T.C
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ALABALIĞIN YENİ TİP GÜNEŞLİ KURUTUCUDA KURUTULMASINDA ISI VE KÜTLE TRANSFERİ

DOKTORA TEZİ

Yusuf BİLGİÇ

(07220203)

Anabilim Dalı: Makine Mühendisliği

Programı: Termodinamik

Danışman: Prof.Dr.Cengiz YILDIZ

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih: 27 Ocak 2014

OCAK-2014

T.C
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ALABALIĞIN YENİ TİP GÜNEŞLİ KURUTUCUDA KURUTULMASINDA ISI VE KÜTLE TRANSFERİ

DOKTORA TEZİ

Yük. Müh. Yusuf BİLGİÇ

(07220203)

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 27 Ocak 2014
Tezin Savunulduğu Tarih : 24 Şubat 2014

Tez Danışmanı : **Prof. Dr. Cengiz YILDIZ (F.Ü)**
Diğer Jüri Üyeleri : **Prof. Dr. Yaşar BİÇER (F.Ü)**
Prof. Dr. Mehmet ESEN (F.Ü)
Prof. Dr. Aydın DURMUŞ (B.Ü)
Yrd. Doç. Dr. Celal SARSILMAZ (F.Ü)

Şubat-2014

ÖNSÖZ

Bu çalışmamda, bilgi ve tecrübelerinden yaralandığım, her türlü desteği veren Danışman Hocam Prof. Dr. Cengiz YILDIZ'a, tez izleme jürimde bulunan Prof.Dr. Yaşar BİÇER'e ve Prof. Dr. Mehmet ESEN'e teşekkürlerimi sunarım.

Deney düzeneğinin kurulmasında ve montajlanması aşamasında bana destek veren Arş.Gör. İbrahim KOCABAŞ'a, Arş.Gör. Gökcen AKGÜN'e , Makine Mühendisi Tuncay ÇAKIR ve Volkan MERCAN'a , elektrik tesisatının kurulması ve ayarlanmasında yardımlarından dolayı arkadaşım Elektrik Öğretmeni İrfan TANGOBAY'a , çizimlerin yapılmasında yardım ve destek aldığım Arş.Gör. İ. Hakkı ŞANLITÜRK'e, teşekkürlerimi sunarım.

Bu tez, M.F.11.37 nolu proje kapsamında Fırat Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi (FÜBAB) tarafından desteklenmiştir. Desteklerinden dolayı FÜBAB'a teşekkür ederiz.

Yusuf BİLGİÇ
ELAZIĞ 2014

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖNSÖZ I
İÇİNDEKİLER II
ÖZET VI
SUMMARY VII
ŞEKİLLER LİSTESİ VIII
TABLOLAR LİSTESİ XVI
SEMBOLLER LİSTESİ XVII
1. GİRİŞ 1
1.1. Literatür Araştırması 3
1.2. Su Ürünleri İşleme Teknolojisi 14
1.2.1. Su Ürünlerini İşlemede Ön İşlemler Teknolojisi 15
1.2.2. Su Ürünlerinin Muhafaza Teknikleri 16
1.3. Güneş Enerjisi 17
1.3.1. Güneş Enerjisinin Avantajları 18
1.3.2. Güneş Enerjisinin Dezavantajları 18
1.3.3. Güneş Enerjisinin Kullanım Alanları 18
1.3.4. Dünyanın Güneş Enerjisi Potansiyeli 19
1.3.5 Türkiye'nin Güneş Enerjisi Potansiyeli 20
2. GÜNEŞ KOLLEKTÖRLERİ 22
2.1. Düzlemsel Güneş Kollektörleri 23
2.1.1. Saydam Örtü 23
2.1.2. Yutucu Yüzey 24
2.1.3. Yalıtım 25
2.1.4. Kolektör kasası 26
2.2. Birinci Yasa (Enerji) Analizi 26
2.3. İkinci Yasa (Ekserji) Analizi 27
3.KURUTMA VE KURUTMA SİSTEMLERİ 29
3.1. Kurumanın Statiği 29
3.2. Kurumanın Kinetiği 30
3.3. İnce Tabaka Kuruma Kuramı 32

Sayfa No

3.3.1. Sabit Hızda Kuruma Safhası 32
3.3.2. Azalan Hızla Kuruma Evresi 34
3.4. Kalın Tabaka Kuruma Kuramı 38
3.5. Kurutma Modelleri 38
3.6. Gıdaların Kurutulması Sırasında Meydana Gelen Fiziksel Değişiklikler 38
3.7. Gıdaların Kurutulması Sırasında Meydana Gelen Kimyasal ve Diğer Değişmeler 39
3.8. Kurutma Sistemleri 40
3.9. Kurutucu Tipleri 41
3.9.1 Kabin Tipi Kurutucular 41
3.9.2 Tünel Tipi Kurutucular 42
3.9.3 Bantlı Kurutucular 43
3.9.4. Akışkan Yatak Kurutucular 43
3.9.5. Diğer Kurutma Sistemleri 44
3.10. Kurutmayı Etkileyen Faktörler 44
3.10.1.Kurutma Havasının Sıcaklığı 44
3.10.2. Kurutma Havasının Bağıl Nemi 45
3.10.3.Kurutma Havasının Hızı 45
3.10.4. Malzemenin Kurutma Esnasında İstifi 45
3.10.5. Malzemenin Cinsi Ve Kalınlığı 45
3.10.6. Malzemedeki Nem Miktarı 46
3.10.7. Buharlaşma Yüzeyinin Büyüklüğü 46
3.10.8. Kurutucunun Isı Yalıtımı 46
3.10.9. Kurutucunun Kapasitesi 46
3.11. Kurutucu Seçimi 46
3.12. Güneş Enerjili Kurutma Sistemleri 47
3.12.1. Açık Güneşte Kurutma 48
3.12. Kontrollü Kurutma 48
3.12.1. Pasif Tip Kurutucular 48
3.12.1.1. Kabin Tipi Kurutucular 49
3.12.1.2 Sera Tipi Kurutucular 50
3.12.2 Aktif Tip Kurutucular 51
3.12.2.1 İntegral Tip Kurutucular 51

