{M_s}{M_y} \quad (2.1)$$

Burada; “ M_s ” mısırın içerdiği su kütlesini, “ M_y ” yaş mısırın kütlesini, “ m_y ” ise mısırın yaş baza göre (yb) nem oranını göstermektedir.

Mısır içindeki nem kütlesinin, mısırın kuru kütlesine oranına; mısırın kuru baza göre nem oranı denir.

$$m = \frac{M_s}{M_k} \quad (2.2)$$

Burada, “ M_k ” mısırın kuru kütlesini, “ m ” mısırın kuru baza göre nem oranını göstermektedir.

$$M_s = M_y - M_k \quad \Rightarrow \quad m = \frac{M_y - M_k}{M_k} \quad (2.3)$$

$$m = \frac{M_y}{M_k} - 1 \quad (2.4)$$

$$m = \frac{M_s}{M_k m_y} - 1 \quad \Rightarrow \quad m = \frac{m}{m_y} - 1 \quad (2.5)$$

$$m + 1 = \frac{m}{m_y} \quad \Rightarrow \quad m = m_y (m + 1) \quad (2.6)$$

$$m = m_y m + m_y \quad \Rightarrow \quad m_y = m(1 - m_y) \quad (2.7)$$

olduğundan; kuru baza göre nem oranı ile, yaş baza göre nem oranı arasında, aşağıdaki bağıntı vardır.

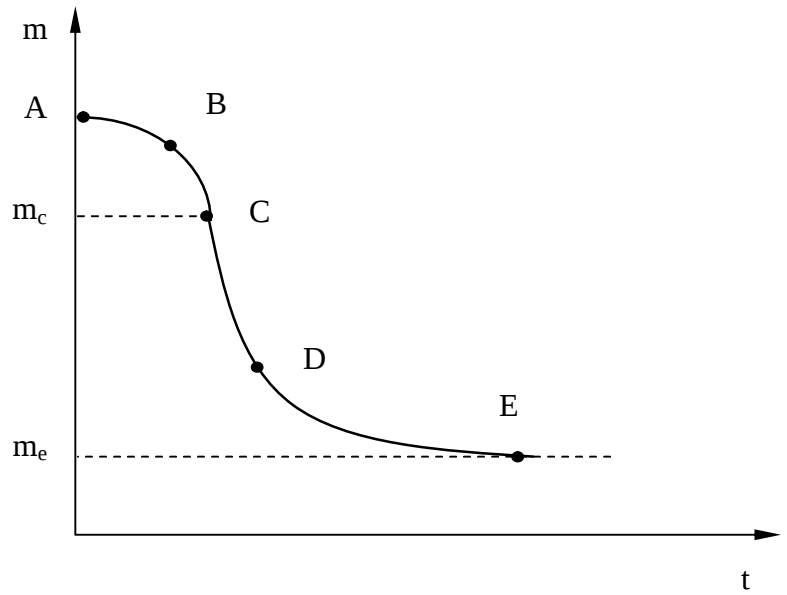
$$m = \frac{m_y}{1 - m_y} \quad (2.8)$$

Mısırın kuru baza göre nem oranı, mısırın değişmeyen kuru kütlesi kullanılarak tanımlandığı için, daha güvenilir bir değişkendir ve literatürde daha sık kullanılmaktadır.(Hacıhafızoğlu, 1995) Bu çalışmada da kuru baza göre nem oranı kullanılmıştır.

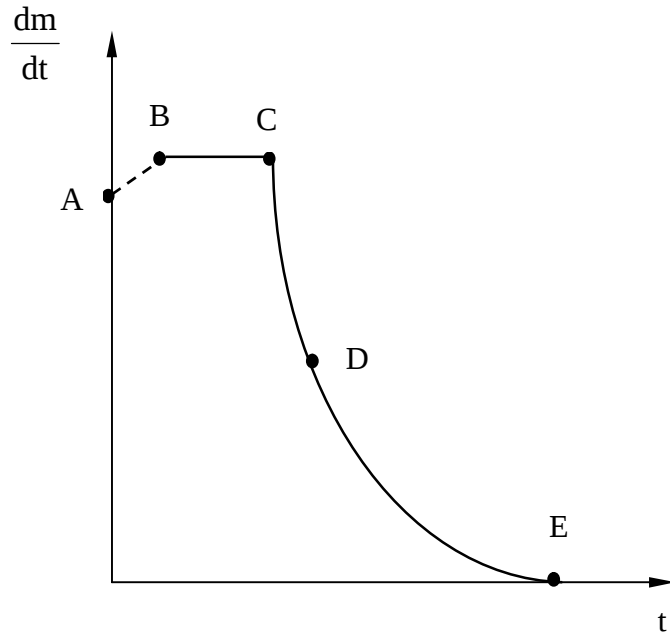
2.4. Kurutma Süreci

Mısır kurutulurken, hangi tür kurutma işlemi uygulanırsa uygulansın, kuruma davranışı değişmemektedir ve kuruma hızı, kuruma sürecinde belirli periyotlarda farklılıklar göstermektedir. Yapılan incelemeler, mısırın kuruma hızının belirli bir nem seviyesine kadar sabit kaldığını, diğer bir deyişle birim zamanda mısırdan alınan nemin

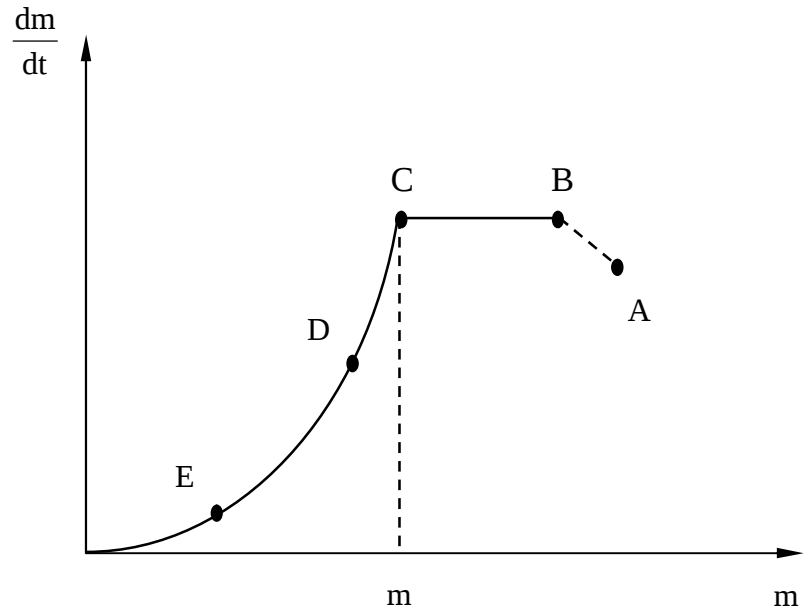
sabit kaldığını göstermektedir. Bu sürece sabit hızda kuruma süreci denir. Mısırın sabit hızda kuruma süreci sonundaki nem oranına, mısırın kritik nemi denir. Kritik nem seviyesinden daha az oranda nem içeren mısırlarda ise; kurutma zamanı arttıkça mısırdan alınan nemin azaldığı gözlemlenmiştir. Bu sürece azalan hızda kuruma süreci adı verilmektedir. Birçok tahılda azalan hızda kuruma sürecinin birkaç kademede olduğu bilinmektedir. Bu süreçler, 1. azalan hızda kuruma süreci, 2. azalan hızda kuruma süreci şeklinde isimlendirilmiştir. Şekil 2.1.' de mısırın kuruma oranı eğrisi gösterilmektedir. Şekil 2.2. ve Şekil 2.3.' de ise mısırın kuruma hızının zamana göre değişimi ile kuruma hızının nem oranıyla değişimi verilmiştir (Chen ve Johnson, 1969). Şekillerden de görüleceği gibi farklı periyotlarda birbirinden farklı davranış gösteren kuruma sürecinde AB aralığı ısıtma veya soğutma sürecini, BC aralığı sabit hızda kuruma sürecini, CD aralığı 1.azalan hızda kuruma sürecini, DE aralığı ise 2. azalan hızda kuruma sürecini göstermektedir.



Şekil 2.1. Higroskopik maddelerin kuruma oranı eğrisi



Şekil 2.2. Higroskopik maddelerin kuruma hızının zamanla değişimi



Şekil 2.3. Higroskopik maddelerin kuruma hızının nem oranıyla değişimi

2.4.1 Sabit Hızda Kuruma Süreci

Nemli veya ıslak malzemelerin dış yüzeyinde, bütün sıvı yüzeylerinde olduğu gibi, bir doymuş hava filmi oluşur. Bu doymuş havanın sıcaklığı, havanın yaş termometre sıcaklığıdır. Doymuş hava içerisindeki su buharının kısmi basıncı P_{bo} , dış hava içindeki (malzemeyi kurutan) su buharının kısmi basıncı da $P_{b\infty}$ olmak üzere birim malzeme yüzeyinden, birim zamanda buharlaşan nem miktarı M_b aşağıdaki gibi ifade edilir.

$$M_b \cong \frac{h'}{R_b T} (P_{bo} - P_{b\infty}) \quad (2.10)$$

Burada;

M_b : Birim zamanda buharlaşan nem miktarı(kg/sn)

h' : kütle transfer katsayısı [m/s] olup,

$$h' = \frac{D}{\delta} \quad (2.11)$$

şeklinde tanımlıdır. Burada δ derişiklik sınır tabaka kalınlığı [m], D difüzyon katsayısıdır [m^2/h], R_b su buharı gaz sabiti [kJ/kg K] ve T mutlak sıcaklıktır [K].

Dış şartlar sabit kaldığı sürece P_{bo} , $P_{b\infty}$ basınçları sabit kalırlar ve kuruma sabit bir hızda devam eder. Malzeme yüzeyine gelen sıvı beslemesi azalmaya başladığı an azalan hızda kuruma süreci başlar.

Sabit hız bölgesinde, serbest nem yüzeyde veya büyük kılcıl kanallarda bulunur ve kısmi basıncı ortam şartlarındaki buhar basıncına eşittir. Materyalin yüzey sıcaklığı, havanın yaş termometre sıcaklığına yaklaşır. Sabit hız bölgesinde materyalden ortama olan kütle aktarım hızı, ortamdan materyale olan ısı aktarım hızına eşittir ve kütle aktarımı için itici güç katı yüzey ile ortam arasındaki nemlilik farkı, ısı aktarımı için de ortam ile katı yüzey arasındaki sıcaklık farkıdır.

2.4.2 Azalan Hızda Kuruma Süreci

Azalan hızda kuruma süreci, sabit hızda kuruma sürecinin ardından ortaya çıkar. Sabit hızda kuruma sona erdiğinde mısırın kuruma hızı azalmaya ve cismin yüzeyinde kuru bölgeler meydana gelmeye başlar. Kurutma başlangıcından itibaren cismin yüzeyindeki ilk kuru bölgenin görüldüğü ana kadar geçen süreye “Kritik nem miktarına ulaşma zamanı” bu anda cismin bünyesinde bulunan nemin cismin kuru kütlesine oranına “Kritik nem oranı” denir.

Kritik noktadan itibaren kurutma havasından, yaş cisme transfer edilen ısı miktarı ile yaş cisimden kurutma havasına transfer olan nem miktarı arasındaki denge bozulur ve ısı transferindeki küçük azalmalara karşın, kütle transferinde de büyük azalmalar olur. Bu olay kurutma prosesinin sonuna kadar böylece devam eder ve kurutma hızı sürekli olarak azalır. Kurutma hızının sürekli olarak azaldığı bu sürece “Azalan Hızda Kuruma Süreci” denir. Azalan hızda kuruma süreci geniş ölçüde ürün tarafından kontrol edilmektedir yani dış şartlardan bağımsız olarak gerçekleşir.

Gıda maddelerinde azalan hızda kuruma süreci gıda maddesinin türüne göre çeşitli durumlar gösterebilir. Bunlar birinci ve ikinci azalan hız periyotlarıdır. Kuruma hızı cismin yüzeyi ile iç bölge arasındaki konsantrasyon farkına göre süreç içerisinde azalarak devam eder. Cisim içerisinde ince ve kalın kılcallar vardır. Birinci azalan hız sürecinde kuruma ince kılcallarda gerçekleşir. Kalın kılcallar ince kılcallara su takviyesi yaparlar. İkinci azalan hız sürecinde artık kalın kılcallarda hiç su kalmamıştır ve kurutma ince kılcalda devam eder (Simmonds, 1953).

2.5 Sorpsiyon İzotermi

Higroscobik maddelerin nem içeriği ile çevre havasının bağıl nemi arasındaki dengeyi gösteren eğriye “sorpsiyon izotermi” denir.

Malzemenin iç yapısı değişik olunca, bu malzemeye ait sorpsiyon izotermi de farklı olur. Bu eğriler ancak deneysel olarak elde edilebilir. Ayrıca malzemenin çevreden sıvı alması (adsorpsiyon) veya kurutmada olduğu gibi sıvının çekilmesi (desorpsiyon) hali için elde edilen $m=f(\phi)$ sorpsiyon eğrileri de farklı olur. Bunun

nedeni gözeneklerde sıvının artması veya azalmasına göre kapiler sıvı hareketinin farklı olmasından kaynaklanmaktadır.

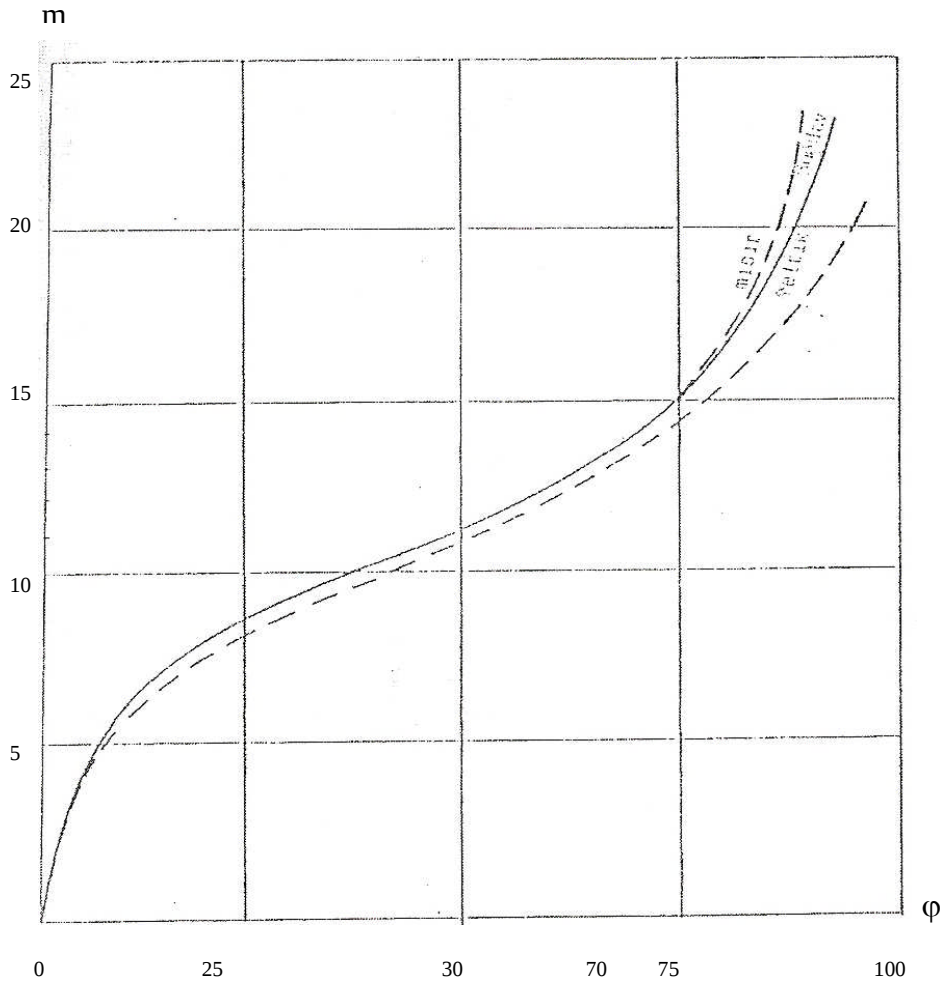
Sıcaklığın artması sorpsiyon izoterm eğrilerinin aşağı doğru kaymasına neden olur. Belirli bir ϕ değeri için sıcaklığın artışının sebep olacağı nem içeriği değişmesi yaklaşık olarak aşağıdaki lineer bağıntı ile hesaplanabilir (Simmonds, 1953).

$$\left(\frac{\partial m}{\partial T} \right)_p = K m \quad (2.9)$$

K: Orantı katsayısı

m: Nem oranı (kb)

ϕ : Havanın bağıl nemi



Şekil 2.4. Sorpsiyon izotermi

3.DENEY SÜRECİ

3.1 Deney Tesisatı ve Ölçüm Elemanları

Deney tesisatı başlıca; bir hava fanı, çeşitli değerlere sahip elektrikli ısıtıcılar, bir hava kanalı, bir kurutma odası, dört kurutma eleği ve ölçüm elemanlarından oluşmaktadır. Deney tesisatı ve aparatlarının şematik şekli Şekil 3.1.' de gösterilmektedir.

Hava fanı 500 m³/h kapasiteye sahip ve 2 KW gücündedir. Havanın hacimsel debisini dolayısıyla çıkıştaki kurutma havası hızını istenilen değerlere ayarlamak amacıyla fan girişinde bir klape bulunmaktadır.

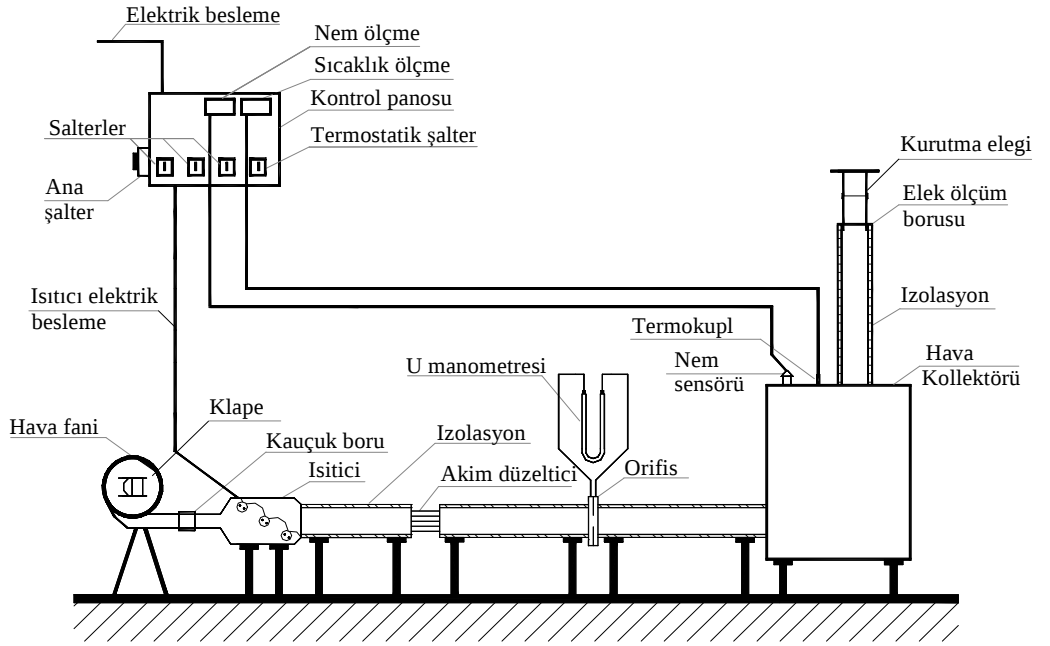
Havayı ısıtmada kullanılan ısıtıcılar ise; 3 adet 1 KW, 3 adet 1.5 KW olmak üzere 7.5 KW gücüne sahiptirler. Buradaki 1.5 KW gücüne sahip ısıtıcılardan birisi, kumanda panosu üzerinde ki termostata bağlı bulunmaktadır. Bu sayede istenilen sıcaklık değeri için otomatik olarak devreye girmekte ya da devreden çıkmaktadır.

Havanın akışının daha düzgün olması amacıyla, hava kanalının içerisinde iç çapları 106 mm. olan çelik borular bulunmaktadır. Hava kanalın etrafı, çevreye olan ısı kaybını azaltmak için cam yünüyle izole edilmiştir. Fanın çok yüksek devirde çalışmasından dolayı oluşan titreşimi engellemek için fan çıkışı ile ısıtıcı bölüm arasına yaklaşık 20 cm. boyunda kauçuk bir boru bulunmaktadır.

Hava kanalı 2 m x 1.5 m x 1.5 m ebatlarındaki kollektöre bağlandı. Kollektörün ısı yalıtımının sağlanması için içerisinde 5 cm kalınlığında strafor bulunmaktadır. Dört adet 10 cm çapında ölçüm borusu flanşlarla kollektöre bağlı bulunmaktadır. Kollektörden çıkan sıcak hava akımının uniform hale gelmesini sağlamak amacıyla, ölçüm borularının her birinin boyu 1 m alınmış olup yüzeyi ısı kayıplarına karşı izole edilmiştir.

Deneyde kullanılan mısırları ölçüm borusu üzerine koyarak kurutmak amacıyla eşit uzunluklarda ve 10 cm çapında PVC borulardan elekler kullanıldı. Elek tellerinin aralıkları mümkün olduğunca büyük alınarak hava akışının en üst düzeyde olması sağlandı. Elek telleri bir kasnak vasıtasıyla PVC boruya perçinle tutturuldu. Kasnağın 10 mm uzunluğundaki kısmı elek tellerinden daha aşağıda alınarak bu kısmın ölçüm borusuna tatlı bir sıkılıkta geçmesine olanak sağlandı. Elek ile ölçüm borusu,

sızdırmazlığının sağlanması amacıyla kauçuk malzeme ile sıkıca sarıldı. Deney tesisatı için yapılan kontrol panelinde 1 adet sıcaklık çeviricisi ve göstergesi, 1 adet bağıl nem çeviricisi ve göstergesi ile ısıtıcıları kumanda eden 4 adet şalter bulunmaktadır. Sıcaklık çeviricisi ve göstergesi, hava kollektörüne yerleştirilen termokupl sayesinde, kurutma havası sıcaklığının deney süresince gözlemlenmesini sağladı.