Sayfa No

3.12.2.2 Dağıtılmış Tip Kurutucular 52
3.12.2.3 Karışık Tip Kurutucular 53
4. MATERYAL METOT 55
4.1. Deney Düzeneğinin Tanıtılması 55
4.1.1.Güneş Enerjili Hava Isıtıcısı 55
4.1.2.Kurutma Odası 56
4.1.3. Hava Kanalı 58
4.1.4. Ölçme ve Kontrol Cihazları 58
4.1.4.1.Kontrol Cihazları 58
4.1.4.2. Ölçme Cihazları ve Yöntemleri 59
4.1.4.2.1. Sıcaklık Ölçümü 59
4.1.4.2.2. Güneş Işınım Ölçümü 59
4.1.4.2.3. Rüzgar Hızının Ölçümü 60
4.1.4.2.4. Kanal iç hız ölçümü 60
4.1.4.2.5. Nem Ölçümü 60
4.1.4.2.6. Kütle Ölçümü 60
4.1.4.2.7. Elektrik Enerji Sarfiyatının Ölçümü 61
4.2. Deneyler 61
4.2.1. Kollektör Deneyi 61
4.2.2. Kurutma Deneyi 63
4.2.3. Kurutulacak Alabalığın Hazırlanması 66
4.2.4. Alabalığın Denge Nem Oranın Belirlenmesi 68
4.3. Hata Analizi 68
4.3.1. Sıcaklık Ölçümünde Yapılan Hatalar 69
4.3.1.2. Zaman Ölçümünden Kaynaklanan Hata 69
4.3.1.3. Kanallardaki Hız Ölçümündeki Hata 70
4.3.1.4. Rüzgar Hızı Ölçümündeki Hata 70
4.3.1.5. Kütle Kayıplarının Ölçümünden Kaynaklanan Hata 70
4.3.1.6. Bağıl Nem Ölçümünden Kaynaklı Hata 70
4.3.1.7. Işınım Ölçümünden Kaynaklı Hata 71
4.3.1.8. Diğer Hatalar 71
5. BULGULAR VE İRDELEME 73

Sayfa No

5.1. Kolektör Verilerinin Analizi 73
5.2. Kurutma İşlemi İle İlgili Deney Sonuçları 90
5.2.1. Güneş Enerjili Kurutma Deneyleri 91
5.2.1.1 Güneş Enerjili Kurutmada Balığın Boyutunun Kurutma Üzerindeki Etkisi 102
5.2.2. Elektrik Enerjisi Destekli Güneş Enerjili Kurutma Deneyleri 115
5.2.2.1 Elektrik Enerjisi Destekli Güneş Enerjili Kurutucuda Balığın Boyutunun Kurutma Üzerindeki Etkisi 130
5.3. Elektrik Sarfiyatının Belirlenmesi 142
5.4.Difüzyon katsayısının ve Aktivasyon Enerjisinin Belirlenmesi 145
5.5. Matematiksel Modelleme 150
5.6 Kurutucunun Enerji Analizi 177
5.7. Ekserji Analizi 179
6. SONUÇ VE ÖNERİLER 181
KAYNAKLAR 182
ÖZGEÇMİŞ 188

ÖZET

Bu çalışmada güneş enerjili kurutucuda alabalığın kurutulması deneysel olarak incelenmiştir. Çalışma üç aşamada gerçekleştirilmiştir. İlk önce güneş enerjili havalı kolektörün deneysel olarak incelenmiştir. Kolektörlerin incelemesi yapılırken 5 farklı tip kolektör kullanılmıştır. Termodinamiğin I. ve II. Kanuna göre verimleri incelenmiştir. I. Kanun verimi en yüksek olan kolektör kurutma işleminde kullanılmıştır. Kurutma işlemi 2,3 ve 4 m/s'lik hava hızlarında yapılmıştır. Daha sonraki aşamada hem hız hem de sıcaklık sabitlenmiştir. Sıcaklığı sabitlemek için elektrikli bir ısıtıcı kullanılmıştır. Deneyler 3,4 ve 5 m/s'lik sabit hızlarda; 50,60 ve 70 ^{o}C'lik sabit sıcaklıkta yapılmıştır.

Deneylerde kuruma havasının hızının, sıcaklığının, alabalığın tuzda bekletilmesinin ve balığın boyutunun etkisi incelenmiştir.

Kurutma deneyleri sonucuna göre nem içeriği, boyutsuz nem oranı ve kuruma hızları hesaplanmıştır. Bu sonuçlar grafiklere aktarılmıştır. Kuruma eğrilerinin matematiksel modelleri yapılmıştır. Her bir durum için difüzyon katsayıları hesaplanmıştır. Son olarak da kurutucunun ekserji analizi yapılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Güneş Enerjisi, Kurutma, Balık Kurutma

ABSTRACT

Heat and Mass Transfer of The Drying Process of Trout in a New Type Solar Drier

In this study, drying process of a trout in a solar drier was experimentally investigated. The study was carried out in three stages. At the beginning, solar powered air collector was experimentally analysed. In the analysis, five different types of the collectors were taken into consideration. The efficiencies of the collectors were estimated according to first and second laws of thermodynamics. The collector, having the highest efficiency regarding to first law, was chosen for the drying process. Experiments were conducted at the air velocities of 2.3 and 4m/s for drying process. In the next steps, both the temperature and velocity were kept constant. An electrical resistance was put account in order to stabilize the speed. Experiments were accomplished at the constant velocities of 3.4 and 5m/s, constant temperatures of 50, 60 and 70^{o}C.

Effects of the air speed, temperature, hold of the trout in the salt and trout sizes on the drying process were researched.

Moisture content, dimensionless humidity and drying velocity were calculated with respect to results obtained from drying experiments and the data were turned into graphical representations. Mathematical models were proposed to drying curves and diffusion coefficients were computed for each case. At the final stage, the exergy analysis of the drier was evaluated.

Keyword: Solar Energy, Drying, Fish Drying

ŞEKİLLER LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 1.1 Türkiye'de global radyasyon değeri (kWh/m^2gün) aylara göre değişimi 20
Şekil 1.2 Türkiye'de güneşlenme süresinin (saat) aylara göre değişimi 21
Şekil 3.1. Kurutma prosesinde eş zamanlı ısı ve kütle transferi 29
Şekil 3.2. Sorpsiyon eğrisinin kurutmanın statiği açısından anlamı 30
Şekil 3.3. Kurumanın kinetik eğrileri 31
Şekil 3.4. Kuruyan materyalde oluşan izotermal ve izopotansiyel çizgileri 32
Şekil 3.5. Kabin kurutucu 42
Şekil 3.6. Paralel çapraz akışlı kabin tipi kurutuculara ait şematik kesitler 42
Şekil 3.7 Tünel kurutucu 43
Şekil 3.8. Akışkan yataklı kurutucu 44
Şekil 3.9 Güneş enerjili kurutucuların sınıflandırılması 47
Şekil 3.10. Pasif kabin tip kurutucu 49
Şekil 3.11. Ters emici plakalı pasif kabin tip kurutucu 50
Şekil 3.12. Çatı Tipi Bir Kurutucu 50
Şekil 3.13. Doğal sirkülasyonlu sera tipi kurutucular a)çadır tipi b)ev tipi c)kubbe tip 51
Şekil 3.14. Aktif sera tipi bir kurutucu 52
Şekil 3.15. Dağıtılmış tip bir kurutucu 52
Şekil 3.16. Dağıtılmış tip depolamalı bir kurutucu 53
Şekil 3.17. Karışık tip kurutucu 54
Şekil 3.18 Elektrik ısıtıcı destekli güneş enerjili kurutucu 54
Şekil 4.1. V tipi Yüzey ve türbülans artırıcı eleman 56
Şekil 4.2. Kollektör tipleri 57
Şekil 4.3. Kolektör deney düzeneğinin şematik gösterimi 62
Şekil 4.4. Kolektör deney düzeneği 62
Şekil 4.5. Güneş enerjili kurutma deney düzeneği (ısıtıcısız) 64
Şekil 4.6. Elektrikli ısıtıcı 64
Şekil 4.7. Kurutma deney düzeneği 65
Şekil 4.8. Güneş enerjili kurutma deney düzeneği (ısıtıcılı) 65
Şekil 4.9 Balığın işleme aşamaları 67
Şekil 5.1. Işınım değerlerinin günün saatlerine göre değişimi 73