Şekil 3.1. Şematik kurutma deney tesisatı

Kurutma havası hızının klape yardımı ile ayarlanan değerlerde olup olmadığı, eleklerin çıkışındaki 0.6÷40 m/s ölçme aralığına ve 0.1 m/s hassasiyete sahip bir dijital anemometre ile ölçülerek kontrol edildi.

Higrometre cihazıyla deney ortamının yaş ve kuru termometre sıcaklıkları, Metrel MI6401 Poly marka dijital ölçüm cihazıyla da direk nem ve sıcaklık değerleri tespit edilerek, havanın ısıtıcıya hangi şartlarda girdiği saptandı. Diğer bir kontrol amacıyla da ölçme borusunda havanın yaş ve kuru termometre sıcaklıkları higrometre ile, Metrel MI6401 Poly marka dijital ölçüm cihazıyla da hem sıcaklık hem nem değerlerinin ölçümü yapıldı.

3.2.Mısırın Hazırlanması

Deneylerde kullanılacak olan Hybrid türü mısırlar, Edirne Tarımsal Araştırma Enstitüsü'nden temin edildi. Mısırlar depodan alındığından dolayı hasat nemine sahip değildiler. Deney ön koşullarını sağlamak amacıyla mısırlar nem oranı %23-%25 kb gelinceye dek nemlendirildi. Nemlendirme işleminde tüm mısırlar iyice karıştırıldı ve tam olarak homojenliğin sağlanması amacıyla 2 gün süreyle ağızları naylon örtülerle kaplı kapaklarla kapatılmış cam kavanozlar bünyesinde soğutucuda bekletildi. Nem değerlerinin istenilen değerlere ulaşip ulaşmadığının kontrolünü yaparken; hassas tartıyla tartılan belirli kütledeki bir miktar mısır 110°C sıcaklığa ayarlı ETÜV' e konuldu (Steffe vd., 1978). Ve tüm nemin buharlaşmasından emin olabilmek amacıyla 48 saat bekletildi (Noomharm vd., 1986b). Bekleme sürecinden sonra numuneler hassas tartıyla ölçüldü ve kütle farkından nem oranı bulundu. Nem oranının doğruluğu tüm deneyleri etkileyeceğinden dolayı; nem oranlarının hasat nemine getirilmesi süreci istenilen değerlere ulaşabilmek için hassas bir şekilde birkaç kez tekrarlandı.

3.3. Deneylerin Yapılışı

Deney şartlarını oluşturabilmek amacıyla, kumanda panelinden ısıtıcı rezistanslar yardımıyla sırasıyla her bir deney sıcaklığı olan; 40°C, 45°C, 50°C, 55°C, 60°C, 65°C ve 70 °C sıcaklıkları ayarlandı. Bu ayarlama esnasında istenilen sıcaklık için ihtiyaç duyulan kadar rezistans devreye alındı ya da devreden çıkartıldı. Sıcaklık değerlerinin istenilen değerlere ulaşip ulaşmadığı ölçüm borularından hatayı en aza indirmek gayesiyle, hem termometre hem de Metrel MI6401 Poly marka dijital ölçüm cihazıyla gerçekleştirildi. Kurutma havasının hızının ayarlanmasında; fan girişinde yer alan klapeden debinin kontrolü ile havanın hızının istenilen değere getirilmesi sağlandı. Hava hızının ölçümü yine aynı şekilde ölçüm borularından alınan değerlerle sağlandı. Hava hızının ölçümü bir anemometre ve yine sıcaklık ölçümü için de kullandığımız dijital ölçüm cihazıyla gerçekleştirildi. Bu ölçümlerin yardımıyla havanın hızının 2 m/s olması sağlandı. Deneylere başlanmadan önce; deney tesisatı homojen sıcaklık ve hava hızına ulaşılan dek çalıştırıldı, bu süre de takribi 1 saatlik bir zaman dilimine denk gelmektedir. Kurutma havasının sıcaklığı ve hızı istenilen değerlere ayarlandıktan

sonra, ortamın ve kurutma havasının yaş-kuru termometre sıcaklıkları bulunarak psikrometrik diyagram üzerinden bağıl nem değerleri okundu. Bağıl nem ölçümlerinin doğruluğu, aynı zamanda dijital ölçü cihazından da direk olarak elde edilen ölçüm değerleriyle onaylandı. Mısırın denge neminin havanın bağıl nemine bağlı olarak değiştiği bilinmektedir. Korkmaz (2007), kurutma havasının şartlarına bağlı olarak hybrid tipi mısırın denge nemini, yaptığı ölçümlerle belirlemiştir. Bu çalışmada Korkmaz (2007) tarafından elde edilen denge nemi değerleri kullanılmıştır.

İstenilen nem değerlerine getirilmiş olan mısır taneleri, cam petrillerde kütlelerinin ölçümü yapıldıktan sonra deney tesisatındaki ölçüm boruları üzerine koyulan eleklerle tek tabaka oluşturacak şekilde yerleştirildi. Bu tez sürecinde kullanılmak üzere üç grup deney yapıldı. Bunlardan 1. grup deneylerdeki mısır taneleri 30 ‘ ar dakika aralıklarla ölçüm almak kaydıyla; sürekli kurumaya maruz bırakıldı. 2. grup deneylerde ise; 30 dakika kurutma ve ardından 30’ ar dakikalık zaman dilimlerinde dinlenmeye bırakıldı. 3. grup deneyler de ise; 30 dakika kurutma ve her kurutma sürecinden sonra 60 dakikalık dinlendirmeye alındı. Eleklerdeki mısır kütlelerinin ölçümünde 0.001 gr. hassasiyetindeki dijital terazi kullanıldı. Her üç deney grubunda da mısırların nem değerlerinin %14 k.b. ‘ın altına düşene dek kurutulması esas alındı.

Tablo 3.1 Kullanılan teorik modeller ve denklemleri

Model Adı	Model Denklemi	Referanslar
Newton	$mr = \exp(-kt)$	(O’Callaghan vd., 1971)
Page	$mr = \exp(-kt^n)$	(Agrawal ve Singh, 1977)
Henderson&Pabis	$mr = a \exp(-kt)$	(Chhinman, 1984)
Logarithmic	$mr = a_0 + a \exp(-kt)$	(Chandra ve Singh, 1995)
Two term exponential	$mr = a \exp(-kt) + (1 - a) \exp(-kat)$	(Sharaf-Elden vd., 1980)
Geometric	$mr = at^{-n}$	(Chandra ve Singh, 1995)
Wang&Singh	$mr = 1 + at + bt^2$	(Wang ve Singh, 1978)
Modified Page	$mr = \exp(-(kt)^n)$	(Diamante ve Munro, 1993)
Diffusion approach	$mr = a \exp(-kt) + (1 - a) \exp(-kbt)$	(Kassem, 1998)
Verma <i>et al.</i>	$mr = a \exp(-kt) + (1 - a) \exp(-gt)$	(Verma vd., 1985)
Midilli <i>et al.</i>	$mr = a \exp(-kt^n) + bt$	(Midilli vd., 2002)

4. TEORİK MODEL SONUÇLARI

4.1. Sürekli Kurutma İçin Teorik Sonuçlar

Tablo 4.1. 40°C kurutma havası sıcaklığı için teorik sonuçlar

Model Adı	Model Denklemi	Katsayı	r	e _s	χ^2
Newton	$MR = \exp(-kt)$	k= 0,2317	0,9844	0,0554	$3,3218 \times 10^{-3}$
Page	$MR = \exp(-kt^n)$	k= 0,3558 n= 0,6546	1,0000	0,0019	$0,4090 \times 10^{-5}$
Henderson & Pabis	$MR = a \exp(-kt)$	k= 0,1980 a= 0,9036	0,9804	0,0386	$1,7595 \times 10^{-3}$
Logarithmic	$MR = a_0 + a \exp(-kt)$	k = 0,4483 a ₀ = 0,2902 a = 0,6775	0,9956	0,0181	$4,2800 \times 10^{-4}$
Two-term exponential	$MR = a \exp(-kt) + (1-a) \exp(-kat)$	a= 0,1503 k= 1,2376	0,9948	0,0300	$1,0605 \times 10^{-3}$
Geometric	$MR = at^{-n}$	n= 0,0970 a= 0,5420	0,8340	0,1071	$1,3564 \times 10^{-2}$
Wang&Singh	$MR = 1 + at + bt^2$	b= 0,0240 a= -0,2530	0,9865	0,0400	$1,8948 \times 10^{-3}$
Modified Page	$MR = \exp(-(kt)^n)$	k= 0,2062 n= 0,6545	1,0000	0,0018	$0,4092 \times 10^{-5}$
Diffusion approach	$MR = a \exp(-kt) + (1-a) \exp(-kbt)$	b= 0,0850 a= 0,2438 k= 1,7449	0,9999	0,0030	$1,2103 \times 10^{-5}$
Verma et al.	$MR = a \exp(-kt) + (1-a) \exp(-gt)$	g= 1,7431 a= 0,7561 k= 0,1483	0,9999	0,0030	$1,2104 \times 10^{-5}$
Midilli et al.	$MR = a \exp(-kt^n) + bt$	a= 1,0000 b= 0,0001 k= 0,3558 n= 0,6554	1,0000	0,0019	$0,5070 \times 10^{-5}$

Tablo 4.2. 45°C kurutma havası sıcaklığı için teorik sonuçlar

Model Adı	Model Denklemleri	Katsayı	r	e _s	χ^2
Newton	$MR = \exp(-kt)$	k= 0,2597	0,9814	0,0625	$4,2320 \times 10^{-3}$
Page	$MR = \exp(-kt^n)$	k= 0,4066 n= 0,6280	0,9999	0,0022	$0,5690 \times 10^{-5}$
Henderson& Pabis	$MR = a \exp(-kt)$	k= 0,2209 a= 0,8951	0,9765	0,0439	$2,2808 \times 10^{-3}$
Logarithmic	$MR = a_0 + a \exp(-kt)$	k = 0,4987 a ₀ = 0,2729 a = 0,6886	0,9942	0,0216	$6,0500 \times 10^{-4}$
Two-term exponential	$MR = a \exp(-kt) + (1-a) \exp(-kat)$	a= 0,1597 k= 1,3082	0,9927	0,0365	$1,5779 \times 10^{-3}$
Geometric	$MR = at^{-n}$	n= 0,1060 a= 0,5080	0,8486	0,1061	$1,3309 \times 10^{-2}$
Wang&Singh	$MR = 1 + at + bt^2$	b= 0,0280 a= -0,2770	0,9825	0,0479	$2,7132 \times 10^{-3}$
Modified Page	$MR = \exp(-(kt)^n)$	k= 0,2386 n= 0,6280	0,9999	0,0021	$0,5694 \times 10^{-5}$
Diffusion approach	$MR = a \exp(-kt) + (1-a) \exp(-kbt)$	b= 0,0797 a= 0,2671 k= 2,0364	0,9996	0,0057	$4,3172 \times 10^{-5}$
Verma et al.	$MR = a \exp(-kt) + (1-a) \exp(-gt)$	g= 2,0429 a= 0,7332 k= 0,1624	0,9996	0,0057	$4,3167 \times 10^{-5}$
Midilli et al.	$MR = a \exp(-kt^n) + bt$	a= 0,9987 b= 0,0001 k= 0,4054 n= 0,6300	0,9999	0,0022	$0,6985 \times 10^{-5}$

Tablo 4.3. 50°C kurutma havası sıcaklığı için teorik sonuçlar

Model Adı	Model Denklemini	Katsayı	r	e _s	χ^2
Newton	$MR = \exp(-kt)$	k= 0,2853	0,9821	0,0633	$4,3424 \times 10^{-3}$
Page	$MR = \exp(-kt^n)$	k= 0,4389 n= 0,6329	0,9999	0,0032	$1,2320 \times 10^{-5}$
Henderson& Pabis	$MR = a \exp(-kt)$	k= 0,2414 a= 0,8869	0,9770	0,0450	$2,3952 \times 10^{-3}$
Logarithmic	$MR = a_0 + a \exp(-kt)$	k = 0,5144 a ₀ = 0,2445 a = 0,7138	0,9934	0,0239	$7,4400 \times 10^{-4}$
Two-term exponential	$MR = a \exp(-kt) + (1-a) \exp(-kat)$	a= 0,1660 k= 1,3864	0,9931	0,0369	$1,6053 \times 10^{-3}$
Geometric	$MR = at^{-n}$	n= 0,1130 a= 0,4820	0,8507	0,1098	$1,4236 \times 10^{-2}$
Wang&Singh	$MR = 1 + at + bt^2$	b= 0,0290 a= -0,2920	0,9804	0,0522	$3,2911 \times 10^{-3}$
Modified Page	$MR = \exp(-(kt)^n)$	k= 0,2722 n= 0,6328	0,9999	0,0032	$1,2324 \times 10^{-5}$
Diffusion approach	$MR = a \exp(-kt) + (1-a) \exp(-kbt)$	b= 0,0788 a= 0,2696 k= 2,3127	0,9998	0,0040	$2,1429 \times 10^{-5}$
Verma et al.	$MR = a \exp(-kt) + (1-a) \exp(-gt)$	g= 2,2641 a= 0,7284 k= 0,1816	0,9998	0,0040	$2,1268 \times 10^{-5}$
Midilli et al.	$MR = a \exp(-kt^n) + bt$	a= 0,9981 b= 0,0001 k= 0,4371 n= 0,6354	0,9999	0,0032	$1,5140 \times 10^{-5}$

Tablo 4.4. 55°C kurutma havası sıcaklığı için teorik sonuçlar

Model Adı	Model Denklemi	Katsayı	r	e _s	χ^2
Newton	$MR = \exp(-kt)$	k= 0,3069	0,9852	0,0595	$3,8376 \times 10^{-3}$
Page	$MR = \exp(-kt^n)$	k= 0,4538 n= 0,6584	1,0000	0,0022	$0,5530 \times 10^{-5}$
Henderson&Pabis	$MR = a \exp(-kt)$	k= 0,2646 a= 0,8947	0,9805	0,0434	$2,2763 \times 10^{-3}$
Logarithmic	$MR = a_0 + a \exp(-kt)$	k = 0,5216 a ₀ = 0,2185 a = 0,7443	0,9952	0,0213	$5,9000 \times 10^{-4}$
Two-term exponential	$MR = a \exp(-kt) + (1-a) \exp(-kat)$	a= 0,1744 k= 1,4153	0,9949	0,0328	$1,2688 \times 10^{-3}$
Geometric	$MR = at^{-n}$	n= 0,1190 a= 0,4620	0,8447	0,1165	$1,6044 \times 10^{-2}$
Wang&Singh	$MR = 1 + at + bt^2$	b= 0,0310 a= -0,3040	0,9831	0,0510	$3,0827 \times 10^{-5}$
Modified Page	$MR = \exp(-(kt)^n)$	k= 0,3012 n= 0,6585	1,0000	0,0021	$0,5529 \times 10^{-5}$
Diffusion approach	$MR = a \exp(-kt) + (1-a) \exp(-kbt)$	b= 0,0808 a= 0,2574 k= 2,5366	0,9995	0,0069	$6,2397 \times 10^{-5}$
Verma et al.	$MR = a \exp(-kt) + (1-a) \exp(-gt)$	g= 1,9858 a= 0,7169 k= 0,1966	0,9997	0,0057	$4,2968 \times 10^{-5}$
Midilli et al.	$MR = a \exp(-kt^n) + bt$	a= 0,9991 b= 0,0001 k= 0,4530 n= 0,6600	1,0000	0,0022	$0,6804 \times 10^{-5}$

Tablo 4.5. 60°C kurutma havası sıcaklığı için teorik sonuçlar

Model Adı	Model Denklemleri	Katsayı	r	e _s	χ^2
Newton	$MR = \exp(-kt)$	k= 0,3617	0,9872	0,0581	$3,6533 \times 10^{-3}$
Page	$MR = \exp(-kt^n)$	k= 0,5128 n= 0,6745	0,9998	0,0043	$2,2360 \times 10^{-5}$
Henderson& Pabis	$MR = a \exp(-kt)$	k= 0,3157 a= 0,8964	0,9829	0,0435	$2,2372 \times 10^{-3}$
Logarithmic	$MR = a_0 + a \exp(-kt)$	k = 0,5511 a ₀ = 0,1720 a = 0,7866	0,9944	0,0244	$7,7700 \times 10^{-4}$
Two-term exponential	$MR = a \exp(-kt) + (1-a) \exp(-kat)$	a= 0,1852 k= 1,5743	0,9958	0,03110	$1,1429 \times 10^{-3}$
Geometric	$MR = at^{-n}$	n= 0,1340 a= 0,4170	0,8476	0,1228	$1,7823 \times 10^{-2}$
Wang&Singh	$MR = 1 + at + bt^2$	b= 0,0340 a= -0,3320	0,9806	0,0584	$4,0336 \times 10^{-3}$
Modified Page	$MR = \exp(-(kt)^n)$	k= 0,3715 n= 0,6745	0,9998	0,0043	$2,2358 \times 10^{-5}$
Diffusion approach	$MR = a \exp(-kt) + (1-a) \exp(-kbt)$	b= 0,0838 a= 0,2608 k= 2,9640	0,9997	0,0054	$3,9208 \times 10^{-5}$
Verma et al.	$MR = a \exp(-kt) + (1-a) \exp(-gt)$	g= 2,3947 a= 0,7191 k= 0,2414	0,9998	0,00436	$2,4752 \times 10^{-5}$
Midilli et al.	$MR = a \exp(-kt^n) + bt$	a= 0,9978 b= 0,0001 k= 0,5106 n= 0,6773	0,9998	0,0044	$2,7466 \times 10^{-5}$

Tablo 4.6. 65°C kurutma havası sıcaklığı için teorik sonuçlar

Model Adı	Model Denklemi	Katsayı	r	e _s	χ^2
Newton	$MR = \exp(-kt)$	k= 0,3885	0,9859	0,0610	$4,0361 \times 10^{-3}$
Page	$MR = \exp(-kt^n)$	k= 0,5515 n= 0,6621	0,9997	0,0054	$3,4010 \times 10^{-5}$
Henderson& Pabis	$MR = a \exp(-kt)$	k= 0,3373 a= 0,8908	0,9812	0,0463	$2,5336 \times 10^{-3}$
Logarithmic	$MR = a_0 + a \exp(-kt)$	k = 0,5867 a ₀ = 0,1632 a = 0,7924	0,9932	0,0271	$9,5400 \times 10^{-4}$
Two-term exponential	$MR = a \exp(-kt) + (1-a) \exp(-kat)$	a= 0,1902 k= 1,6468	0,9949	0,0341	$1,3729 \times 10^{-3}$
Geometric	$MR = at^{-n}$	n= 0,1410 a= 0,3970	0,8558	0,1213	$1,7383 \times 10^{-2}$
Wang&Singh	$MR = 1 + at + bt^2$	b= 0,0360 a= -0,3460	0,9768	0,0648	$4,9695 \times 10^{-3}$
Modified Page	$MR = \exp(-(kt)^n)$	k= 0,4070 n= 0,6621	0,9997	0,0053	$3,4006 \times 10^{-5}$
Diffusion approach	$MR = a \exp(-kt) + (1-a) \exp(-kbt)$	b= 0,0867 a= 0,2827 k= 2,9942	0,9998	0,0047	$2,9805 \times 10^{-5}$
Verma et al.	$MR = a \exp(-kt) + (1-a) \exp(-gt)$	g= 2,5763 a= 0,7026 k= 0,2543	0,9998	0,0041	$2,1846 \times 10^{-5}$
Midilli et al.	$MR = a \exp(-kt^n) + bt$	a= 0,9975 b= 0,0001 k= 0,5491 n= 0,6648	0,9997	0,0054	$4,1834 \times 10^{-5}$

Tablo 4.7. 70°C kurutma havası sıcaklığı için teorik sonuçlar

Model Adı	Model Denklemi	Katsayı	r	e _s	χ^2
Newton	$MR = \exp(-kt)$	k= 0,4512	0,9852	0,0637	$4,3920 \times 10^{-3}$
Page	$MR = \exp(-kt^n)$	k= 0,6285 n= 0,6495	0,9999	0,0035	$1,4800 \times 10^{-5}$
Henderson& Pabis	$MR = a \exp(-kt)$	k= 0,3916 a= 0,8882	0,9794	0,0504	$3,0004 \times 10^{-3}$
Logarithmic	$MR = a_0 + a \exp(-kt)$	k = 0,6783 a ₀ = 0,1477 a = 0,8114	0,9937	0,0269	$9,4200 \times 10^{-4}$
Two-term exponential	$MR = a \exp(-kt) + (1-a) \exp(-kat)$	a= 0,2060 k= 1,7508	0,9942	0,0371	$1,6234 \times 10^{-3}$
Geometric	$MR = at^{-n}$	n= 0,1550 a= 0,3590	0,8685	0,1195	$1,6868 \times 10^{-2}$
Wang&Singh	$MR = 1 + at + bt^2$	b= 0,0410 a= -0,3770	0,9725	0,0729	$6,2958 \times 10^{-3}$
Modified Page	$MR = \exp(-(kt)^n)$	k= 0,4892 n= 0,6495	0,9999	0,0035	$1,4802 \times 10^{-5}$
Diffusion approach	$MR = a \exp(-kt) + (1-a) \exp(-kbt)$	b= 0,1009 a= 0,3309 k= 2,8067	0,9996	0,0066	$5,6724 \times 10^{-5}$
Verma et al.	$MR = a \exp(-kt) + (1-a) \exp(-gt)$	g= 2,3460 a= 0,6453 k= 0,2740	0,9997	0,0057	$4,2177 \times 10^{-5}$
Midilli et al.	$MR = a \exp(-kt^n) + bt$	a= 0,9992 b= 0,0001 k= 0,6278 n= 0,6509	0,9999	0,0036	$1,8345 \times 10^{-5}$