Sayfa No

Şekil 5.2. m=0,02 kg/s debi için faydalı ısının zamanla değişimi 74
Şekil 5.3 m=0,04 kg/s debi için faydalı ısının zamanla değişimi 75
Şekil 5.4 m=0,06 kg/s debi için faydalı ısının zamanla değişimi 75
Şekil 5.5 Tip-III için faydalı ısının zamanla değişimi 76
Şekil 5.6 m=0,02 kg/s debi için I.kanun veriminin zamanla değişimi 77
Şekil 5.7 m=0,04 kg/s debi için I.kanun veriminin zamanla değişimi 77
Şekil 5.8 m=0,06 kg/s debi için I.kanun veriminin zamanla değişimi 78
Şekil 5.9 Tip-III için I.kanun veriminin zamanla değişimi 78
Şekil 5.10 m=0,02 kg/s debi için II.kanun veriminin zamanla değişimi 79
Şekil 5.11 m=0,04 kg/s debi için II.kanun veriminin zamanla değişimi 80
Şekil 5.12 m=0,06 kg/s debi için II.kanun veriminin zamanla değişimi 80
Şekil 5.13 Tip-III için II.kanun veriminin zamanla değişimi 81
Şekil 5.14 m=0,02 kg/s için Boyutsuz ekserji oranın zamanla değişimi 82
Şekil 5.15 m=0,04 kg/s için boyutsuz ekserji oranın zamanla değişimi 82
Şekil 5.17 Tip-III için Boyutsuz ekserji oranın zamanla değişimi 83
Şekil 5.16 m=0,06 kg/s için Boyutsuz ekserji oranın zamanla değişimi 83
Şekil 5.18 m=0,02 kg/s debi için II.kanun veriminin zamanla değişimi 84
Şekil 5.19 m=0,04 kg/s debi için II.kanun veriminin zamanla değişimi 85
Şekil 5.20 m=0,06 kg/s debi için II.kanun veriminin zamanla değişimi 85
Şekil 5.21 Tip-III için II.kanun veriminin zamanla değişimi 86
Şekil 5.22 m=0,02 kg/s için Boyutsuz ekserji oranın zamanla değişimi 87
Şekil 5.23 m=0,04 kg/s için Boyutsuz ekserji oranın zamanla değişimi 87
Şekil 5.24 m=0,06 kg/s için Boyutsuz ekserji oranın zamanla değişimi 88
Şekil 5.25 Tip-III için Boyutsuz ekserji oranın zamanla değişimi 88
Şekil 5.26 I. Kanun veriminin debi ile değişimi 89
Şekil 5.27 II.Kanun verimin debi ile değişimi 89
Şekil 5.29. Işınım değerlerinin zamana göre değişimi 91
Şekil 5.30 Havanın nem miktarının zamanla değişimi (V=2 m/s) 92
Şekil 5.31 Havanın nem miktarının zamanla değişimi (V=3 m/s) 92
Şekil 5.32 Havanın Nem miktarının zamanla değişimi (V=4 m/s) 93
Şekil 5.33 Sıcaklıkların zamanla değişimi (V=2 m/s) 94

Sayfa No

Şekil 5.34 Sıcaklıkların zamanla değişimi (V=3 m/s)..... 94
Şekil 5.35 Sıcaklıkların zamanla değişimi (V=4 m/s)..... 95
Şekil 5.36. Tuzsuz numune için nem miktarının (y.b) kuruma zamanına göre değişimi..... 96
Şekil 5.37. Tuzsuz numune için nem miktarının (k.b) kuruma zamanına göre Değişimi..... 97
Şekil 5.38 Tuzsuz numune için boyutsuz nem oranın kuruma zamanına göre Değişimi..... 98
Şekil 5.39 Tuzsuz numune için kuruma zamanın kuruma hızına göre değişimi..... 98
Şekil 5.40 Tuzsuz numune için kuruma hızının boyutsuz nem oranına göre değişimi.. 99
Şekil 5.41. Tuzlu numune için nem miktarının (y.b) kuruma zamanına göre değişimi. 100
Şekil 5.42. Tuzlu numune için nem miktarının (k.b) kuruma zamanına göre değişimi. 100
Şekil 5.43 Tuzlu numune için boyutsuz nem oranın kuruma zamanına göre değişimi.. 101
Şekil 5.44. Tuzlu numune için kuruma zamanın kuruma hızına göre değişimi..... 101
Şekil 5.45. Tuzlu numune için kuruma hızının boyutsuz nem oranına göre değişimi ... 102
Şekil 5.46. Açık ortamda kurutulan farklı boyutlardaki tuzsuz balık için nem miktarının (y.b) kuruma zamanına göre değişimi 103
Şekil 5.47. Açık ortamda kurutulan farklı boyutlardaki tuzsuz balık için nem miktarının (k.b) kuruma zamanına göre değişimi..... 103
Şekil 5.48 Açık ortamda kurutulan farklı boyutlardaki tuzsuz balık için boyutsuz nem oranın kuruma zamanına göre değişimi 104
Şekil 5.49 Açık ortamda kurutulan farklı boyutlardaki tuzsuz balık için kuruma zamanın kuruma hızına göre değişimi..... 104
Şekil 5.50 Açık ortamda kurutulan farklı boyutlardaki tuzsuz balık için kuruma hızının boyutsuz nem oranına göre değişim grafiği 105
Şekil 5.51. Açık ortamda kurutulan farklı boyutlardaki tuzlu balık için nem miktarının (y.b) kuruma zamanına göre değişim grafiği..... 106
Şekil 5.52 Açık ortamda kurutulan farklı boyutlardaki tuzlu balık için nem miktarının (k.b) kuruma zamanına göre değişim grafiği..... 106
Şekil 5.53 Açık ortamda kurutulan farklı boyutlardaki tuzlu balık için boyutsuz nem oranın kuruma zamanına göre değişimi..... 107