4.2. 30dk Dinlendirme Periyodu İçin Teorik Sonuçlar

Tablo 4.8. 40°C kurutma havası sıcaklığı ve 30dk dinlendirme periyodu için teorik sonuçlar

Model Adı	Model Denklemini	Katsayı	r	e _s	χ^2
Newton	$MR = \exp(-kt)$	k= 0,3758	0,9881	0,0479	$2,5848 \times 10^{-3}$
Page	$MR = \exp(-kt^n)$	k= 0,4825 n= 0,6987	1,0000	0,0020	$0,4910 \times 10^{-5}$
Henderson& Pabis	$MR = a \exp(-kt)$	k= 0,3392 a= 0,9307	0,9855	0,0378	$1,8407 \times 10^{-3}$
Logarithmic	$MR = a_0 + a \exp(-kt)$	k = 0,6599 a ₀ = 0,2453 a = 0,7361	0,9971	0,0168	$4,2200 \times 10^{-4}$
Two-term exponential	$MR = a \exp(-kt) + (1-a) \exp(-kat)$	a= 0,1617 k= 1,8590	0,9972	0,0221	$6,2622 \times 10^{-4}$
Geometric	$MR = at^{-n}$	n= 0,1080 a= 0,4910	0,8672	0,1097	$1,5470 \times 10^{-2}$
Wang&Singh	$MR = 1 + at + bt^2$	b= 0,0550 a= -0,3900	0,9896	0,0371	$1,7775 \times 10^{-3}$
Modified Page	$MR = \exp(-(kt)^n)$	k= 0,3524 n= 0,6986	1,0000	0,0019	$0,4909 \times 10^{-5}$
Diffusion approach	$MR = a \exp(-kt) + (1-a) \exp(-kbt)$	b= 0,1097 a= 0,2433 k= 2,2962	1,0000	0,0016	$0,3892 \times 10^{-5}$
Verma et al.	$MR = a \exp(-kt) + (1-a) \exp(-gt)$	g= 2,2357 a= 0,7530 k=0,2503	1,0000	0,0016	$0,4112 \times 10^{-5}$
Midilli et al.	$MR = a \exp(-kt^n) + bt$	a= 0,9998 b= 0,0001 k= 0,4825 n= 0,6993	1,0000	0,0020	$0,6965 \times 10^{-5}$

Tablo 4.9. 45°C kurutma havası sıcaklığı ve 30dk dinlendirme periyodu için teorik sonuçlar

Model Adı	Model Denklemi	Katsayı	r	e _s	χ^2
Newton	$MR = \exp(-kt)$	k= 0,3665	0,9809	0,0548	$3,4296 \times 10^{-3}$
Page	$MR = \exp(-kt^n)$	k= 0,4800 n= 0,6383	1,0000	0,0018	$0,4380 \times 10^{-5}$
Henderson& Pabis	$MR = a \exp(-kt)$	k= 0,3246 a= 0,9258	0,9773	0,0438	$2,5488 \times 10^{-3}$
Logarithmic	$MR = a_0 + a \exp(-kt)$	k = 0,8035 a ₀ = 0,3236 a = 0,6626	0,9972	0,0154	$3,7900 \times 10^{-5}$
Two-term exponential	$MR = a \exp(-kt) + (1-a) \exp(-kat)$	a= 0,1512 k= 1,9300	0,9935	0,03010	$1,2082 \times 10^{-3}$
Geometric	$MR = at^{-n}$	n= 0,0980 a= 0,5240	0,8935	0,0918	$1,1244 \times 10^{-2}$
Wang&Singh	$MR = 1 + at + bt^2$	b= 0,0670 a= -0,4130	0,9887	0,0351	$1,6456 \times 10^{-3}$
Modified Page	$MR = \exp(-(kt)^n)$	k= 0,3167 n= 0,6383	1,0000	0,0018	$0,4380 \times 10^{-5}$
Diffusion approach	$MR = a \exp(-kt) + (1-a) \exp(-kbt)$	b= 0,0951 a= 0,2767 k= 2,2474	0,9999	0,0028	$1,2556 \times 10^{-5}$
Verma et al.	$MR = a \exp(-kt) + (1-a) \exp(-gt)$	g= 2,2479 a= 0,7233 k= 0,2137	0,9999	0,0028	$1,2557 \times 10^{-5}$
Midilli et al.	$MR = a \exp(-kt^n) + bt$	a= 1,0000 b= 0,0072 k= 0,4923 n= 0,6676	1,0000	0,0009	$0,1638 \times 10^{-5}$

Tablo 4.10. 50°C kurutma havası sıcaklığı ve 30dk dinlendirme periyodu için teorik sonuçlar

Model Adı	Model Denklemleri	Katsayı	r	e _s	χ^2
Newton	$MR = \exp(-kt)$	k= 0,4522	0,9889	0,0496	$2,7626 \times 10^{-3}$
Page	$MR = \exp(-kt^n)$	k= 0,5675 n= 0,7023	1,0000	0,0021	$0,5870 \times 10^{-5}$
Henderson& Pabis	$MR = a \exp(-kt)$	k= 0,4112 a= 0,9293	0,9862	0,0402	$2,0786 \times 10^{-3}$
Logarithmic	$MR = a_0 + a \exp(-kt)$	k = 0,7306 a ₀ = 0,1993 a = 0,7804	0,9969	0,0188	$5,2800 \times 10^{-4}$
Two-term exponential	$MR = a \exp(-kt) + (1-a) \exp(-kat)$	a= 0,1780 k= 2,0346	0,9973	0,0230	$6,8217 \times 10^{-4}$
Geometric	$MR = at^{-n}$	n= 0,1250 a= 0,4370	0,8754	0,1150	$1,6995 \times 10^{-2}$
Wang&Singh	$MR = 1 + at + bt^2$	b= 0,0640 a= -0,4400	0,9876	0,0440	$2,4921 \times 10^{-3}$
Modified Page	$MR = \exp(-(kt)^n)$	k= 0,4463 n= 0,7023	1,0000	0,0021	$0,5867 \times 10^{-5}$
Diffusion approach	$MR = a \exp(-kt) + (1-a) \exp(-kbt)$	b= 0,1182 a= 0,2617 k= 2,5925	0,9999	0,0034	$1,7751 \times 10^{-5}$
Verma et al.	$MR = a \exp(-kt) + (1-a) \exp(-gt)$	g= 2,5939 a= 0,7384 k= 0,3065	0,9999	0,0034	$1,7751 \times 10^{-5}$
Midilli et al.	$MR = a \exp(-kt^n) + bt$	a= 0,9994 b= 0,0001 k= 0,5670 n= 0,7035	1,0000	0,0022	$0,8322 \times 10^{-5}$

Tablo 4.11. 55°C kurutma havası sıcaklığı ve 30dk dinlendirme periyodu için teorik sonuçlar

Model Adı	Model Denklemleri	Katsayı	r	e _s	χ^2
Newton	$MR = \exp(-kt)$	k= 0,4502	0,9831	0,0562	$3,6088 \times 10^{-3}$
Page	$MR = \exp(-kt^n)$	k= 0,5713 n= 0,6521	1,0000	0,0017	$0,3860 \times 10^{-5}$
Henderson&Pabis	$MR = a \exp(-kt)$	k= 0,4042 a= 0,9255	0,9796	0,0463	$2,8529 \times 10^{-3}$
Logarithmic	$MR = a_0 + a \exp(-kt)$	k = 0,8682 a ₀ = 0,2612 a = 0,7241	0,9971	0,0172	$4,7200 \times 10^{-4}$
Two-term exponential	$MR = a \exp(-kt) + (1-a) \exp(-kat)$	a= 0,1711 k= 2,0957	0,9945	0,0302	$1,2192 \times 10^{-3}$
Geometric	$MR = at^{-n}$	n= 0,1150 a= 0,4650	0,8978	0,0997	$1,3260 \times 10^{-2}$
Wang&Singh	$MR = 1 + at + bt^2$	b= 0,0790 a= -0,4720	0,9870	0,0418	$2,3317 \times 10^{-3}$
Modified Page	$MR = \exp(-(kt)^n)$	k= 0,4238 n= 0,6520	1,0000	0,0017	$0,3857 \times 10^{-5}$
Diffusion approach	$MR = a \exp(-kt) + (1-a) \exp(-kbt)$	b= 0,1122 a= 0,3073 k= 2,3755	0,9999	0,0032	$1,6718 \times 10^{-5}$
Verma et al.	$MR = a \exp(-kt) + (1-a) \exp(-gt)$	g= 2,3736 a= 0,6925 k= 0,2664	0,9999	0,0032	$1,6719 \times 10^{-5}$
Midilli et al.	$MR = a \exp(-kt^n) + bt$	a= 1,0000 b= 0,0045 k= 0,5800 n= 0,6711	1,0000	0,0012	$0,2950 \times 10^{-5}$

Tablo 4.12. 60°C kurutma havası sıcaklığı ve 30dk dinlendirme periyodu için teorik sonuçlar

Model Adı	Model Denklemleri	Katsayı	r	e _s	χ^2
Newton	$MR = \exp(-kt)$	k= 0,4885	0,9891	0,0475	$2,5795 \times 10^{-3}$
Page	$MR = \exp(-kt^n)$	k= 0,5915 n= 0,7082	0,9999	0,0033	$1,4950 \times 10^{-5}$
Henderson&Pabis	$MR = a \exp(-kt)$	k= 0,4498 a= 0,9392	0,9866	0,0400	$2,1288 \times 10^{-3}$
Logarithmic	$MR = a_0 + a \exp(-kt)$	k = 0,8241 a ₀ = 0,2146 a = 0,7736	0,9984	0,0134	$2,8800 \times 10^{-4}$
Two-term exponential	$MR = a \exp(-kt) + (1-a) \exp(-kat)$	a= 0,1831 k= 2,1128	0,9975	0,0213	$6,0667 \times 10^{-4}$
Geometric	$MR = at^{-n}$	n= 0,1220 a= 0,4430	0,8855	0,1114	$1,6538 \times 10^{-2}$
Wang&Singh	$MR = 1 + at + bt^2$	b= 0,0810 a= -0,4880	0,9907	0,0373	0,00185688
Modified Page	$MR = \exp(-(kt)^n)$	k= 0,4764 n= 0,7082	0,9999	0,0033	$1,4953 \times 10^{-5}$
Diffusion approach	$MR = a \exp(-kt) + (1-a) \exp(-kbt)$	b= 0,1510 a= 0,3229 k= 1,9710	0,9999	0,0028	$1,2833 \times 10^{-5}$
Verma et al.	$MR = a \exp(-kt) + (1-a) \exp(-gt)$	g= 1,9699 a= 0,6770 k= 0,2976	0,9999	0,0028	$1,2833 \times 10^{-5}$
Midilli et al.	$MR = a \exp(-kt^n) + bt$	a= 1,0000 b= 0,0102 k= 0,6116 n= 0,7539	1,0000	0,0011	$0,2540 \times 10^{-5}$

Tablo 4.13. 65°C kurutma havası sıcaklığı ve 30dk dinlendirme periyodu için teorik sonuçlar

Model Adı	Model Denklemleri	Katsayı	r	e _s	χ^2
Newton	$MR = \exp(-kt)$	k= 0,6260	0,9907	0,0470	$2,5274 \times 10^{-3}$
Page	$MR = \exp(-kt^n)$	k= 0,7303 n= 0,7213	0,9996	0,0075	$7,5640 \times 10^{-5}$
Henderson& Pabis	$MR = a \exp(-kt)$	k= 0,5826 a= 0,9408	0,9887	0,0405	$2,1854 \times 10^{-3}$
Logarithmic	$MR = a_0 + a \exp(-kt)$	k = 0,8953 a ₀ = 0,1437 a = 0,8363	0,9958	0,0239	$9,1700 \times 10^{-4}$
Two-term exponential	$MR = a \exp(-kt) + (1-a) \exp(-kat)$	a= 0,1894 k= 2,6625	0,9979	0,0209	$5,8193 \times 10^{-4}$
Geometric	$MR = at^{-n}$	n= 0,1480 a= 0,3700	0,8958	0,1170	$1,8257 \times 10^{-2}$
Wang&Singh	$MR = 1 + at + bt^2$	b= 0,0930 a= -0,5550	0,9843	0,0534	$3,8135 \times 10^{-3}$
Modified Page	$MR = \exp(-(kt)^n)$	k= 0,6468 n= 0,7213	0,9996	0,0075	$7,5644 \times 10^{-5}$
Diffusion approach	$MR = a \exp(-kt) + (1-a) \exp(-kbt)$	b= 0,1050 a= 0,2422 k= 4,3125	1,0000	0,0026	$1,0836 \times 10^{-5}$
Verma et al.	$MR = a \exp(-kt) + (1-a) \exp(-gt)$	g= 4,3121 a= 0,7578 k= 0,4528	1,0000	0,0026	$1,0836 \times 10^{-5}$
Midilli et al.	$MR = a \exp(-kt^n) + bt$	a= 0,9982 b= 0,0001 k= 0,7285 n= 0,7235	0,9996	0,0075	$1,1382 \times 10^{-4}$

Tablo 4.14. 70°C kurutma havası sıcaklığı ve 30dk dinlendirme periyodu için teorik sonuçlar

Model Adı	Model Denklemleri	Katsayı	r	e _s	χ^2
Newton	$MR = \exp(-kt)$	k= 0,5630	0,9902	0,0470	$2,5248 \times 10^{-3}$
Page	$MR = \exp(-kt^n)$	k= 0,6654 n= 0,7189	0,9998	0,0054	$3,8640 \times 10^{-5}$
Henderson& Pabis	$MR = a \exp(-kt)$	k= 0,5234 a= 0,9427	0,9879	0,0407	$2,2053 \times 10^{-3}$
Logarithmic	$MR = a_0 + a \exp(-kt)$	k = 0,8942 a ₀ = 0,1814 a = 0,8086	0,9988	0,0123	$2,4100 \times 10^{-4}$
Two-term exponential	$MR = a \exp(-kt) + (1-a) \exp(-kat)$	a= 0,2021 k= 2,1922	0,9978	0,0208	$5,7501 \times 10^{-4}$
Geometric	$MR = at^{-n}$	n= 0,1360 a= 0,4020	0,8899	0,1157	$1,7856 \times 10^{-2}$
Wang&Singh	$MR = 1 + at + bt^2$	b= 0,0910 a= -0,5330	0,9897	0,0415	$2,3033 \times 10^{-3}$
Modified Page	$MR = \exp(-(kt)^n)$	k= 0,5674 n= 0,7188	0,9998	0,0053	$3,8641 \times 10^{-5}$
Diffusion approach	$MR = a \exp(-kt) + (1-a) \exp(-kbt)$	b= 0,1792 a= 0,3947 k= 1,7770	1,0000	0,0017	$0,4987 \times 10^{-5}$
Verma et al.	$MR = a \exp(-kt) + (1-a) \exp(-gt)$	g= 1,7775 a= 0,6054 k= 0,3185	1,0000	0,0017	$0,4987 \times 10^{-5}$
Midilli et al.	$MR = a \exp(-kt^n) + bt$	a= 1,0002 b= 0,0132 k= 0,6949 n= 0,7827	1,0000	0,0020	$0,8343 \times 10^{-5}$

4.3. 60dk Dinlendirme Periyodu İçin Teorik Sonuçlar

Tablo 4.15. 40°C kurutma havası sıcaklığı ve 60dk dinlendirme periyodu için teorik sonuçlar

Model Adı	Model Denklemleri	Katsayı	r	e _s	χ^2
Newton	$MR = \exp(-kt)$	k= 0,4366	0,9898	0,0413	$1,9899 \times 10^{-3}$
Page	$MR = \exp(-kt^n)$	k= 0,5168 n= 0,7188	1,0000	0,0014	$0,2760 \times 10^{-5}$
Henderson&Pabis	$MR = a \exp(-kt)$	k= 0,4041 a= 0,9497	0,9880	0,0344	$1,6564 \times 10^{-3}$
Logarithmic	$MR = a_0 + a \exp(-kt)$	k = 0,7886 a ₀ = 0,2661 a = 0,7239	0,9983	0,0130	$2,9600 \times 10^{-4}$
Two-term exponential	$MR = a \exp(-kt) + (1-a) \exp(-kat)$	a= 0,1552 k= 2,2344	0,9982	0,0166	$3,8523 \times 10^{-4}$
Geometric	$MR = at^{-n}$	n= 0,5080 a= 0,1020	0,8877	0,1015	$1,4427 \times 10^{-2}$
Wang&Singh	$MR = 1 + at + bt^2$	b= 0,0830 a= -0,4660	0,9931	0,0286	$1,1519 \times 10^{-3}$
Modified Page	$MR = \exp(-(kt)^n)$	k= 0,3992 n= 0,7189	1,0000	0,0014	$0,2757 \times 10^{-5}$
Diffusion approach	$MR = a \exp(-kt) + (1-a) \exp(-kbt)$	b= 0,1192 a= 0,2288 k= 2,4739	1,0000	0,0009	$0,1561 \times 10^{-5}$
Verma et al.	$MR = a \exp(-kt) + (1-a) \exp(-gt)$	g= 2,4337 a= 0,7712 k= 0,2949	1,0000	0,0009	$0,1561 \times 10^{-5}$
Midilli et al.	$MR = a \exp(-kt^n) + bt$	a= 1,0000 b= 0,0001 k= 0,5169 n= 0,7194	1,0000	0,0014	$0,4610 \times 10^{-5}$

Tablo 4.16. 45°C kurutma havası sıcaklığı ve 60dk dinlendirme periyodu için teorik sonuçlar

Model Adı	Model Denklemi	Katsayı	r	e _s	χ^2
Newton	$MR = \exp(-kt)$	k= 0,3978	0,9859	0,0457	$2,4438 \times 10^{-3}$
Page	$MR = \exp(-kt^n)$	k= 0,4851 n= 0,6807	1,0000	0,0019	$0,4940 \times 10^{-5}$
Henderson& Pabis	$MR = a \exp(-kt)$	k= 0,3623 a= 0,9436	0,9837	0,0377	$1,9864 \times 10^{-3}$
Logarithmic	$MR = a_0 + a \exp(-kt)$	k = 0,8205 a ₀ = 0,3167 a = 0,6737	0,9980	0,0129	$2,9200 \times 10^{-4}$
Two-term exponential	$MR = a \exp(-kt) + (1-a) \exp(-kat)$	a= 0,1474 k= 2,1398	0,9964	0,0217	$6,6153 \times 10^{-4}$
Geometric	$MR = at^{-n}$	n= 0,5340 a= 0,0940	0,8945	0,0926	$1,2013 \times 10^{-2}$
Wang&Singh	$MR = 1 + at + bt^2$	b= 0,0800 a= -0,4450	0,9922	0,0287	$1,1564 \times 10^{-3}$
Modified Page	$MR = \exp(-(kt)^n)$	k= 0,3455 n= 0,6807	1,0000	0,0018	$0,4939 \times 10^{-5}$
Diffusion approach	$MR = a \exp(-kt) + (1-a) \exp(-kbt)$	b= 0,1061 a= 0,2469 k= 2,3363	1,0000	0,0013	$0,3337 \times 10^{-5}$
Verma et al.	$MR = a \exp(-kt) + (1-a) \exp(-gt)$	g= 2,3362 a= 0,7531 k= 0,2479	1,0000	0,0013	$0,3337 \times 10^{-5}$
Midilli et al.	$MR = a \exp(-kt^n) + bt$	a= 1,0001 b= 0,0049 k= 0,4938 n= 0,6979	1,0000	0,0017	$0,6731 \times 10^{-5}$

Tablo 4.17. 50°C kurutma havası sıcaklığı ve 60dk dinlendirme periyodu için teorik sonuçlar

Model Adı	Model Denklemini	Katsayı	r	e _s	χ^2
Newton	$MR = \exp(-kt)$	k= 0,5376	0,9906	0,0433	$2,1852 \times 10^{-3}$
Page	$MR = \exp(-kt^n)$	k= 0,6234 n= 0,7230	1,0000	0,0013	$0,2330 \times 10^{-5}$
Henderson&Pabis	$MR = a \exp(-kt)$	k= 0,5017 a= 0,9493	0,9887	0,0371	$1,9265 \times 10^{-3}$
Logarithmic	$MR = a_0 + a \exp(-kt)$	k = 0,8878 a ₀ = 0,2134 a = 0,7764	0,9984	0,0138	$3,3300 \times 10^{-4}$
Two-term exponential	$MR = a \exp(-kt) + (1-a) \exp(-kat)$	a= 0,1766 k= 2,4167	0,9983	0,0176	$4,3167 \times 10^{-4}$
Geometric	$MR = at^{-n}$	n= 0,4500 a= 0,1190	0,8964	0,1079	$1,6306 \times 10^{-2}$
Wang&Singh	$MR = 1 + at + bt^2$	b= 0,1000 a= -0,5390	0,9921	0,0340	$1,6262 \times 10^{-3}$
Modified Page	$MR = \exp(-(kt)^n)$	k= 0,5201 n= 0,7230	1,0000	0,0012	$0,2327 \times 10^{-5}$
Diffusion approach	$MR = a \exp(-kt) + (1-a) \exp(-kbt)$	b= 0,1405 a= 0,2663 k= 2,5560	0,9999	0,0029	$1,4739 \times 10^{-5}$
Verma et al.	$MR = a \exp(-kt) + (1-a) \exp(-gt)$	g= 2,5561 a= 0,7337 k= 0,3591	0,9999	0,0029	$1,4739 \times 10^{-5}$
Midilli et al.	$MR = a \exp(-kt^n) + bt$	a= 0,9999 b= 0,0029 k= 0,6293 n= 0,7344	1,0000	0,0011	$0,2915 \times 10^{-5}$

Tablo 4.18. 55°C kurutma havası sıcaklığı ve 60dk dinlendirme periyodu için teorik sonuçlar

Model Adı	Model Denklemleri	Katsayı	r	e _s	χ^2
Newton	$MR = \exp(-kt)$	k= 0,4974	0,9879	0,0432	$2,2395 \times 10^{-3}$
Page	$MR = \exp(-kt^n)$	k= 0,5694 n= 0,6952	1,0000	0,0018	$0,4690 \times 10^{-5}$
Henderson& Pabis	$MR = a \exp(-kt)$	k= 0,4627 a= 0,9537	0,9861	0,0373	$2,0864 \times 10^{-3}$
Logarithmic	$MR = a_0 + a \exp(-kt)$	k = 0,9720 a ₀ = 0,2926 a = 0,7011	0,9987	0,0114	$2,6100 \times 10^{-4}$
Two-term exponential	$MR = a \exp(-kt) + (1-a) \exp(-kat)$	a= 0,1561 k= 2,5161	0,9974	0,0192	$5,5112 \times 10^{-4}$
Geometric	$MR = at^{-n}$	n= 0,5060 a= 0,1020	0,9111	0,0914	$1,2528 \times 10^{-2}$
Wang&Singh	$MR = 1 + at + bt^2$	b= 0,1160 a= -0,5450	0,9936	0,0270	$1,0977 \times 10^{-3}$
Modified Page	$MR = \exp(-(kt)^n)$	k= 0,4448 n= 0,6952	1,0000	0,0017	$0,4690 \times 10^{-5}$
Diffusion approach	$MR = a \exp(-kt) + (1-a) \exp(-kbt)$	b= 0,1223 a= 0,2629 k= 2,5249	1,0000	0,0003	$0,0217 \times 10^{-5}$
Verma et al.	$MR = a \exp(-kt) + (1-a) \exp(-gt)$	g= 2,5245 a= 0,7371 k= 0,3088	1,0000	0,0003	$0,0217 \times 10^{-5}$
Midilli et al.	$MR = a \exp(-kt^n) + bt$	a= 1,0001 b= 0,0079 k= 0,5852 n= 0,7195	1,0000	0,0014	$0,5792 \times 10^{-5}$

Tablo 4.19. 60°C kurutma havası sıcaklığı ve 60dk dinlendirme periyodu için teorik sonuçlar

Model Adı	Model Denklemi	Katsayı	r	e _s	χ^2
Newton	$MR = \exp(-kt)$	k= 0,5438	0,9898	0,0414	$2,0573 \times 10^{-3}$
Page	$MR = \exp(-kt^n)$	k= 0,6126 n= 0,7159	0,9999	0,0027	$1,0540 \times 10^{-5}$
Henderson& Pabis	$MR = a \exp(-kt)$	k= 0,5105 a= 0,9569	0,9883	0,0362	$1,9665 \times 10^{-3}$
Logarithmic	$MR = a_0 + a \exp(-kt)$	k = 0,9827 a ₀ = 0,2579 a = 0,7364	0,9991	0,0101	$2,0300 \times 10^{-4}$
Two-term exponential	$MR = a \exp(-kt) + (1-a) \exp(-kat)$	a= 0,1673 k= 2,5596	0,9981	0,0170	$4,3305 \times 10^{-4}$
Geometric	$MR = at^{-n}$	n= 0,4800 a= 0,1090	0,9097	0,0970	$1,4109 \times 10^{-2}$
Wang&Singh	$MR = 1 + at + bt^2$	b= 0,1240 a= -0,5780	0,9946	0,0263	$1,0373 \times 10^{-3}$
Modified Page	$MR = \exp(-(kt)^n)$	k= 0,5043 n= 0,7158	0,9999	0,0026	$1,0542 \times 10^{-5}$
Diffusion approach	$MR = a \exp(-kt) + (1-a) \exp(-kbt)$	b= 0,1458 a= 0,2912 k= 2,2872	0,9999	0,0025	$1,2989 \times 10^{-5}$
Verma et al.	$MR = a \exp(-kt) + (1-a) \exp(-gt)$	g= 2,2890 a= 0,7090 k= 0,3336	0,9999	0,0025	$1,2989 \times 10^{-5}$
Midilli et al.	$MR = a \exp(-kt^n) + bt$	a= 0,9999 b= 0,0156 k= 0,6457 n= 0,7658	1,0000	0,0009	$0,2362 \times 10^{-5}$

Tablo 4.20. 65°C kurutma havası sıcaklığı ve 60dk dinlendirme periyodu için teorik sonuçlar

Model Adı	Model Denklemi	Katsayı	r	e _s	χ^2
Newton	$MR = \exp(-kt)$	k= 0,6907	0,9900	0,0451	$2,4391 \times 10^{-3}$
Page	$MR = \exp(-kt^n)$	k= 0,7632 n= 0,7079	0,9999	0,0031	$1,4150 \times 10^{-5}$
Henderson& Pabis	$MR = a \exp(-kt)$	k= 0,6521 a= 0,9553	0,9884	0,0403	$2,4411 \times 10^{-3}$
Logarithmic	$MR = a_0 + a \exp(-kt)$	k = 1,1260 a ₀ = 0,1992 a = 0,7926	0,9979	0,0167	$5,5900 \times 10^{-4}$
Two-term exponential	$MR = a \exp(-kt) + (1-a) \exp(-kat)$	a= 0,1852 k= 2,9614	0,9979	0,0196	$5,7532 \times 10^{-4}$
Geometric	$MR = at^{-n}$	n= 0,4070 a= 0,1330	0,9222	0,1004	$1,5127 \times 10^{-2}$
Wang&Singh	$MR = 1 + at + bt^2$	b= 0,1510 a= -0,6750	0,9901	0,0395	$2,3514 \times 10^{-3}$
Modified Page	$MR = \exp(-(kt)^n)$	k= 0,6827 n= 0,7079	0,9999	0,0030	$1,4154 \times 10^{-5}$
Diffusion approach	$MR = a \exp(-kt) + (1-a) \exp(-kbt)$	b= 0,1287 a= 0,2658 k= 2,6319	1,0000	0,0015	$0,4812 \times 10^{-5}$
Verma et al.	$MR = a \exp(-kt) + (1-a) \exp(-gt)$	g= 3,6340 a= 0,7343 k= 0,4675	1,0000	0,0015	$0,4812 \times 10^{-5}$
Midilli et al.	$MR = a \exp(-kt^n) + bt$	a= 0,9997 b= 0,0001 k= 0,7632 n= 0,7085	0,9999	0,0031	$2,8562 \times 10^{-5}$

Tablo 4.21. 70°C kurutma havası sıcaklığı ve 60dk dinlendirme periyodu için teorik sonuçlar

Model Adı	Model Denklemi	Katsayı	r	e _s	χ^2
Newton	$MR = \exp(-kt)$	k= 0,6908	0,9925	0,0394	$1,8623 \times 10^{-3}$
Page	$MR = \exp(-kt^n)$	k= 0,7535 n= 0,7436	0,9999	0,0034	$1,7580 \times 10^{-5}$
Henderson&Pabis	$MR = a \exp(-kt)$	k= 0,6584 a= 0,9623	0,9913	0,0355	$1,8945 \times 10^{-3}$
Logarithmic	$MR = a_0 + a \exp(-kt)$	k = 1,0810 a ₀ = 0,1864 a = 0,8085	0,9993	0,0098	$1,9300 \times 10^{-4}$
Two-term exponential	$MR = a \exp(-kt) + (1-a) \exp(-kat)$	a= 0,1960 k= 2,7640	0,9989	0,0142	$3,0348 \times 10^{-4}$
Geometric	$MR = at^{-n}$	n= 0,4080 a= 0,1320	0,9143	0,1063	$1,6934 \times 10^{-2}$
Wang&Singh	$MR = 1 + at + bt^2$	b= 0,1500 a= -0,6740	0,9939	0,0314	$1,4855 \times 10^{-3}$
Modified Page	$MR = \exp(-(kt)^n)$	k= 0,6835 n= 0,7436	0,9999	0,00342	$1,7583 \times 10^{-5}$
Diffusion approach	$MR = a \exp(-kt) + (1-a) \exp(-kbt)$	b= 0,1896 a= 0,3491 k= 2,2205	1,0000	0,0018	$0,6580 \times 10^{-5}$
Verma et al.	$MR = a \exp(-kt) + (1-a) \exp(-gt)$	g= 2,2206 a= 0,6509 k= 0,4210	1,0000	0,0018	$0,6580 \times 10^{-5}$
Midilli et al.	$MR = a \exp(-kt^n) + bt$	a= 1,0000 b= 0,0147 k= 0,7915 n= 0,7963	1,0000	0,0013	$0,4877 \times 10^{-5}$

5.DENEYSEL SONUÇLAR

5.1. Sürekli Kurutma İçin Deneysel Sonuçlar

Tablo 5.1. 40°C kurutma havası sıcaklığı için deneysel sonuçlar

T= 40°C			U= 2 m/s	
t(dk)	M _y (g)	M _s (g)	m	$\frac{m - m_e}{m_0 - m_e}$
0	24,029	4,72	0,2444	1
30	23,417	4,108	0,2128	0,8001
60	23,1	3,791	0,1963	0,6965
90	22,886	3,577	0,1853	0,6266
120	22,721	3,412	0,1767	0,5727
150	22,576	3,267	0,1692	0,5254
180	22,447	3,138	0,1625	0,4832
210	22,337	3,028	0,1568	0,4473
240	22,231	2,922	0,1513	0,4127
270	22,149	2,84	0,1471	0,3859
300	22,072	2,763	0,1431	0,3607
330	22,001	2,692	0,1394	0,3375
360	21,932	2,623	0,1358	0,3150
M _e =20,9676 g				
M _k =19,309 g				
m _e =0,0859				

Tablo 5.2. 45°C kurutma havası sıcaklığı için deneysel sonuçlar

T= 45°C			U= 2 m/s	
t(dk)	M _y (g)	M _s (g)	m	$\frac{m - m_e}{m_0 - m_e}$
0	25,726	5,133	0,24926	1
30	24,89	4,297	0,20866	0,7624
60	24,56	3,967	0,19264	0,66861
90	24,296	3,703	0,17982	0,59358
120	24,089	3,496	0,16977	0,53475
150	23,92	3,327	0,16156	0,48671
180	23,775	3,182	0,15452	0,4455
210	23,65	3,057	0,14845	0,40998
240	23,542	2,949	0,1432	0,37928
270	23,442	2,849	0,13835	0,35086
300	23,351	2,758	0,13393	0,32500
330	23,276	2,683	0,13029	0,30368
360	23,212	2,619	0,12718	0,28549
M _e = 22,2074 g				
M _k =20,593 g				
m _e = 0,0784				

Tablo 5.3. 50°C kurutma havası sıcaklığı için deneysel sonuçlar

T= 50°C			U= 2 m/s	
t(dk)	M _y (g)	M _s (g)	m	$\frac{m - m_e}{m_0 - m_e}$
0	24,85	4,941	0,2482	1
30	23,977	4,068	0,2043	0,7471
60	23,617	3,708	0,1862	0,6428
90	23,357	3,448	0,1732	0,5675
120	23,161	3,252	0,1633	0,5107
150	22,989	3,08	0,1547	0,4609
180	22,843	2,934	0,1474	0,4186
210	22,713	2,804	0,1408	0,3809
240	22,603	2,694	0,1353	0,349
270	22,504	2,595	0,1303	0,3204
300	22,412	2,503	0,1257	0,2937
330	22,338	2,429	0,122	0,2723
360	22,265	2,356	0,1183	0,2511
M _e = 21,3981 g				
M _k = 19,909 g				
m _e = 0,0748				

Tablo 5.4. 55°C kurutma havası sıcaklığı için deneysel sonuçlar

T= 55°C			U= 2 m/s	
t(dk)	M _y (g)	M _s (g)	m	$\frac{m - m_e}{m_0 - m_e}$
0	26,759	5,179	0,24	1
30	25,829	4,249	0,1969	0,7462
60	25,423	3,843	0,1781	0,6354
90	25,129	3,549	0,1645	0,5551
120	24,905	3,325	0,1541	0,494
150	24,69	3,11	0,1441	0,4353
180	24,522	2,942	0,1363	0,3895
210	24,398	2,818	0,1306	0,3556
240	24,275	2,695	0,1249	0,3221
270	24,176	2,596	0,1203	0,295
300	24,083	2,503	0,116	0,2697
330	24,001	2,421	0,1122	0,2473
360	23,931	2,351	0,1089	0,2282
M _e = 23,0949 g				
M _k = 21,58 g				
m _e = 0,0702				

Tablo 5.5. 60°C kurutma havası sıcaklığı için deneysel sonuçlar

T= 60°C			U= 2 m/s	
t(dk)	M _y (g)	M _s (g)	m	$\frac{m - m_e}{m_0 - m_e}$
0	23,775	4,773	0,2512	1
30	22,775	3,773	0,1986	0,71765
60	22,349	3,347	0,1761	0,59737
90	22,041	3,039	0,1599	0,5104
120	21,814	2,812	0,148	0,44631
150	21,619	2,617	0,1377	0,39125
180	21,459	2,457	0,1293	0,34607
210	21,319	2,317	0,1219	0,30654
240	21,197	2,195	0,1155	0,27209
270	21,064	2,062	0,1085	0,23454
300	21,002	2	0,1053	0,21704
330	20,926	1,924	0,1013	0,19558
360	20,858	1,856	0,0977	0,17638
M _e = 20,2333 g				
M _k = 19,002 g				
m _e = 0,0648				

Tablo 5.6. 65°C kurutma havası sıcaklığı için deneysel sonuçlar

T= 65°C			U= 2 m/s	
t(dk)	M _y (g)	M _s (g)	m	$\frac{m - m_e}{m_0 - m_e}$
0	23,258	4,714	0,25421	1
30	22,161	3,617	0,19505	0,6963
60	21,725	3,181	0,17154	0,5756
90	21,407	2,863	0,15439	0,4876
120	21,163	2,619	0,14123	0,4201
150	20,983	2,439	0,13153	0,3702
180	20,833	2,289	0,12344	0,3287
210	20,675	2,131	0,11492	0,285
240	20,566	2,022	0,10904	0,2548
270	20,429	1,885	0,10165	0,2169
300	20,363	1,819	0,09809	0,1986
330	20,289	1,745	0,0941	0,1781
360	20,215	1,671	0,09011	0,1576
M _e = 19,6455 g				
M _k = 18,544 g				
m _e =0,0594				

Tablo 5.7. 70 °C kurutma havası sıcaklığı için deneysel sonuçlar

T=70°C			U=2m/s	
t(dk)	M _y (g)	M _s (g)	m	$\frac{m - m_e}{m_0 - m_e}$
0	26,714	5,082	0,23493	1
30	25,398	3,766	0,17409	0,66689
60	24,863	3,231	0,14936	0,53147
90	24,509	2,877	0,133	0,44186
120	24,267	2,635	0,12181	0,38061
150	24,032	2,4	0,11095	0,32112
180	23,855	2,223	0,10276	0,27632
210	23,726	2,094	0,0968	0,24367
240	23,583	1,951	0,09019	0,20747
270	23,526	1,894	0,08756	0,19304
300	23,401	1,769	0,08178	0,1614
330	23,357	1,725	0,07974	0,15027
360	23,287	1,655	0,07651	0,13255
M _e = 22,7633 g				
M _k =21,632 g				
m _e =0,0523				

5.2. 30dk Dinlendirmeli Kurutma İçin Deneysel Sonuçlar

Tablo 5.8. 40°C kurutma havası sıcaklığı ve 30dk dinlendirme periyodu için deneysel sonuçlar

T= 40°C			U= 2 m/s	
t(dk)	M _y (g)	M _s (g)	m	$\frac{m - m_e}{m_0 - m_e}$
0	24,907	4,962	0,24878	1
30	24,073	4,128	0,20697	0,7433
60	23,654	3,709	0,18596	0,6143
90	23,369	3,424	0,17167	0,5266
120	23,154	3,209	0,16089	0,4604
150	22,963	3,018	0,15132	0,4016
180	22,813	2,868	0,1438	0,3554
210	22,67	2,725	0,13663	0,3114
240	22,566	2,621	0,13141	0,2794
M _e =21,6582 g				
M _k =19,945 g				
m _e = 0,0859				

Tablo 5.9. 50°C kurutma havası sıcaklığı ve 30dk dinlendirme periyodu için deneysel sonuçlar

T= 50°C			U= 2 m/s	
t(dk)	M _y (g)	M _s (g)	m	$\frac{m - m_e}{m_0 - m_e}$
0	25,495	5,097	0,2499	1
30	24,43	4,032	0,1977	0,7018
60	23,958	3,56	0,1745	0,5696
90	23,609	3,211	0,1574	0,4719
120	23,339	2,941	0,1442	0,3963
150	23,148	2,75	0,1348	0,3428
180	22,968	2,57	0,126	0,2924
210	22,826	2,428	0,119	0,2526
240	22,714	2,316	0,1135	0,2213
M _e = 21,9237 g				
M _k =20,398 g				
m _e = 0,0748				

Tablo 5.10. 60°C kurutma havası sıcaklığı ve 30dk dinlendirme periyodu için deneysel sonuçlar

T= 60°C			U= 2 m/s	
t(dk)	M _y (g)	M _s (g)	m	$\frac{m - m_e}{m_0 - m_e}$
0	25,715	4,981	0,2402	1
30	24,629	3,895	0,1879	0,7014
60	24,084	3,35	0,1616	0,5516
90	23,717	2,983	0,1439	0,4507
120	23,456	2,722	0,1313	0,379
150	23,244	2,51	0,1211	0,3207
180	23,079	2,345	0,1131	0,2753
210	22,965	2,231	0,1076	0,244
M _e = 22,0775 g				
M _k = 20,734g				
m _e = 0,0648				

Tablo 5.11. 70°C kurutma havası sıcaklığı ve 30dk dinlendirme periyodu için deneysel sonuçlar

T= 70°C			U= 2 m/s	
t(dk)	M _y (g)	M _s (g)	m	$\frac{m - m_e}{m_0 - m_e}$
0	26,209	5,078	0,24031	1
30	24,923	3,792	0,17945	0,6763
60	24,265	3,134	0,14831	0,5107
90	23,834	2,703	0,12792	0,4022
120	23,548	2,417	0,11438	0,3302
150	23,333	2,202	0,10421	0,2761
180	23,172	2,041	0,09659	0,2356
210	23,032	1,901	0,08996	0,2003
M _e = 22,2361g				
M _k = 21,131g				
m _e = 0,0523				

5.3. 60dk Dinlendirmeli Kurutma İçin Deneysel Sonuçlar

Tablo 5.12. 40°C kurutma havası sıcaklığı ve 60dk dinlendirme periyodu için deneysel sonuçlar

T= 40°C			U= 2 m/s	
t(dk)	M _y (g)	M _s (g)	m	$\frac{m - m_e}{m_0 - m_e}$
0	24,051	4,746	0,24584	1
30	23,222	3,917	0,2029	0,7315
60	22,799	3,494	0,18099	0,5945
90	22,508	3,203	0,16592	0,5003
120	22,291	2,986	0,15467	0,43
150	22,099	2,794	0,14473	0,3678
180	21,95	2,645	0,13701	0,3196
M _e = 20,9632 g				
M _k = 19,305 g				
m _e = 0,0859				

Tablo 5.13. 50°C kurutma havası sıcaklığı ve 60dk dinlendirme periyodu için deneysel sonuçlar

T= 50°C			U= 2 m/s	
t(dk)	M _y (g)	M _s (g)	m	$\frac{m - m_e}{m_0 - m_e}$
0	24,858	4,929	0,2473	1
30	23,776	3,847	0,193	0,6853
60	23,268	3,339	0,1675	0,5376
90	22,908	2,979	0,1495	0,4329
120	22,644	2,715	0,1362	0,3561
150	22,441	2,512	0,126	0,297
180	22,293	2,364	0,1186	0,254
M _e = 21,4196 g				
M _k = 19,929 g				
m _e = 0,0748				

Tablo 5.14. 60°C kurutma havası sıcaklığı ve 60dk dinlendirme periyodu için deneysel sonuçlar