Sayfa No

Şekil 5.54 Açık ortamda kurutulan farklı boyutlardaki tuzlu balık için kuruma zamanın kuruma hızına göre değişimi 107
Şekil 5.55 Açık ortamda kurutulan farklı boyutlardaki tuzlu balık için kuruma hızının boyutsuz nem oranına göre değişim grafiği 108
Şekil 5.56. Kurutucuda kurutulan farklı boyutlardaki tuzsuz balık için nem miktarının (y.b) kuruma zamanına göre değişim grafiği 109
Şekil 5.57. Kurutucuda kurutulan farklı boyutlardaki tuzsuz balık için nem miktarının (k.b) kuruma zamanına göre değişim grafiği 109
Şekil 5.58 Kurutucuda kurutulan farklı boyutlardaki tuzsuz balık için boyutsuz nem oranın kuruma zamanına göre değişimi 110
Şekil 5.59 Kurutucuda kurutulan farklı boyutlardaki tuzsuz balık için kuruma zamanın kuruma hızına göre değişimi 110
Şekil 5.60 Kurutucuda kurutulan farklı boyutlardaki tuzsuz balık için kuruma hızının boyutsuz nem oranına göre değişim grafiği 111
Şekil 5.61. Kurutucuda kurutulan farklı boyutlardaki tuzlu balık için nem miktarının (y.b) kuruma zamanına göre değişimi 112
Şekil 5.62. Kurutucuda kurutulan farklı boyutlardaki tuzlu balık için nem miktarının (k.b) kuruma zamanına göre değişimi 112
Şekil 5.63 Kurutucuda kurutulan farklı boyutlardaki tuzlu balık için boyutsuz nem oranın kuruma zamanına göre değişimi 113
Şekil 5.64 Kurutucuda kurutulan farklı boyutlardaki tuzlu balık için kuruma hızının boyutsuz nem oranına göre değişimi 113
Şekil 5.65 Kurutucuda kurutulan farklı boyutlardaki tuzlu balık için kuruma zamanın kuruma hızına göre değişimi 114
Şekil 5.66. Işınım değerlerinin zamana göre değişimi (T=50 ^{o}C için) 116
Şekil 5.67. Işınım değerlerinin zamana göre değişimi (T=60 ^{o}C için) 116
Şekil 5.68. Işınım değerlerinin zamana göre değişimi (T=70 ^{o}C için) 117
Şekil 5.69. Sabit hızda, farklı sıcaklıklarda tuzlu balık için nem miktarının (y.b) kuruma zamanına göre değişim grafiği (v= 3 m/s) 118
Şekil 5.70. Sabit hızda, farklı sıcaklıklarda tuzlu balık için nem miktarının (y.b) kuruma zamanına göre değişim grafiği (v= 4 m/s) 119

Sayfa No

Şekil 5.71. Sabit hızda, farklı sıcaklıklarda tuzlu balık için nem miktarının (y.b) kuruma zamanına göre değişim grafiği (v= 5 m/s)..... 119
Şekil 5.72. Sabit hızda, farklı sıcaklıklarda tuzlu balık için nem miktarının (k.b) kuruma zamanına göre değişim grafiği (v= 3 m/s)..... 120
Şekil 5.73. Sabit hızda, farklı sıcaklıklarda tuzlu balık için nem miktarının (k.b) kuruma zamanına göre değişim grafiği (v= 4 m/s)..... 120
Şekil 5.74. Sabit hızda, farklı sıcaklıklarda tuzlu balık için nem miktarının (k.b) kuruma zamanına göre değişim grafiği (v= 5 m/s)..... 121
Şekil 5.75. Sabit hızda, farklı sıcaklıklarda tuzlu balık için boyutsuz nem oranın kuruma zamanına göre değişimi (v= 3 m/s) 122
Şekil 5.76. Sabit hızda, farklı sıcaklıklarda tuzlu balık için boyutsuz nem oranın kuruma zamanına göre değişimi (v= 4 m/s) 122
Şekil 5.77. Sabit hızda, farklı sıcaklıklarda tuzlu balık için boyutsuz nem oranın kuruma zamanına göre değişimi (v= 5 m/s) 123
Şekil 5.78 Sabit hızda, farklı sıcaklıklarda tuzlu balık için kuruma zamanın kuruma hızına göre değişimi (v= 3 m/s) 124
Şekil 5.79 Sabit hızda, farklı sıcaklıklarda tuzlu balık için kuruma zamanın kuruma hızına göre değişimi (v= 4 m/s) 124
Şekil 5.80 Sabit hızda, farklı sıcaklıklarda tuzlu balık için kuruma zamanın kuruma hızına göre değişimi (v= 5 m/s)..... 125
Şekil 5.81 Sabit hızda, farklı sıcaklıklarda tuzlu balık için kuruma hızının boyutsuz nem oranına göre değişim grafiği (v= 3 m/s) 126
Şekil 5.82 Sabit hızda, farklı sıcaklıklarda tuzlu balık için kuruma hızının boyutsuz nem oranına göre değişim grafiği (v= 4 m/s) 126
Şekil 5.83 Sabit hızda, farklı sıcaklıklarda tuzlu balık için kuruma hızının boyutsuz nem oranına göre değişim grafiği (v= 5 m/s) 127
Şekil 5.84. Sabit hızda, farklı sıcaklıklarda tuzsuz balık için nem miktarının (y.b) kuruma zamanına göre değişim grafiği (v= 4 m/s)..... 128
Şekil 5.85. Sabit hızda, farklı sıcaklıklarda tuzsuz balık için nem miktarının (k.b) kuruma zamanına göre değişim grafiği (v= 4 m/s)..... 128
Şekil 5.86. Sabit hızda, farklı sıcaklıklarda tuzsuz balık için boyutsuz nem oranın kuruma zamanına göre değişimi (v= 4 m/s) 129