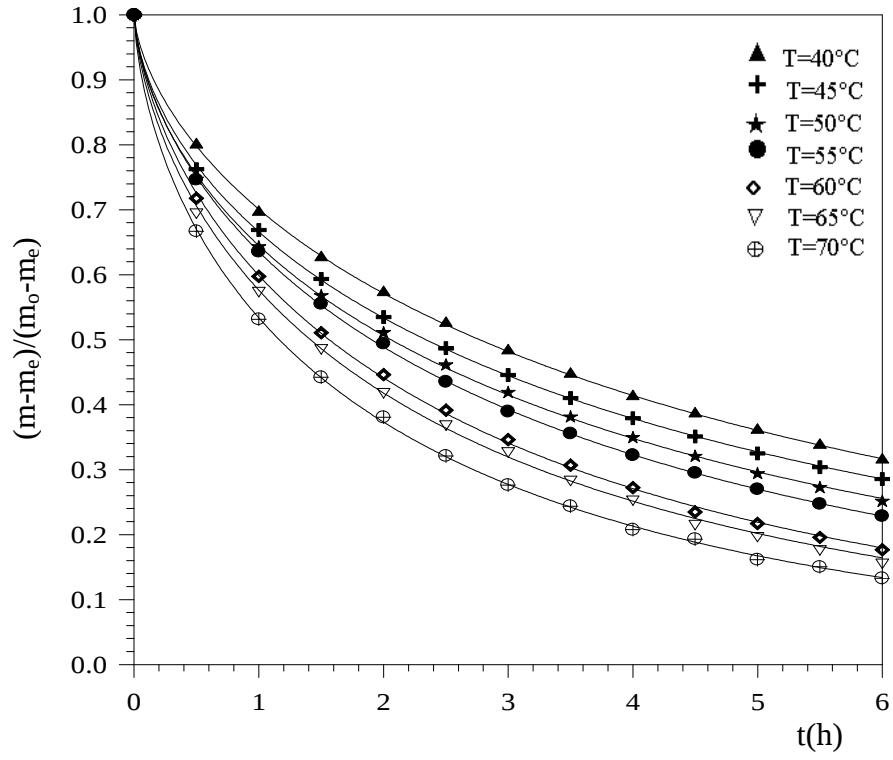
T= 60°C			U= 2 m/s	
t(dk)	M _y (g)	M _s (g)	m	$\frac{m - m_e}{m_0 - m_e}$
0	26,648	5,155	0,2398	1
30	25,486	3,993	0,1858	0,6911
60	24,922	3,429	0,1595	0,5412
90	24,532	3,039	0,1414	0,4376
120	24,253	2,76	0,1284	0,3634
150	24,058	2,565	0,1193	0,3116
M _e = 22,8857 g				
M _k = 21,493 g				
m _e =0,0648				

Tablo 5.15. 70°C kurutma havası sıcaklığı ve 60dk dinlendirme periyodu için deneysel sonuçlar

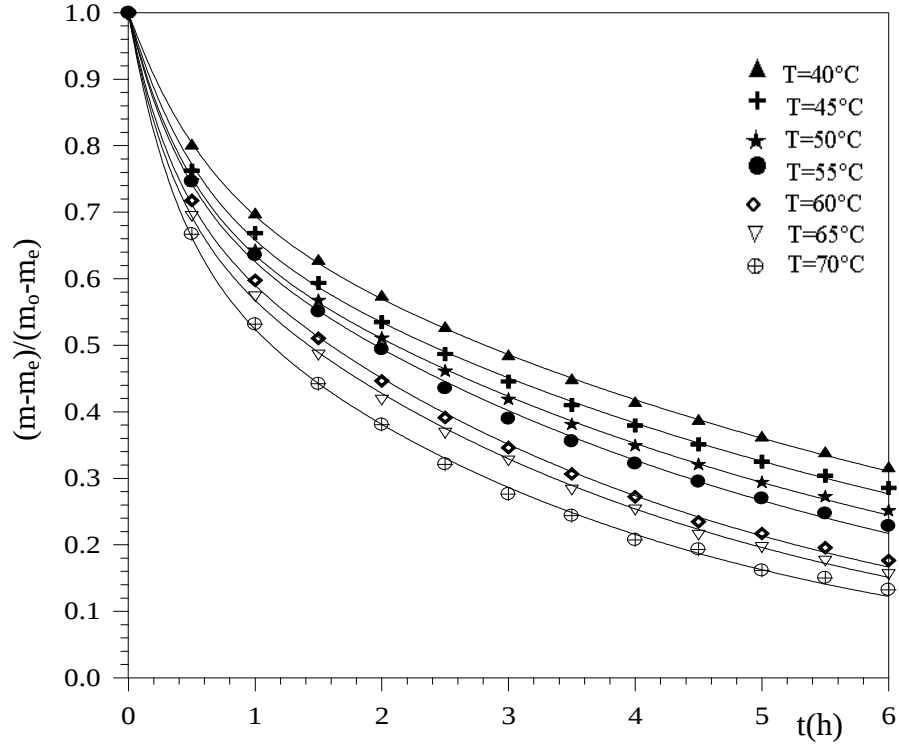
T= 70°C			U= 2 m/s	
t(dk)	M _y (g)	M _s (g)	m	$\frac{m - m_e}{m_0 - m_e}$
0	25,811	5,038	0,24253	1
30	24,395	3,622	0,17436	0,6417
60	23,702	2,929	0,141	0,4663
90	23,28	2,507	0,12069	0,3595
120	22,97	2,197	0,10576	0,281
150	22,771	1,998	0,09618	0,2307
M _e = 21,8594 g				
M _k = 20,773 g				
m _e = 0,0523				

6. MODEL VE DENEYSEL SONUÇLARIN KARŞILAŞTIRILMASI

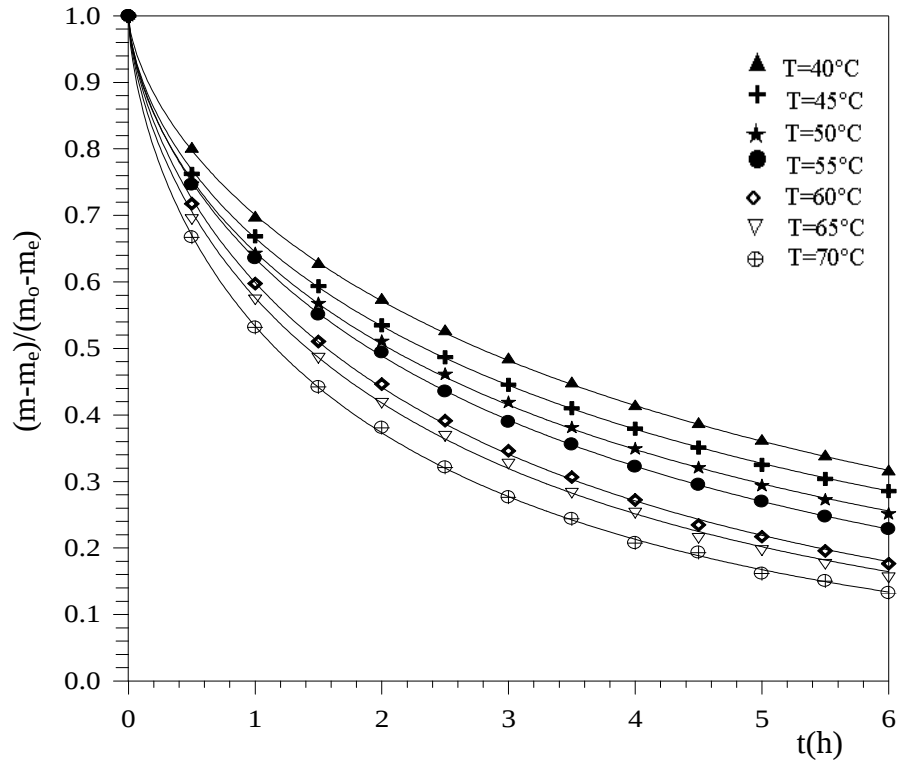
6.1. Sürekli Kurutma Grafikleri



Şekil 6.1. Sürekli kurutma Page model sonuçları ile deneysel değerlerin karşılaştırılması

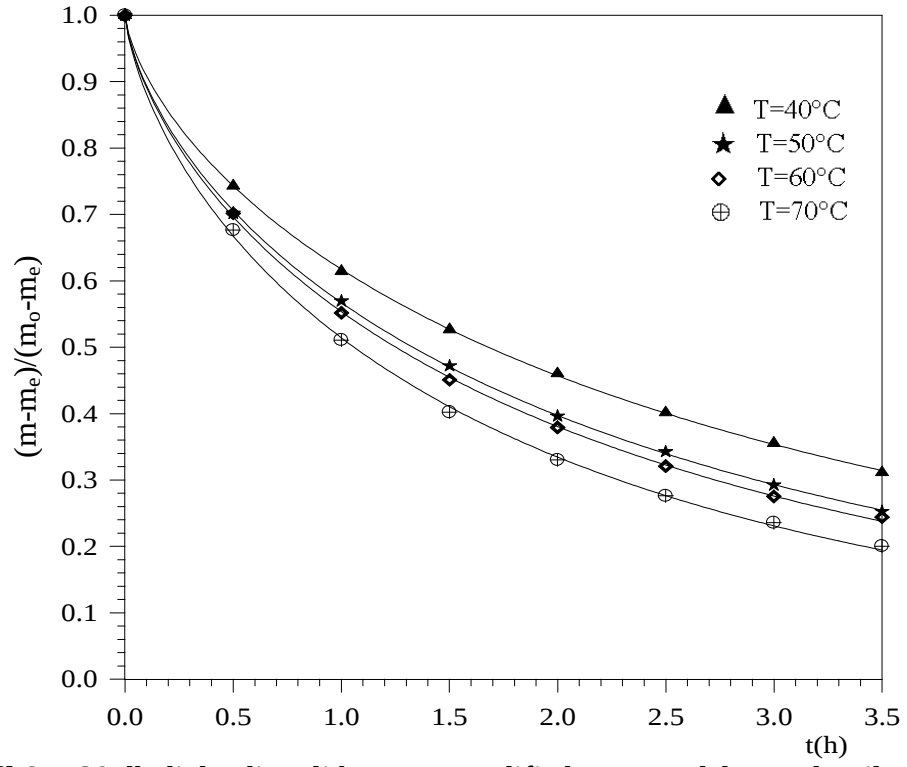


Şekil 6.2. Sürekli kurutma Diffusion Approach model sonuçları ile deneysel değerlerin karşılaştırılması

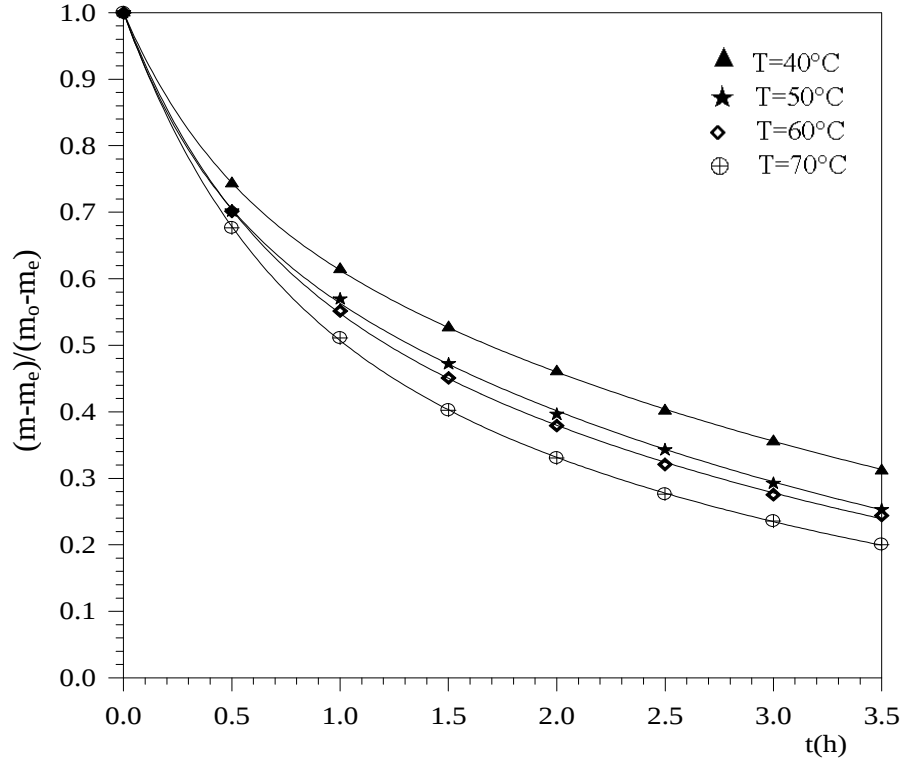


Şekil 6.3. Sürekli kurutma Midilli et al. model sonuçları ile deneysel değerlerin karşılaştırılması

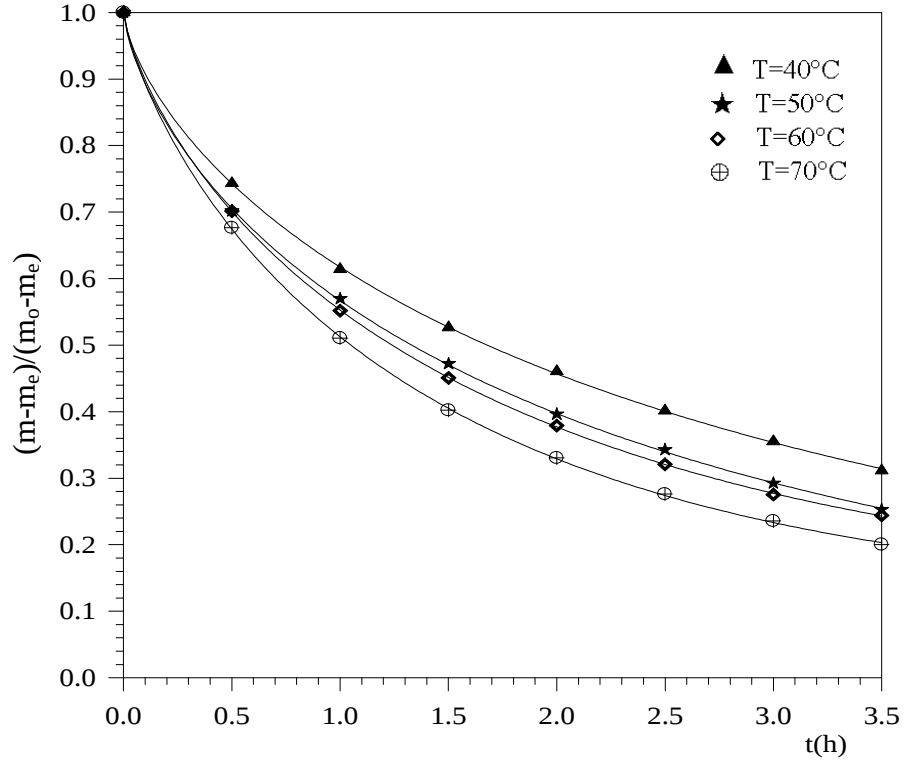
6.2. 30dk Dinlendirmeli Kurutma Grafikleri



Şekil 6.4. 30 dk dinlendirmeli kurutma Modified Page model sonuçları ile deneysel değerlerin karşılaştırılması

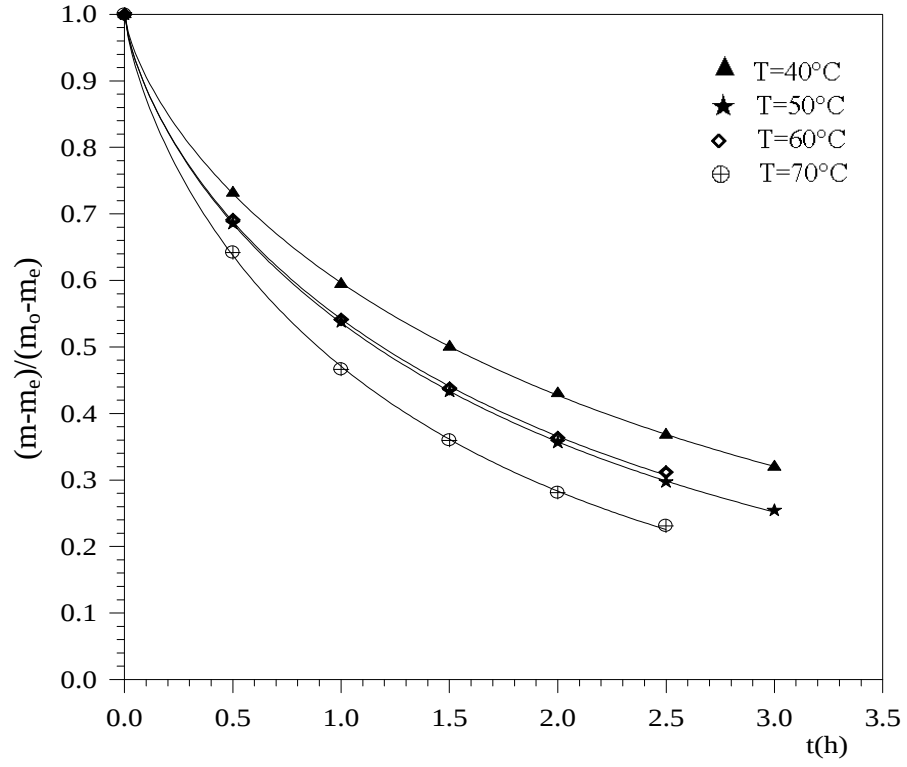


Şekil 6.5. 30 dk dinlendirmeli kurutma Diffusion Approach model sonuçları ile deneysel değerlerin karşılaştırılması

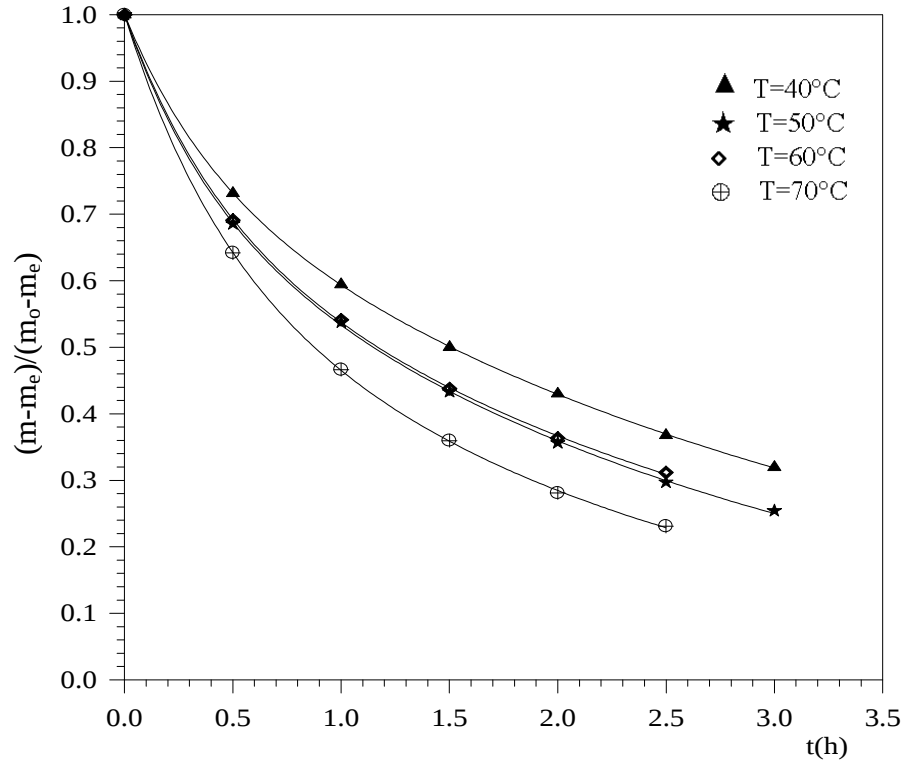


Şekil 6.6. 30 dk dinlendirmeli kurutma Midilli et al. model sonuçları ile deneysel değerlerin karşılaştırılması

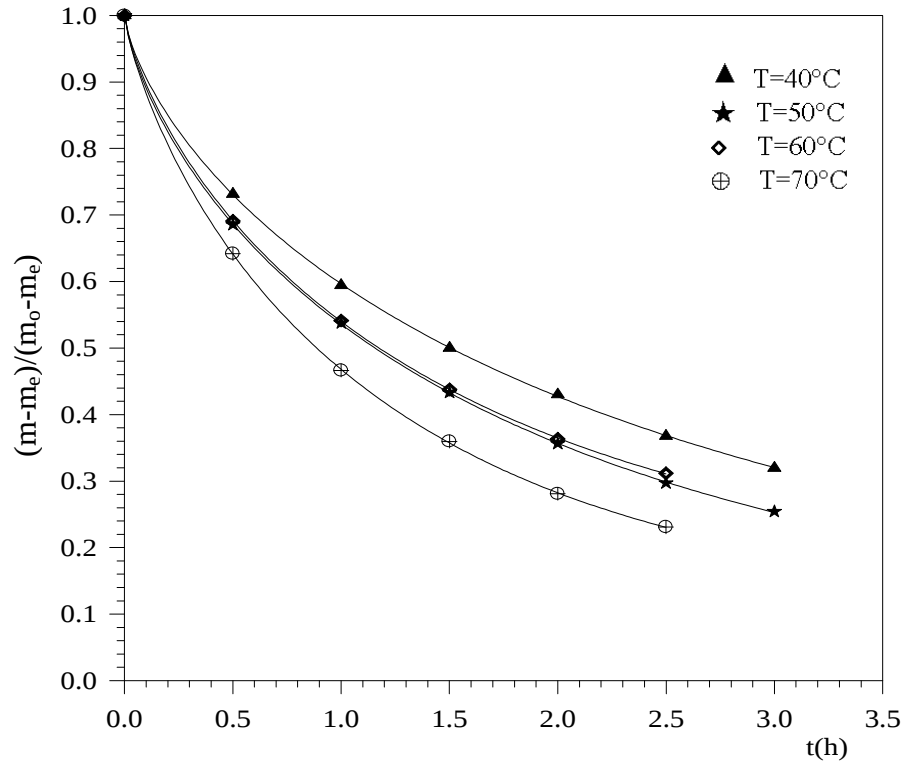
6.3. 60 dk Dinlendirmeli Kurutma Grafikleri



Şekil 6.7. 60 dk dinlendirmeli kurutma Modified Page model sonuçları ile deneysel değerlerin karşılaştırılması



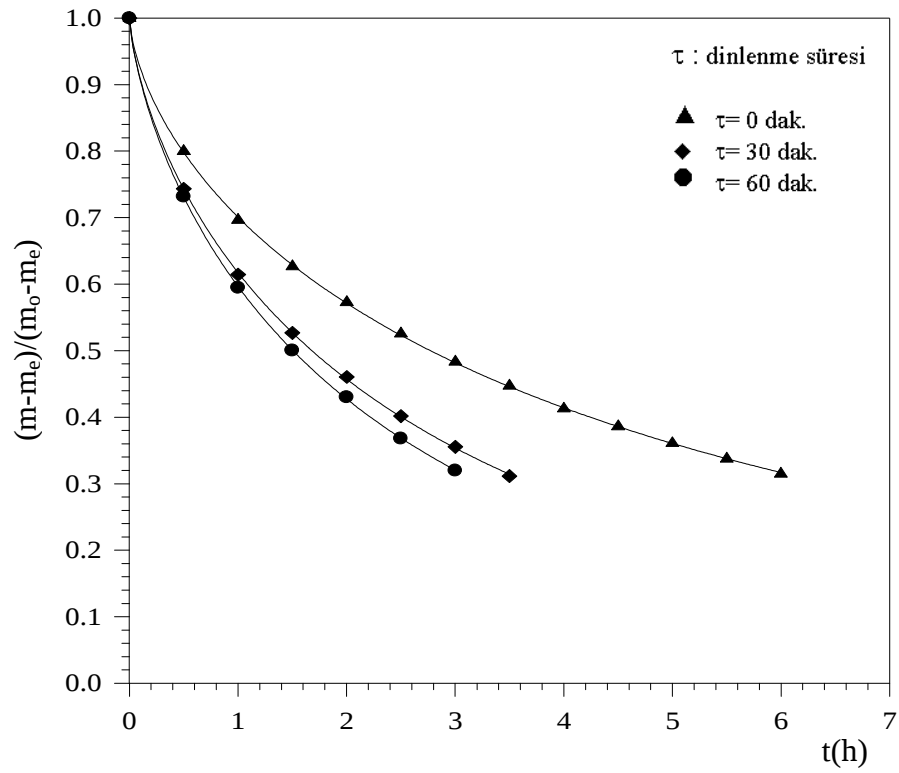
Şekil 6.8. 60 dk dinlendirmeli kurutma Diffusion Approach model sonuçları ile deneysel değerlerin karşılaştırılması



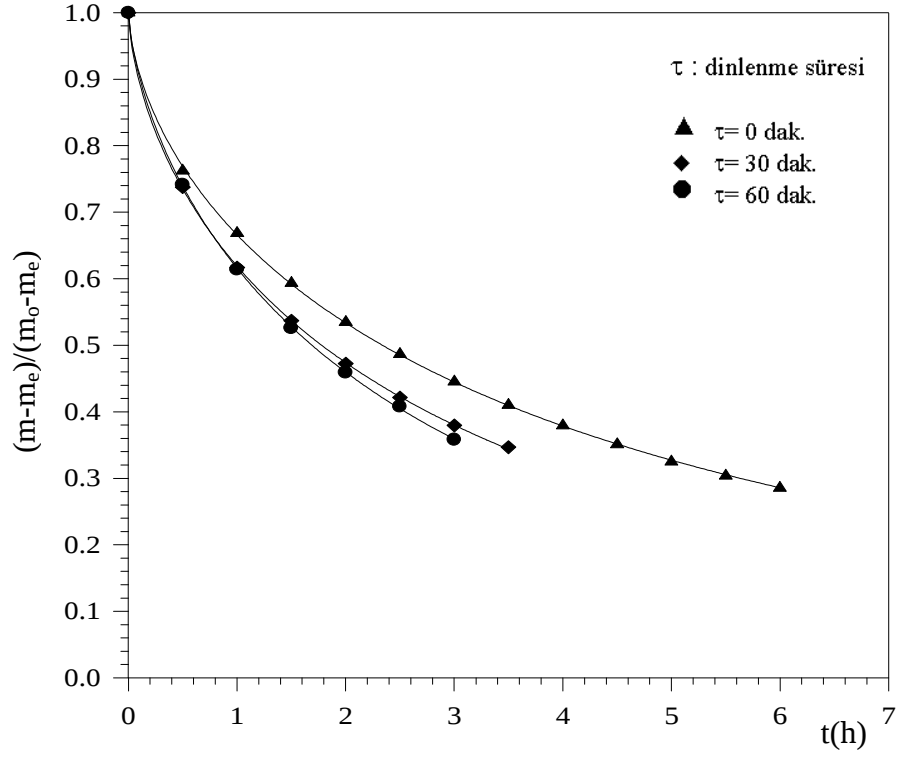
Şekil 6.9. 60 dk dinlendirmeli kurutma Midilli et al. model sonuçları ile deneysel değerlerin karşılaştırılması

7. SÜREKLİ VE DİNLENDİRMELİ KURUTMA PERİYOTLARININ MUKAYESESİ

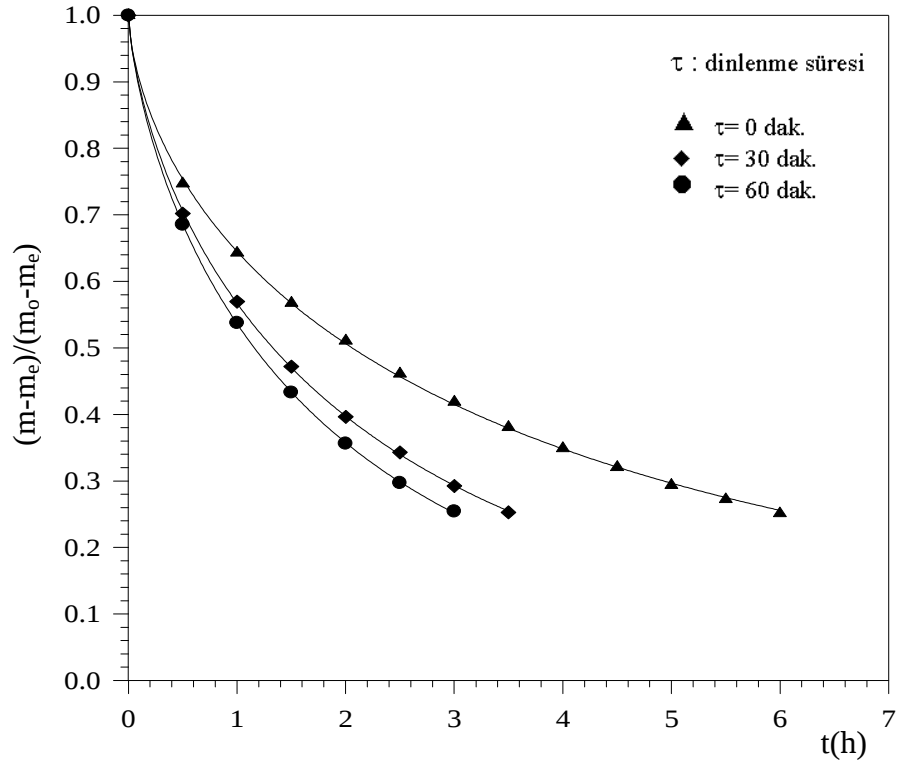
7.1. Page Modeli İçin Kurutma Periyotlarının Karşılaştırılması



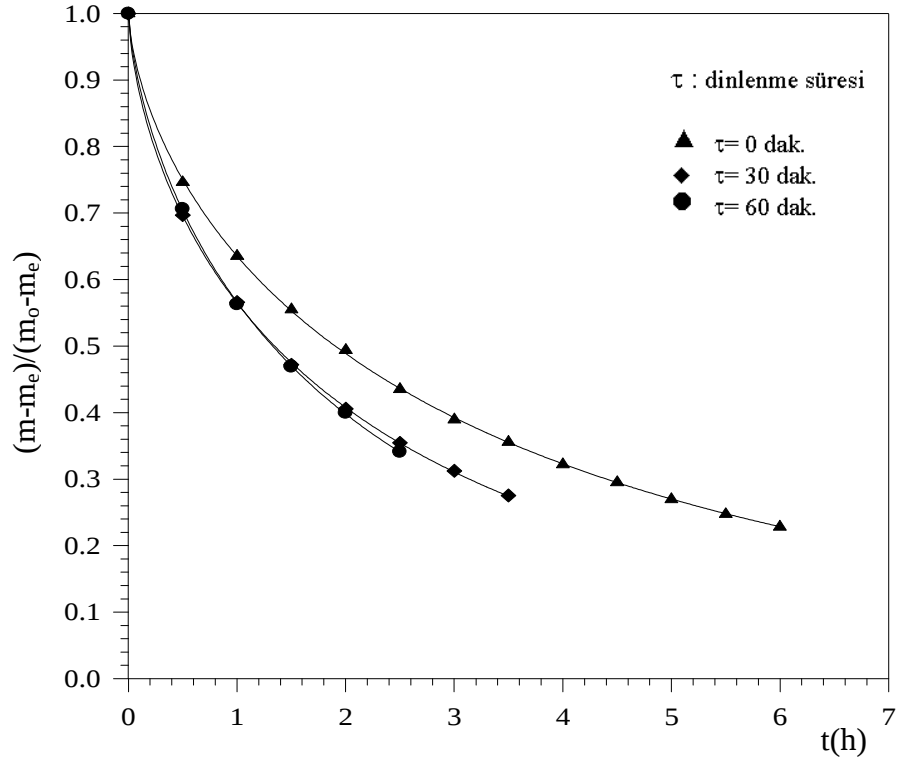
Şekil 7.1. 40°C kurutma havası sıcaklığı için karşılaştırmalı grafikler



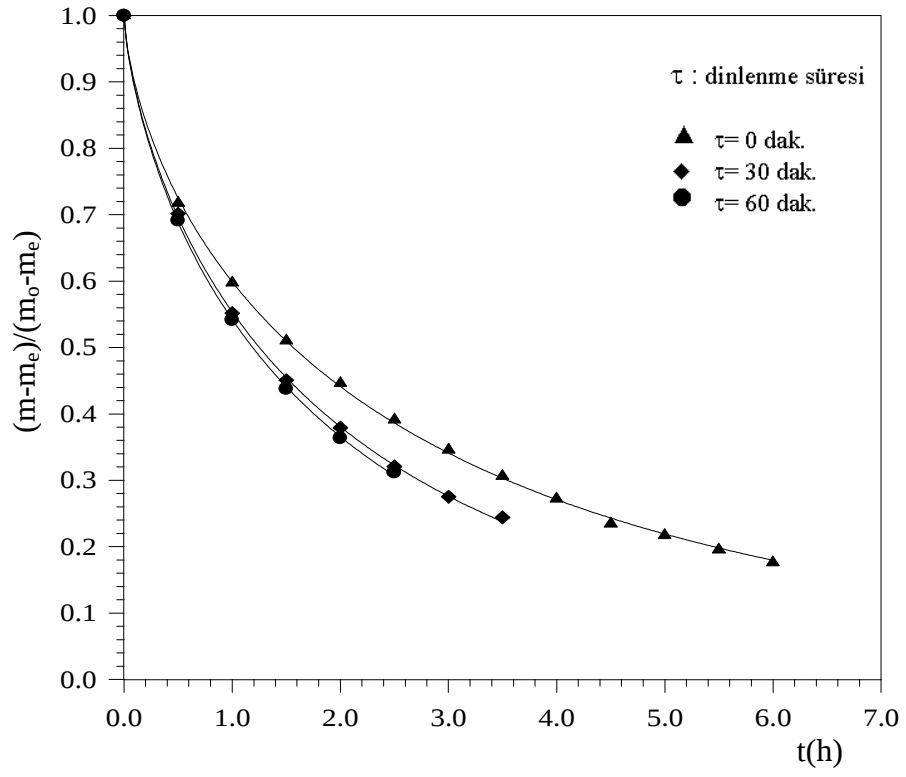
Şekil 7.2. 45°C kurutma havası sıcaklığı için karşılaştırmalı grafikler



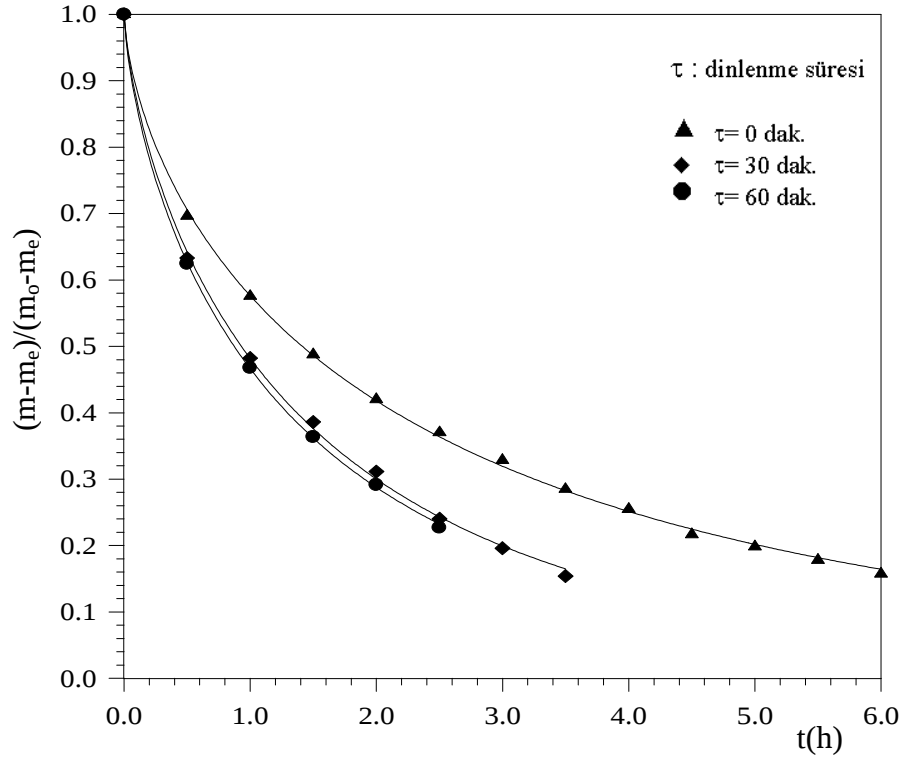
Şekil 7.3. 50°C kurutma havası sıcaklığı için karşılaştırmalı grafikler



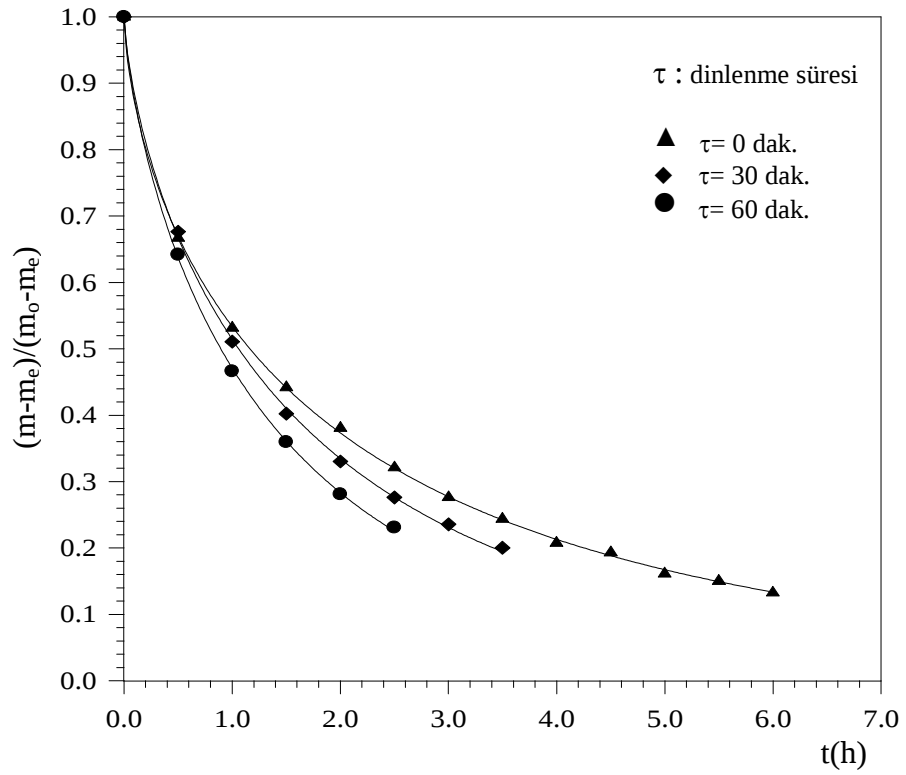
Şekil 7.4. 55°C kurutma havası sıcaklığı için karşılaştırmalı grafikler



Şekil 7.5. 60°C kurutma havası sıcaklığı için karşılaştırmalı grafikler

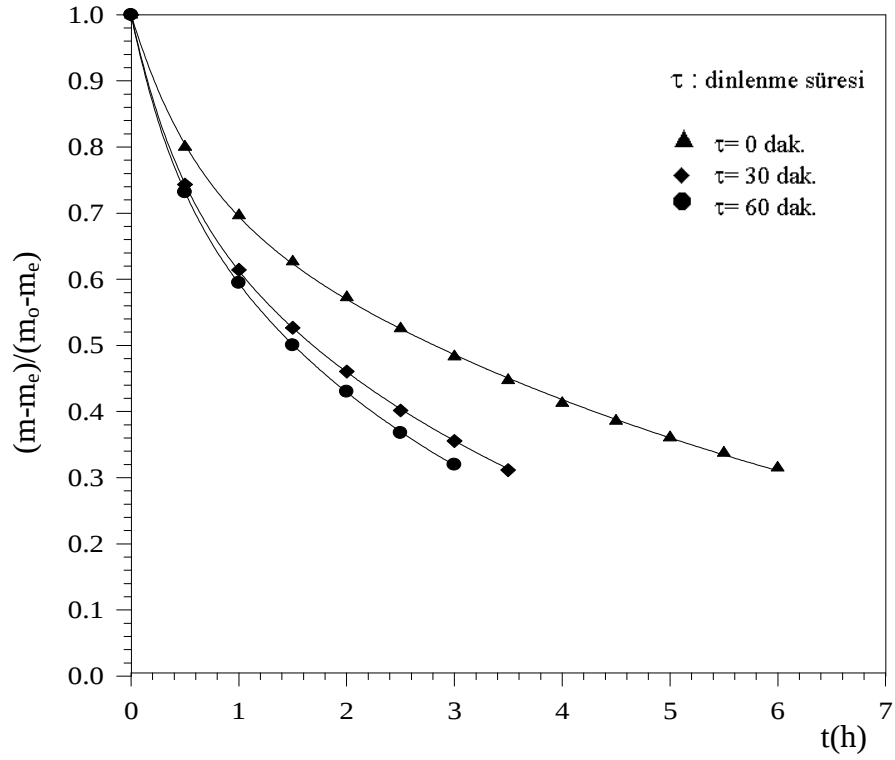


Şekil 7.6. 65°C kurutma havası sıcaklığı için karşılaştırmalı grafikler

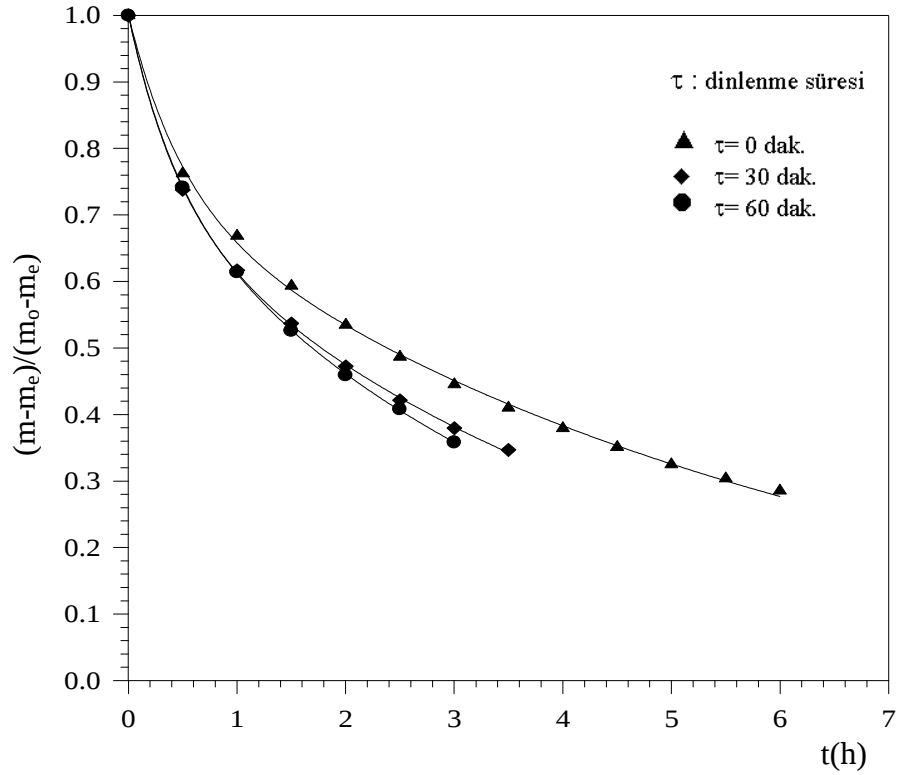


Şekil 7.7. 70°C kurutma havası sıcaklığı için karşılaştırmalı grafikler

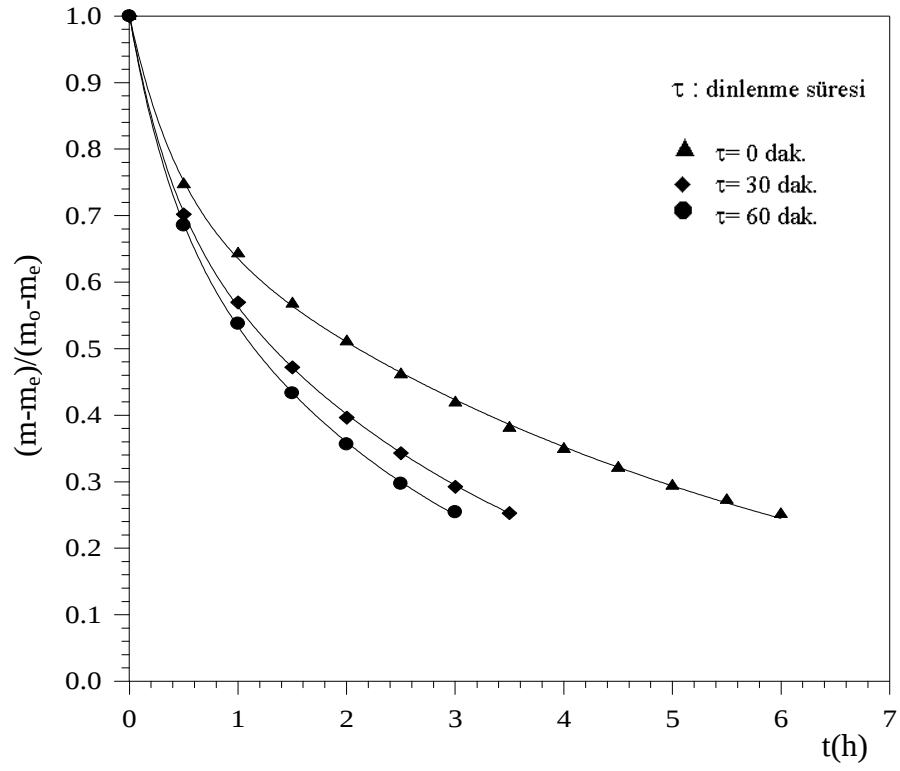
7.2. Diffusion Approach Modeli İçin Kurutma Periyotlarının Karşılaştırılması