Sayfa No

Şekil 5.87 Sabit hızda, farklı sıcaklıklarda tuzsuz balık için kuruma zamanın kuruma hızına göre değişimi (v= 4 m/s) 129
Şekil 5.88 Sabit hızda, farklı sıcaklıklarda tuzsuz balık için kuruma hızının boyutsuz nem oranına göre değişim grafiği (v= 4 m/s) 130
Şekil 5.89. Sabit hızda, farklı sıcaklıklarda 1/2 boyutundaki tuzlu balık için nem miktarının (y.b) kuruma zamanına göre değişim grafiği (v= 3 m/s) 131
Şekil 5.90. Sabit hızda, farklı sıcaklıklarda 1/4 boyutundaki tuzlu balık için nem miktarının (y.b) kuruma zamanına göre değişim grafiği (v= 3 m/s) 132
Şekil 5.91. Sabit hızda, farklı sıcaklıklarda 1/8 boyutundaki tuzlu balık için nem miktarının (y.b) kuruma zamanına göre değişim grafiği (v= 3 m/s) 132
Şekil 5.92. Sabit hızda, farklı sıcaklıklarda 1/2 boyutundaki tuzlu balık için nem miktarının (k.b) kuruma zamanına göre değişim grafiği (v= 3 m/s) 133
Şekil 5.93. Sabit hızda, farklı sıcaklıklarda 1/4 boyutundaki tuzlu balık için nem miktarının (k.b) kuruma zamanına göre değişim grafiği (v= 3 m/s) 133
Şekil 5.94. Sabit hızda, farklı sıcaklıklarda 1/8 boyutundaki tuzlu balık için nem miktarının (k.b) kuruma zamanına göre değişim grafiği (v= 3 m/s) 134
Şekil 5.95. Sabit hızda, farklı sıcaklıklarda 1/2 boyutundaki tuzlu balık için boyutsuz nem oranın kuruma zamanına göre değişimi (v= 3 m/s) 134
Şekil 5.96. Sabit hızda, farklı sıcaklıklarda 1/4 boyutundaki tuzlu balık için boyutsuz nem oranın kuruma zamanına göre değişimi (v= 3 m/s) 135
Şekil 5.97. Sabit hızda, farklı sıcaklıklarda 1/8 boyutundaki tuzlu balık için boyutsuz nem oranın kuruma zamanına göre değişimi (v= 3 m/s) 135
Şekil 5.98 Sabit hızda, farklı sıcaklıklarda 1/2 boyutundaki tuzlu balık için kuruma139 zamanın kuruma hızına göre değişimi (v= 3 m/s) 136
Şekil 5.99 Sabit hızda, farklı sıcaklıklarda 1/4 boyutundaki tuzlu balık için kuruma zamanın kuruma hızına göre değişimi (v= 3 m/s) 136
Şekil 5.100 Sabit hızda, farklı sıcaklıklarda 1/8 boyutundaki tuzlu balık için kuruma zamanın kuruma hızına göre değişimi (v= 3 m/s) 137
Şekil 5.101 Sabit hızda, farklı sıcaklıklarda 1/2 boyutundaki tuzlu balık için kuruma hızının boyutsuz nem oranına göre değişim grafiği (v= 3 m/s) 137
Şekil 5.102 Sabit hızda, farklı sıcaklıklarda 1/4 boyutundaki tuzlu balık için kuruma hızının boyutsuz nem oranına göre değişim grafiği (v= 3 m/s) 138