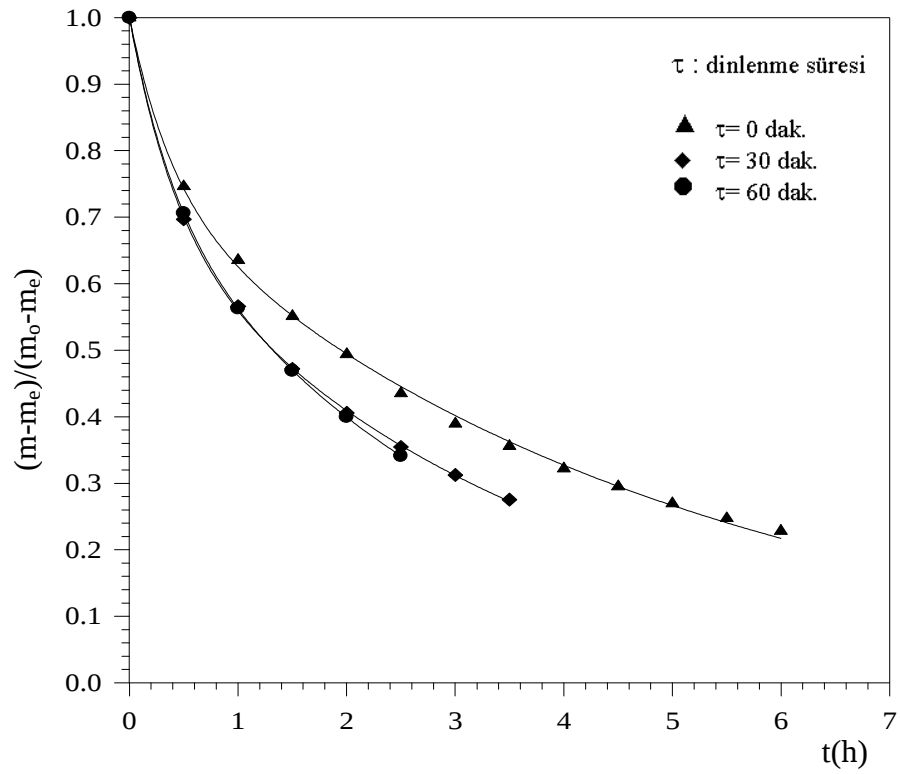
Şekil 7.8. 40°C kurutma havası sıcaklığı için karşılaştırmalı grafikler



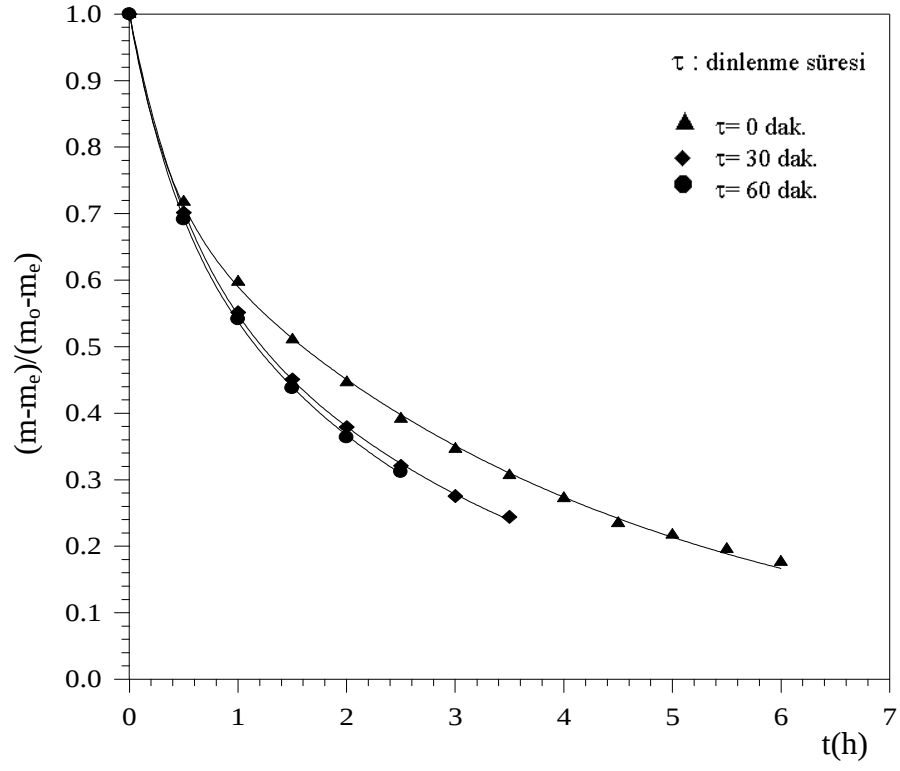
Şekil 7.9. 45°C kurutma havası sıcaklığı için karşılaştırmalı grafikler



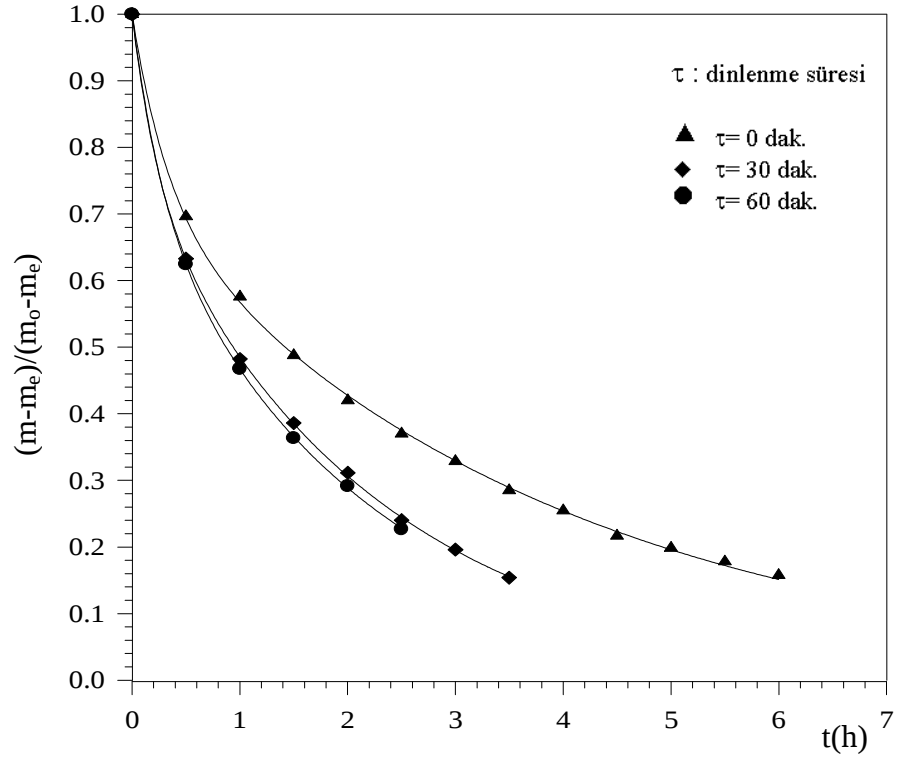
Şekil 7.10. 50°C kurutma havası sıcaklığı için karşılaştırmalı grafikler



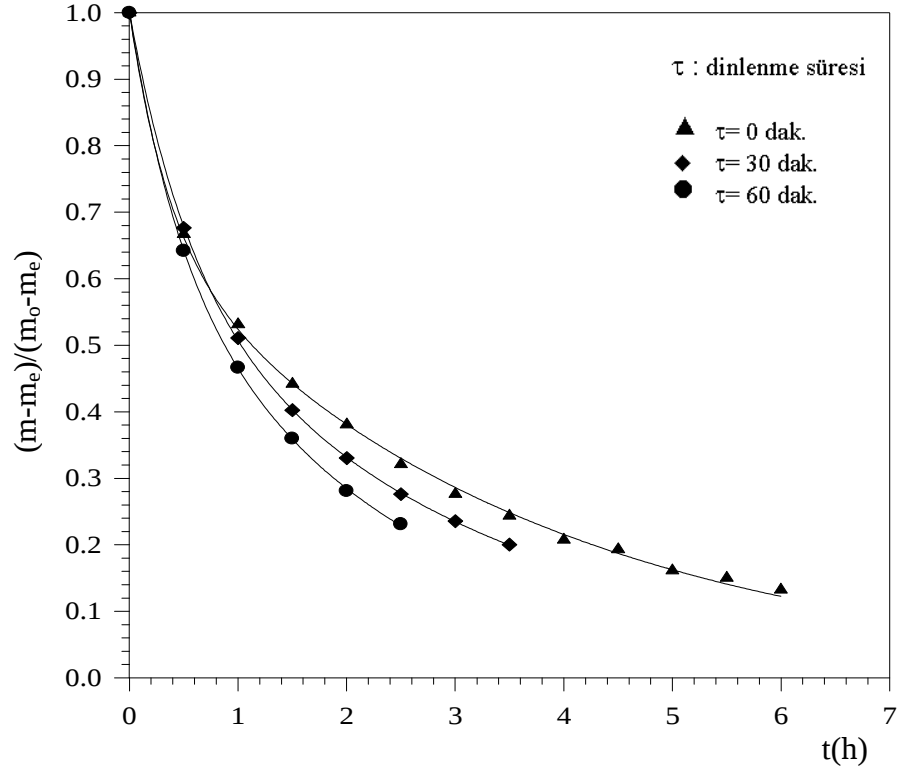
Şekil 7.11. 55°C kurutma havası sıcaklığı için karşılaştırmalı grafikler



Şekil 7.12. 60°C kurutma havası sıcaklığı için karşılaştırmalı grafikler

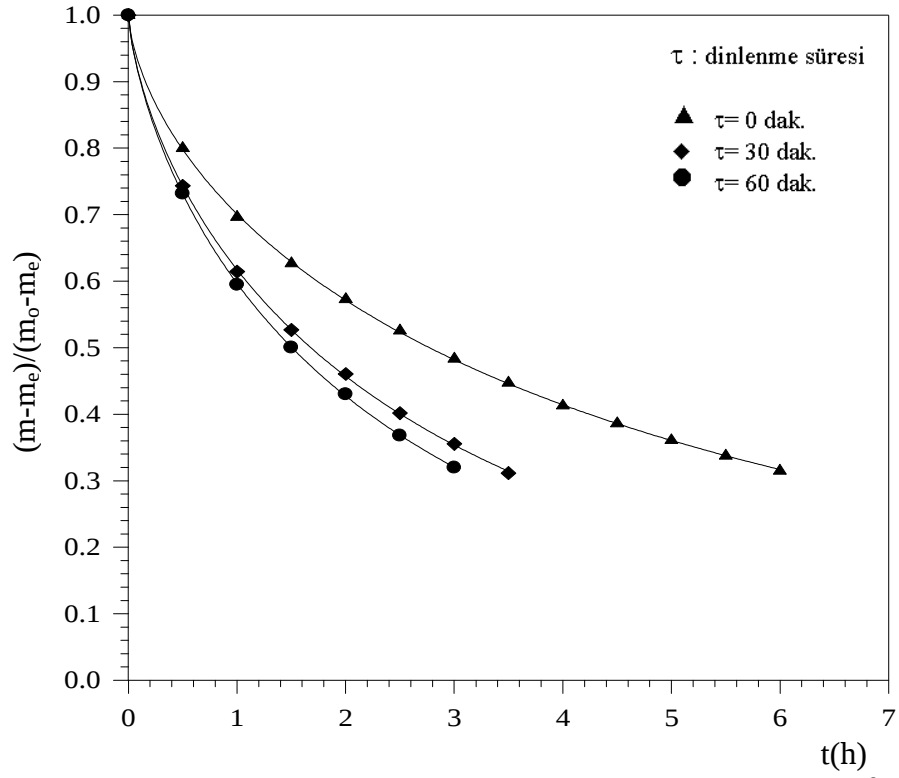


Şekil 7.13. 65°C kurutma havası sıcaklığı için karşılaştırmalı grafikler

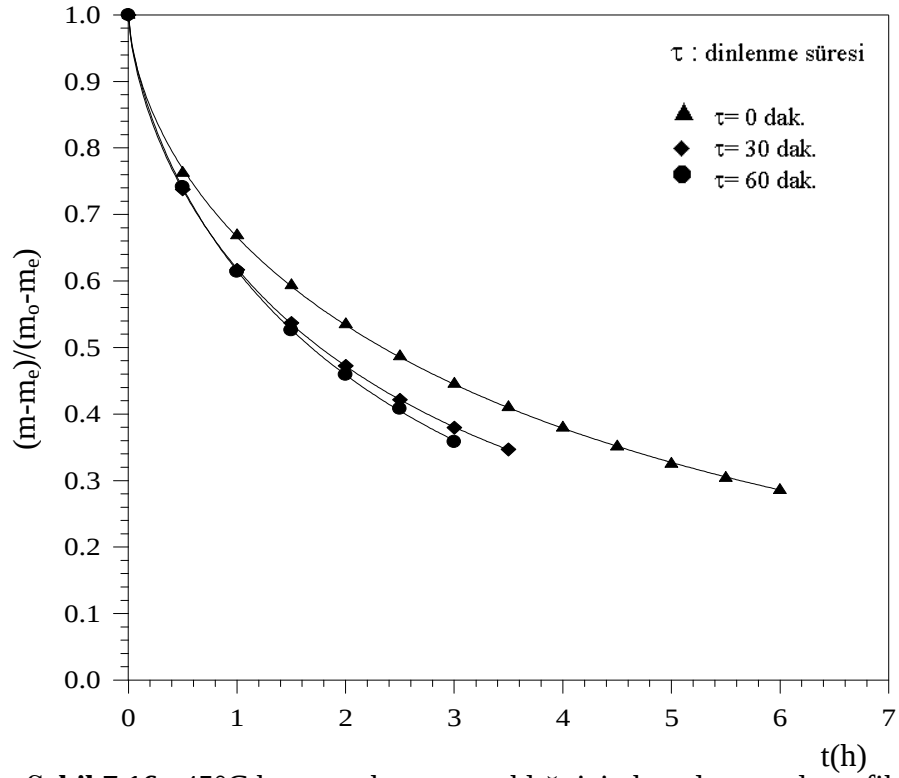


Şekil 7.14. 70°C kurutma havası sıcaklığı için karşılaştırmalı grafikler

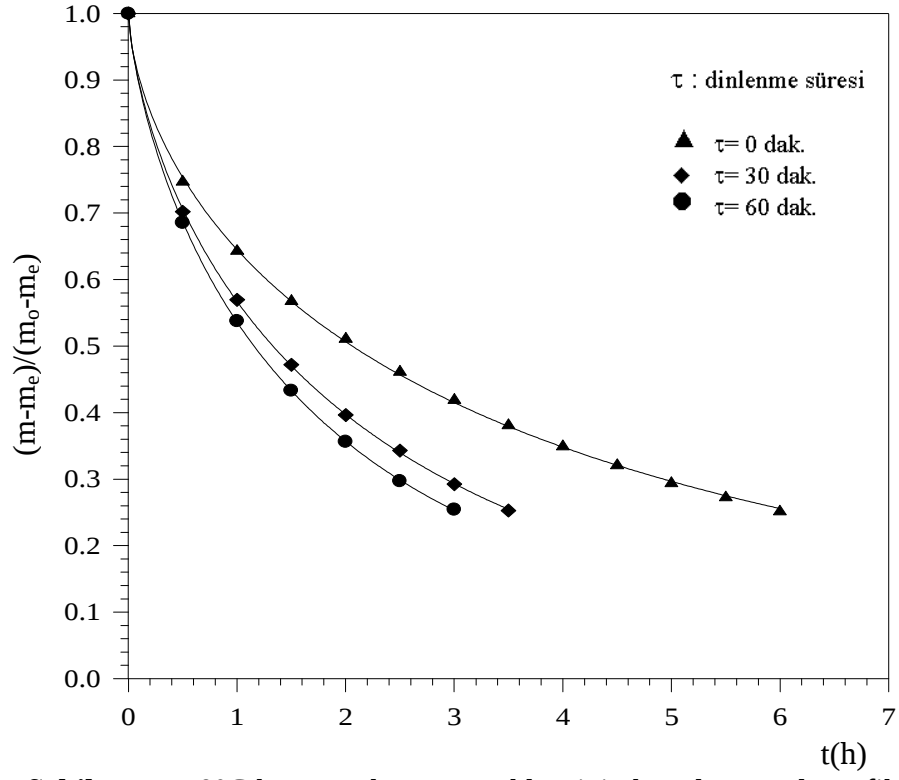
7.3. Midilli et al. Modeli İçin Kurutma Periyotlarının Karşılaştırılması



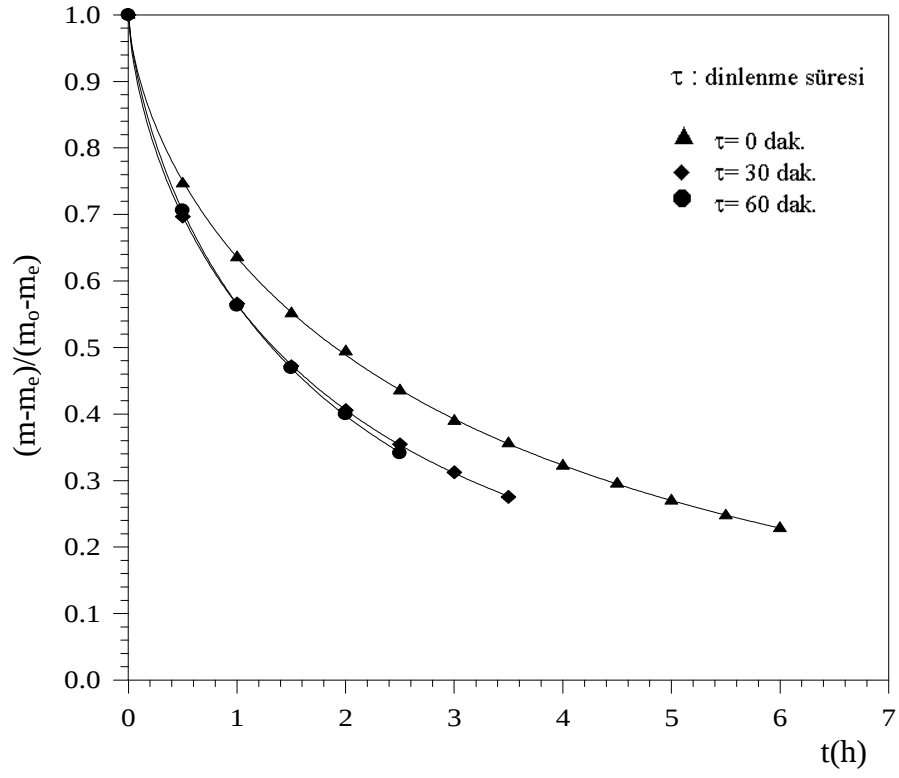
Şekil 7.15. 40°C kurutma havası sıcaklığı için karşılaştırmalı grafikler



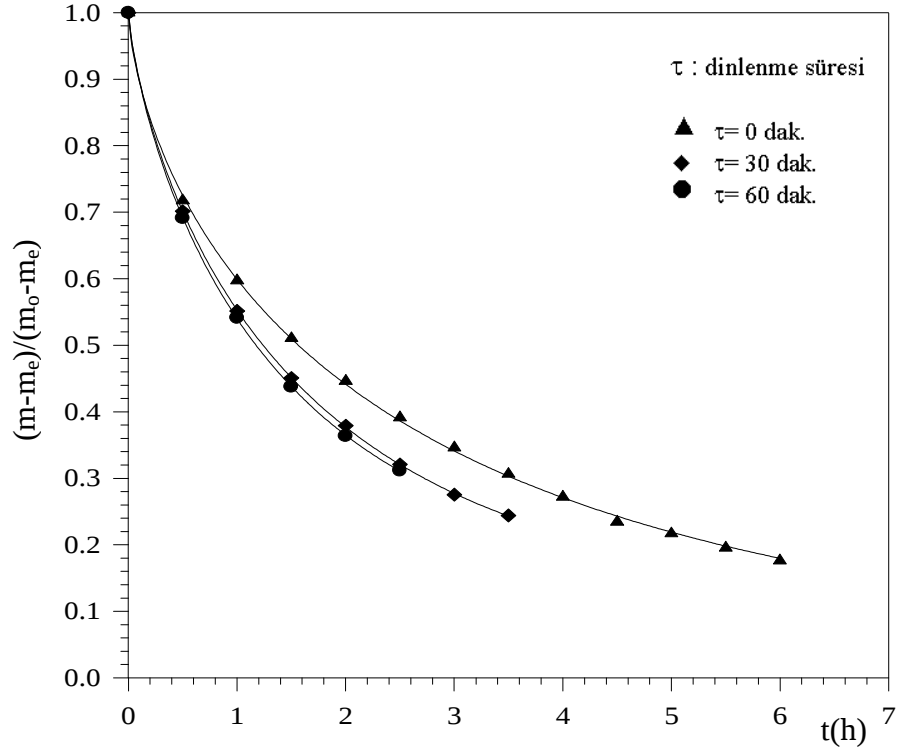
Şekil 7.16. 45°C kurutma havası sıcaklığı için karşılaştırmalı grafikler



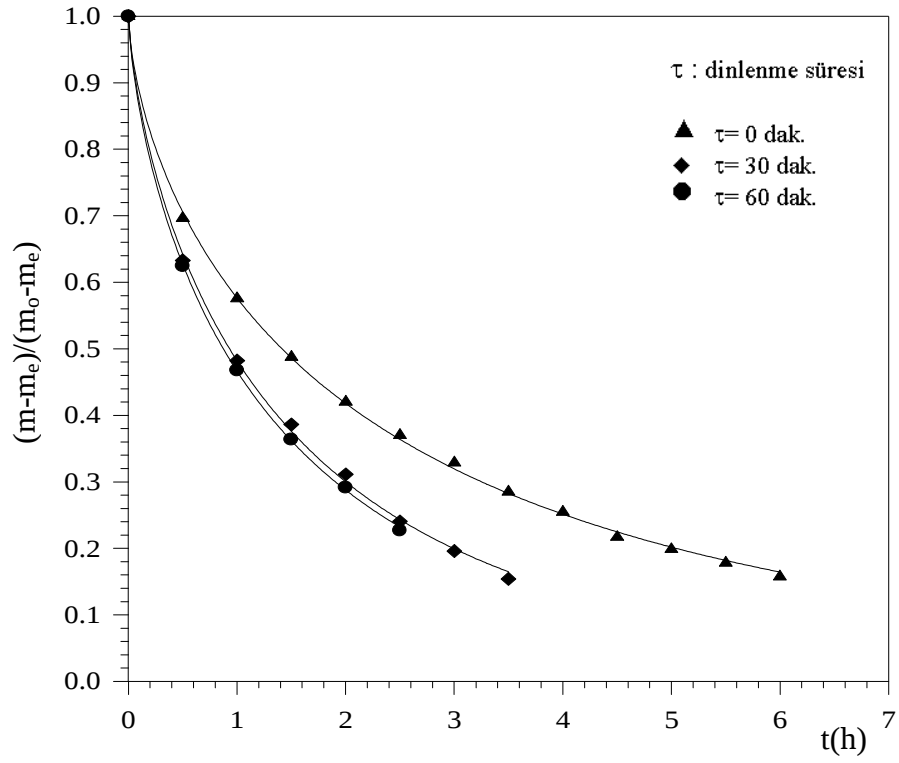
Şekil 7.17. 50°C kurutma havası sıcaklığı için karşılaştırmalı grafikler



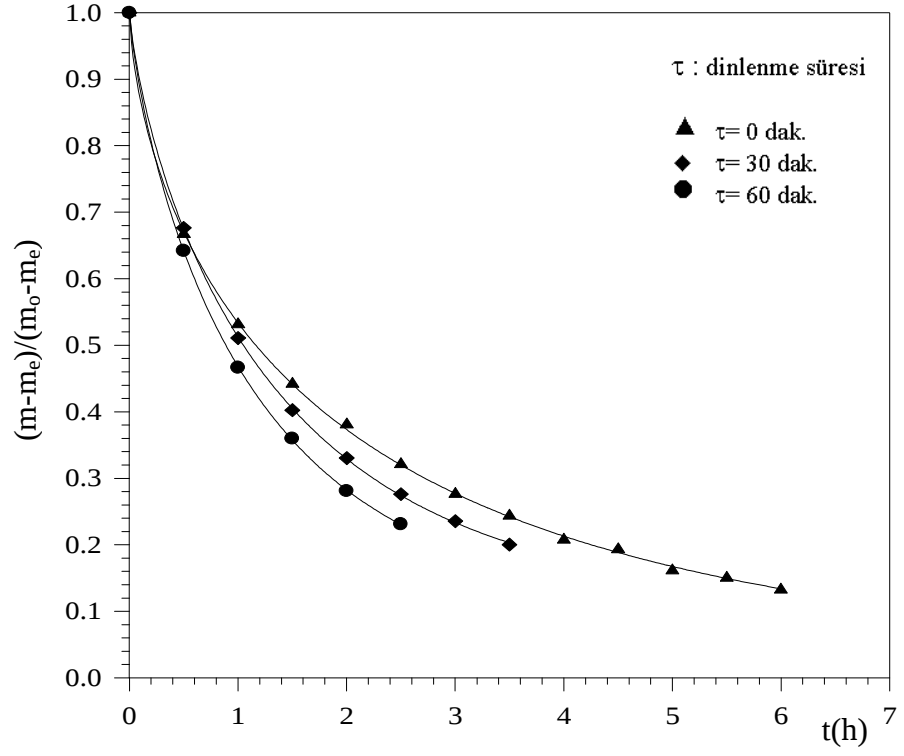
Şekil 7.18. 55°C kurutma havası sıcaklığı için karşılaştırmalı grafikler



Şekil 7.19. 60°C kurutma havası sıcaklığı için karşılaştırmalı grafikler



Şekil 7.20. 65°C kurutma havası sıcaklığı için karşılaştırmalı grafikler



Şekil 7.21. 70°C kurutma havası sıcaklığı için karşılaştırmalı grafikler

8. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

Mısırın hasat esnasında nem oranı, kuru baza göre % 24-25 değerleri arasındadır. Mısırın bozulmadan uzun süre saklanabilmesi için, nem oranının %14' ün altına düşürülmesi gerekmektedir. Tahılların kurutma işlemleri genellikle sıcak havanın cebri konveksiyonu yardımı ile yapılmaktadır.

Tek tabaka mısır kurutma deneyleri üç aşamada gerçekleştirilmiştir. Birinci aşamada; tek tabaka mısır numuneleri sürekli olarak 40°C, 45°C, 50°C, 55°C, 60°C, 65°C ve 70°C sıcaklık değerleri ve 2m/s hava hızında kurutulmuştur. İkinci aşamada; tek tabaka mısır numuneleri 30 dakika kurutma sürecinden sonra, 30' ar dakika dinlendirilmiştir. Bu süreç arzu edilen nem oranına düşürülünceye kadar devam etmiştir. Üçüncü aşamada; mısır numuneleri 30' ar dakika kurutma işleminden sonra, 60' ar dakika dinlendirme periyotlarına alınmıştır. Nem seviyesi arzu edilen orana düşürülünceye kadar devam edilmiştir. Deneysel sonuçlardan her durum için boyutsuz nem oranları belirlenmiştir ve elde edilen boyutsuz nem oranları; Tablo 5.1-5.15. verilen yarı teorik modellerin sonuçlarıyla mukayese edilerek, denklemlerdeki katsayılar belirlenmiştir. Boyutsuz nem oranlarının dinlendirmeli kurutmada yakın sıcaklık aralıklarında çok fazla değişim göstermediği belirlenmiştir. Bu nedenle dinlendirmeli kurutmada sıcaklık aralığı 10°C olarak alınmıştır.

Tablo 8.1. Toplam kurutma zamanı ve kurutma enerjisinin değişimi

	Kurutma Türü	40°C	50°C	60°C	70°C
Toplam Kurutma Zamanı(dk)	Sürekli	325	215	143	77
	30dk Din.	196	133	99	72 dk
	60 dk Din.	168	111	93	61
Kurutma Enerjisi (kJ)	Sürekli	8061	6960	6342	4618
	30dk Din.	4857	4394	4331	4322
	60 dk Din.	4174	4126	3679	3618

Ortam şartlarının bağıl neminin $\phi = 50\%$ ve sıcaklığının $T_{\infty} = 20^{\circ}\text{C}$ olduğu kabul edilmiştir. Bütün kurutma şatlarında kurutma havasının aldığı ısı miktarı Q (kJ);

$Q = m \Delta h$ eşitliğinden hesaplanmıştır. Burada m (kg) kurutma havasının toplam kütlesi olup, ρ kurutma havasının çıkış şartlarındaki yoğunluğu, V (m/s) kurutma havasının hızı, t (dak) kurutma zamanı ve A (m²) ölçüm borusunun dik kesit alanı olmak üzere; $m = 60\rho VtA$ ifadesinden hesaplanmıştır. Kurutma havasının entalpi farkı $\Delta h = h_c - h_g$ (kJ/kg) olarak alınmıştır.

Bu çalışmada kullanılan teorik modeller ve denklemler Tablo 3.1.' de verilmiştir. Tablo 4.1.-4.21.' de; sürekli ve dinlendirmeli kurutma için teorik model sonuçları verilmiştir. Bu tablolarda modellere ait katsayılar korelasyon katsayısı r , standart hata e_s , ortalama karesel sapma χ^2 değerleri yer almaktadır. Deneysel değerlerle örtüşen en iyi modeli belirlemede $r > 0.90$ olmak kaydıyla korelasyon katsayısı 1' e en yakın, en küçük standart hata ve ortalama karesel sapma üreten model, mısırın kuruma davranışını en iyi ifade eden model olarak belirlenmiştir. Sürekli kurutma için en uygun modelin Page modelinin, dinlendirmeli kurutmada ise Midilli et al. ve Diffusion Approach modellerinin olduğu tespit edilmiştir. Genel olarak model sonuçlarının deneysel datalarla iyi bir uygunluk içinde olduğu görülmüştür. Sürekli ve dinlendirmeli kurutma için boyutsuz nem oranları Tablo 5.1.-5.15.'de verilmiştir. Sürekli kurutma için deneysel ve teorik model sonuçları Şekil 6.1.-6.3.' de grafik olarak gösterilmiştir. 30 ve 60 dakika dinlendirme periyotları için deneysel ve teorik model sonuçları Şekil 6.4-6.9 arasında verilmektedir. Sürekli ve dinlendirmeli kurutma periyotlarının deneysel sonuçlarla en uyumlu olan modellerin karşılaştırmalı grafikleri Şekil 7.1-7.21. arasında gösterilmektedir. Toplam kurutma zamanı açısından incelendiğinde, sürekli olarak kurutulan mısırlar; 40°C ' de 325 dakikada, 45°C ' de 260 dakikada, 50°C ' de 215 dakikada, 55°C ' de 165 dakikada, 60°C ' de 143 dakikada, 65°C ' de 124 dakikada, 70°C ' de 77 dakikada ulaşmıştır. 30 dakika dinlenme periyotlarında kurutulan mısırlar, başlangıç neminden %14 nem seviyesine; 40°C ' de 196 dakikada, 50°C ' de 133 dakikada, 60°C ' de 99 dakikada ve 70°C ' de 72 dakikada ulaşmıştır. 60 dakika dinlenme periyotlarında kurutulan mısırlar, başlangıç neminden %14 nem seviyesine; 40°C ' de 168 dakikada, 50°C ' de 111 dakikada, 60°C ' de 93 dakikada, 70°C ' de 61 dakikada ulaşmıştır.

Yapılan enerji hesaplamalarına göre; 30 dakika dinlenme periyodunda kurutulan mısır numuneleri, %14 kb nem seviyesine, sürekli kurutma deney sonuçlarına göre 40°C için %40, 50°C için %37, 60°C için %32, 70°C %15 daha az enerji harcanarak gelmiştir. 60 dakika dinlenme periyotlarında yapılan deneylerdeki mısır numuneleri ise; %14 kb nem seviyesine, sürekli kurutma bölgesinde yapılan deney sonuçlarına göre 40°C için %48, 50°C için %41, 60°C için %42, 70°C %22 daha az enerji harcanarak gelmiştir. Toplam kurutma zamanları ve kurutma enerjileri Tablo 8.1' de toplu halde verilmiştir.

Sonuçlar, mısırın içindeki nemin yüzeye gelmesi için kurutma esnasında ara bir yerde kurutma işlemini durdurup, nemin yüzeye gelmesini bekleyerek daha sonra kurutma işlemini devam ettirmenin, kurutmada bir enerji tasarrufu sağladığını göstermektedir.

ÖZGEÇMİŞ

Sercan YILMAZ 17.01.1982 tarihinde Kırklareli ilinin Lüleburgaz ilçesinde doğdu. İlk ve orta öğrenimini Lüleburgaz Merkez İlköğretim okulunda, Lise öğrenimini ise Lüleburgaz Anadolu Teknik, Teknik Ve Endüstri Meslek Lisesi Bilgisayar Bölümü'nde tamamladı. Lisans öğrenimini 2002-2006 yılları arasında Süleyman Demirel Üniversitesi Makine Eğitimi bölümünde tamamladı. 2006 Eylül ayında Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü 'nde Yüksek Lisans öğrenimine başladı. 2008-2009 yılları arasında askerlik görevini kısa dönem olarak yaptı. 2009 Eylül ayında Termo-Teknik Tic.ve San. A.Ş. 'de ürün geliştirme departmanında göreve başladı. Halen bu kurumda görevine devam etmektedir. Bekâr ve İngilizce bilmektedir.

KAYNAKLAR

- 1-) Açıkgöz, N., (1982) ‘‘Hasat Öncesi, Hasat ve Hasat Sonrası Ürün Kayıpları’’, Seminer Bildirileri, Ankara.
- 2-) Agrawal, Y. C., & Singh, R. P. (1977). Thin-layer drying studies on short-grain rice. ASAE paper, No. 77-3531, St. Joseph, MI, USA.
- 3-) Altindeğer M., (2005) ‘‘Mısır Yetiştiriciliği’’, Tarım ve Köy İşleri Bakanlığı T.C. Samsun Valiliği İl Tarım Müdürlüğü No: T/4.
- 4-) Babaoğlu M. , (2005) ‘‘Mısır ve Tarımı’’,Trakya Tarımsal Araştırma Enstitüsü Müdürlüğü, Edirne.
- 5-) Cemeroğlu B., (1986) ‘‘Meyve ve Sebze İşleme Teknolojisi’’, Gıda Teknolojisi Derneği, Yayın no:6, Böl:9, Ankara.
- 6-) Chandra, P. K., & Singh, R. P. (1995). Applied numerical methods for food and agricultural engineers. CRC Press, Boca Raton, FL, pp. 163-167.
- 7-) Chen, Chin Shu ve Johnson, W. H., (1969), ‘‘Kinetics of Moisture Movement in Hygroscopic Materials’’, Transactions of the ASAE, 3:109-113.
- 8-) Chhinman, M. S. (1984). Evaluation of selected mathematical models for describing thin layer drying of in-shell pecans. *Transactions of the ASAE*, 27, 610-615.
- 9-) Cihan A., Hacıhafızoğlu O., (1995) ‘‘Çeltiğin Kurutulmasının Optimum Şartlarının Araştırılması ‘’ Seminer Bildirileri, Balıkesir.
- 10-) Cihan A., Hacıhafızoğlu O., Korkmaz C., (2006)’‘Drying Kinetics Of A Thin-Layer Maize’’, 13 th World Congress Of Food Science Technology.
- 11-) Cihan A., Kahveci K., Hacıhafızoğlu O., Lima A. G. B. (2008) ‘‘A Diffusion based model for intermittent drying of rough rice’’ *Heat Mass Transfer* 44:905-911.
- 12-) Diamante, L. M., & Munro, P. A. (1993). , ‘‘Mathematical modeling of the thin layer solar drying of sweet potato slices’’, *Solar Energy*, 51, 271-276.
- 13-) Doymaz I., Pala, M.,(2003) ‘‘ The thin layer drying characteristics of corn’’. *Journal of Food Engineering*, 60, 125-130.
- 14-) Hacıhafızoğlu O., (1995) ‘‘Çeltik Kurutmada Optimizasyon’’, Yüksek Lisans Tezi, Trakya Üniversitesi, Edirne.

- 15-) Hacıhafızoğlu O., (2005), ‘‘Çeltiğin Kuruma Davranışının Teorik Olarak İncelenmesi ve Sonuçların Elipsoid Modele Uygulanması’’, Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi’’, İstanbul.
- 16-) Hacıhafızoğlu O., Cihan A., Korkmaz C., (2007) ‘‘Mısırın Kuruma Davranışının Değişik Teorik Modellerle Simülasyonu’’, ULIBTK’07 16.Ulusal Isı Bilimi ve Tekniği Kongresi, Kayseri.
- 17-) Henderson, S. M. (1974). Progress in developing the thin-layer drying equation. Transactions of the ASAE, 17, 1167-1168.
- 18-) Kahveci, K. and Cihan, A., (2007) Chapter1: Transport Phenomena During Drying of 163: Focus on Food Engineering Research and–Food Materials, pp 13 Developments. Ed. Pletney, V.N., Nova Science, New York.
- 19-) Karaaslan S., Erdem T., (2009)‘‘ Semizotunun Mikrodalga ile Kuruma Karakteristiklerinin İncelenmesi ve Uygun Kuruma Modelinin Belirlenmesi’’ 25. Tarımsal Mekanizasyon Ulusal Kongresi, Isparta.
- 20-) Karabaş D, Kılıç E, Karababa E.(2002) ‘‘Mısır çerezi üretimi’’. Hububat Ürünleri Teknolojisi Kongre ve Sergisi 3–4 Ekim, Gaziantep.
- 21-) Kassem, A. S. (1998).’’Comparative studies on thin layer drying models for wheat’’. 13th international congress on agricultural engineering 2-6 February, vol. 6, Morocco.
- 22-) Kırtok Y., (1998) ‘‘Mısır Üretimi ve Kullanımı’’, Kocaoluk Basım ve Yayınevi, İstanbul.
- 23-) Korkmaz C., (2007) ‘‘Mısırın Kuruma Davranışının Değişik Teorik Modellerle Simülasyonu’’, Yüksek Lisans Tezi, Trakya Üniversitesi, Edirne.
- 24-) Krokida, M.K., Karathanos, V.T., Maroulis, Z.B.,Marinos-Kouris D., (2003) ‘‘Drying Kinetics Some Vegetables’’, Journal of Food Engineering, 59, 391-403.
- 25-) Kunze, O. R. ve Calderwood, D.L., (1985), ‘‘Rough Rice drying’’, In Rice Chemistry and Technology, B. O. Juliano ed. Am. Assn. Of Cereal Chemists, St, Paul, MN.
- 26-) MEGEP (Mesleki Eğitim Ve Öğretim Sisteminin Güçlendirilmesi Projesi), ‘‘ Sebzeleri Kurutma’’, Ankara, 2007.
- 27-) Midilli, A., Küçük, H., & Yapar, Z. (2002). A new model for single layer drying. Drying Technology, 20(7), 1503-1513.

- 28-) Noomharm, A., Verma, L.R., (1986b) ‘‘Deep-Bed Rice Drying Simulation’’, Engineering, University of Canterbury, New Zealand.
- 29-) O’Callaghan, J. R., Menzies, D. J., & Bailey, P. H. (1971).’’Digital simulation of agricultural dryer performance’’. Journal of Agricultural Engineering Research, 16(3), 223-244.
- 30-) Steffe, J.F., Singh, R. P., Bakshi, A.S.(1978.),’’Influence of Tempering Time and Cooling on Rice Milling Yields Moisture Removal’’ .Uniersity of California Dept. Of Agricultural Engineering.
- 31-) Steffe, J. F. ve Singh, R. P. ve Miller G. E., (1980b), ‘‘Harvest, Drying and Storage of Rough Rice’’, In Rice Production and Utilization. B. S. Luh. AVI Pub. Co. Inc. Westport CT.
- 32-) Simmonds, W. H. C., Ward, G. T. ve McEwen, E., (1953), ‘‘The Drying of Wheat Grain. I. The Mechanism of Drying’’, Transactions of the Inst. Chem. Eng.
- 33-) Taşdan, K., (2005) ‘‘Türkiye Mısır Piyasası’’, Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi, Adana.
- 34-) Sharaf-Elden, Y. I., Blaisdell, J. L., & Hamdy, M. Y. (1980). A model of ear corn drying. Transactions of the ASAE, 5, 1261-1265.
- 35-) Thompson, T.L., Peart, R.M., Foster, G.H., (1968) ‘‘Mathematical simulation of corn drying-A New Model’’.Trans.ASAE, 1, 4, 582-586.
- 36-) Verma, L. R., Bucklin, R. A., Endan, J. B., & Wratten, F. T. (1985). Effects of drying air parameters on rice drying models. *Trans. ASAE*, 296-301.
- 37-) Wang, C. Y., & Singh, R. P. (1978). A thin layer drying equation for rough rice. ASAE paper, No. 78-3001, St. Joseph, MI, USA.
- 38-) Yılmaz S., Doğan H.,(2001) ‘‘ Güneş Enerjili Nem Kontrollü Kereste Kurutma Sistem Tasarımı ‘‘ Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu ve Sergisi, Kayseri.
- 39-) Zaman, M.A., Bala, B.K., (1989) ‘‘Thin-layer solar drying of rough rice’’, Solar Energy, 42, 167-71.