Sayfa No

Şekil 5.103 Sabit hızda, farklı sıcaklıklarda 1/8 boyutundaki tuzlu balık için kuruma hızının boyutsuz nem oranına göre değişim grafiği (v= 3 m/s) 138
Şekil 5.104 Sabit hızda, farklı sıcaklıklarda 1/2 boyutundaki tuzlu balık için nem miktarının (y.b) kuruma zamanına göre değişim grafiği (v= 3 m/s) 139
Şekil 5.105. Sabit hızda, farklı sıcaklıklarda 1/2 boyutundaki tuzlu balık için nem miktarının (k.b) kuruma zamanına göre değişim grafiği (v= 3 m/s) 140
Şekil 5.106. Sabit hızda, farklı sıcaklıklarda 1/2 boyutundaki tuzlu balık için boyutsuz nem oranın kuruma zamanına göre değişimi (v= 3 m/s) 140
Şekil 5.107 Sabit hızda, farklı sıcaklıklarda 1/2 boyutundaki tuzlu balık için kuruma zamanın kuruma hızına göre değişimi (v= 3 m/s) 141
Şekil 5.108 Sabit hızda, farklı sıcaklıklarda 1/2 boyutundaki tuzlu balık için kuruma hızının boyutsuz nem oranına göre değişim grafiği (v= 3 m/s) 141
Şekil 5.109 Kullanılan elektrik enerjisinin zamanla değişimi (V=3 m/s) 143
Şekil 5.110 Kullanılan elektrik enerjisinin zamanla değişimi (V=4 m/s) 144
Şekil 5.111 Kullanılan elektrik enerjisinin zamanla değişimi (V=5 m/s) 144
Şekil 5.112. Toplam harcanan Enerjinin Hız ile değişimi 145
Şekil 5.113 ln(MR) –Kuruma süresi değişimi 146
Şekil 5.114 ln (Deff) değerinin Sıcaklıkla değişimi (V=3 m/s) 148
Şekil 5.115 ln (Deff) değerinin Sıcaklıkla değişimi (V=4 m/s) 148
Şekil 5.116 ln (Deff) değerinin Sıcaklıkla değişimi (V=5 m/s) 149
Şekil 5.117. Teorik değerin deneysel değerle değişimi (açık güneş, tuzsuz, model no:12) 169
Şekil 5.118. Teorik değerin deneysel değerle değişimi (V=2 m/s, tuzsuz, model no:13) 169
Şekil 5.119. Teorik değerin deneysel değerle değişimi (V=3 m/s, tuzsuz, model no:13) 170
Şekil 5.120. Teorik değerin deneysel değerle değişimi (V=4 m/s, tuzsuz, model no:12) 170
Şekil 5.121. Teorik değerin deneysel değerle değişimi (açık ortam, tuzlu, model no:14) 171
Şekil 5.122. Teorik değerin deneysel değerle değişimi (V=2 m/s, tuzlu, model no:10) 171

Sayfa No

Şekil 5.123. Teorik değerin deneysel değerle değişimi (V=3 m/s, tuzlu,, model no:12)..... 172
Şekil 5.124. Teorik değerin deneysel değerle değişimi (V=4 m/s, tuzlu, model no:11)..... 172
Şekil 5.125. Teorik değerin deneysel değerle değişimi (V=3 m/s, T= 50 ^{o}C, tuzlu, model no:10)..... 173
Şekil 5.126. Teorik değerin deneysel değerle değişimi (V=3 m/s, T= 60 ^{o}C, tuzlu, model no:10)..... 173
Şekil 5.127. Teorik değerin deneysel değerle değişimi (V=3 m/s, T= 70 ^{o}C, tuzlu, model no:9)..... 174
Şekil 5.128. Teorik değerin deneysel değerle değişimi (V=4 m/s, T= 50 ^{o}C, tuzlu, model no:9)..... 174
Şekil 5.129. Teorik değerin deneysel değerle değişimi (V=4 m/s, T= 60 ^{o}C, tuzlu, model no:9)..... 175
Şekil 5.130. Teorik değerin deneysel değerle değişimi (V=4 m/s, T= 70 ^{o}C, tuzlu, model no:9)..... 175
Şekil 5.131. Teorik değerin deneysel değerle değişimi (V=5 m/s, T= 50 ^{o}C, tuzlu, model no:10)..... 176
Şekil 5.132. Teorik değerin deneysel değerle değişimi (V=5 m/s, T= 60 ^{o}C, tuzlu, model no:10)..... 176
Şekil 5.133. Teorik değerin deneysel değerle değişimi (V=5 m/s, T= 70 ^{o}C, tuzlu, model no:12)..... 177
Şekil 5.128.EKO'nun zamanla değişimi..... 179
Şekil 5.129 Ekserji veriminin zamanla değişimi..... 180

TABLOLAR LİSTESİ

Sayfa No

Tablo 1.1 Yatay yüzeylere ulaşan günlük ortalama güneş radyasyonu miktarları..... 19

Tablo 4.1. Deneyler sırasında meydana gelen hata miktarları 72

Tablo 5.1 Kuruma süreleri 115

Tablo 5.2 Kuruma Süreleri..... 142

Tablo 5.3 Diffüzyon katsayıları..... 146

Tablo 5.4 İnce tabaka kurutma modelleri 151

Tablo 5.5. Kurutma modelleri (açık güneş, tuzsuz) 152

Tablo 5.6. Kurutma modelleri (V=2 m/s, tuzsuz) 153

Tablo 5.7. Kurutma modelleri (V=3 m/s, tuzsuz) 154

Tablo 5.8. Kurutma modelleri (V=4 m/s, tuzsuz) 155

Tablo 5.9. Kurutma modelleri (açık ortam, tuzlu) 156

Tablo 5.10. Kurutma modelleri (V=2 m/s, tuzlu) 157

Tablo 5.11. Kurutma modelleri (V=3 m/s, tuzlu) 158

Tablo 5.12. Kurutma modelleri (V=4 m/s, tuzlu) 159

Tablo 5.13. Kurutma modelleri (V=3 m/s, T=50 ^{o}C , tuzlu)..... 160

Tablo 5.14. Kurutma modelleri (V=3 m/s, T=60 ^{o}C , tuzlu)..... 161

Tablo 5.15. Kurutma modelleri (V=3 m/s, T=70 ^{o}C , tuzlu)..... 161

Tablo 5.16. Kurutma modelleri (V=4 m/s, T=50 ^{o}C , tuzlu)..... 161

Tablo 5.17. Kurutma modelleri (V=4 m/s, T=60 ^{o}C , tuzlu)..... 164

Tablo 5.18. Kurutma modelleri (V=4 m/s, T=70 ^{o}C , tuzlu)..... 165

Tablo 5.19. Kurutma modelleri (V=5 m/s, T=50 ^{o}C , tuzlu)..... 166

Tablo 5.20. Kurutma modelleri (V=5 m/s, T=60 ^{o}C , tuzlu)..... 167

Tablo 5.21. Kurutma modelleri (V=5 m/s, T=70 ^{o}C , tuzlu)..... 168

SEMBOLLER LİSTESİ

$\mathbf{Q_c}$	**:**	Faydalı ısı (W)
m	**:**	Kütlesel debi (kg/s)
$\mathbf{C_p}$	**:**	akışkanın özgül ısı (J/Kg^{o}C)
I	**:**	Işınım (W/m^2)
$\mathbf{A_c}$	**:**	Kollektör alanı (m^2)
T	:	Sıcaklık (oC)
Ex	:	Ekserji (W)
W	:	İş (W)
h	:	Entalpi
s	:	Entropi
p	:	basınç
M	:	Anlık kütle (gr)
Me	:	Denge kütlesi (gr)
Mo	:	Son kütle (gr)
$\mathbf{\eta_I}$	**:**	I. Kanun verimi
$\mathbf{\eta_{II}}$	**:**	II. Kanun verimi

1.GİRİŞ

Gıda maddelerinin uzun süre saklanması durumunda içerisinde bulunan su miktarına bağlı olarak mikrobiyolojik ve kimyasal bozulmalar oluşmaktadır. Bu durumu engelleyebilmek için farklı saklama yöntemleri kullanılmaktadır. Bu maddeleri saklarken su aktivitesinin durdurulması gerekmektedir. Kısa süreli olarak saklamak için kullanılan yöntemler dondurma veya soğutma işlemidir. Uzun süre saklama yöntemlerinin başında ise kurutma gelmektedir [1].

Kurutma, çeşitli yöntemler kullanılarak herhangi bir üründen suyun uzaklaştırılması işlemidir. Kurutma, genelde tarımsal ürünlerde uygulanan bir işlemdir. Aynı zamanda hayvansal ürünlerinde kurutulmasının eski bir yöntem olduğu bilinmektedir. Bununla birlikte kurutma tekstil, kağıt, kereste gibi birçok sanayi alanında yaygın bir şekilde kullanılmaktadır [1].

Ülkemiz üç tarafı denizlerle çevrilidir. Aynı zamanda iç bölgelerde ise bir çok akarsu ve göller bulunmaktadır. Bu nedenle su ürünleri yönünden bir çok ülkeye göre yeteri kaynağa sahiptir. Özellikle son yıllarda devlet teşviklerinin artmasıyla su ürünleri üretim çiftliklerinin sayısında önemli bir artış sağlanmıştır. Bu ürünler yurtiçi piyasasında tüketicilere arz edilmektedir. Aynı zamanda yurt dışı piyasasında da önemli bir ihraç malı durumuna gelmiştir. Bu nedenle ülke ekonomisinde önemli bir yer tutmaktadır. Bu çiftliklerin büyük bir kısmında balık üretilmektedir. İç bölgelerde kurulan çiftliklerde en fazla üretilen balık alabalıktır [2].

Su ürünlerindeki mikrobiyolojik ve kimyasal bozulma tarımsal ürünlerden daha hızlı gerçekleşmektedir. Su ürünlerinin üretildiği yerden tüketiciye ulaşılması için geçen sürede kullanılan başlıca saklama yöntemi düşük sıcaklıklarda dondurmaktır. Ancak bunun dışında kullanılan yöntemler de mevcuttur. Balığın dumanlanması, konserve haline getirilmesi ve kurtulması kullanılan diğer yöntemlerdir. Ülkemizde hayvansal ürünlerin kurutulması çok fazla kullanılan bir yöntem değildir. Ancak diğer ülkelerde çok fazla kullanılan ve rağbet gören bir yöntemdir [2].

Kurutma işlemi yapılırken enerji kaynağı olarak, direkt veya dolaylı olarak fosil yakıt ya da yenilenebilir enerji kaynakları kullanılmaktadır. Bu enerji kaynaklarından elde edilen elektrik enerjisinden ısı enerjisi elde edilerek yapılan kurutma işlemi dolaylı olarak kullanımdır. Direkt kullanım ise kurutma havasının sıcaklığını artırmak için bu enerji kaynaklarının direk olarak kullanılmasıdır. Bu enerji kaynakları aynı anda da kullanıldığı sistemlerde (hibrid) mevcuttur [3].

Günümüzde enerji ihtiyacının artması, fosil yakıtları çevreye olan olumsuz etkileri ve petrol fiyatlarındaki artışlardan dolayı kurutma ve benzeri işlemlerde enerji kaynağı olarak yenilenebilir enerji kaynaklarına olan ilgiyi artırmıştır. Bir sistemin sıcaklığını artırmak için kullanılan en fazla kullanılan yenilenebilir enerji kaynağı, güneş enerjisidir. Bu enerjinin sınırsız olması ve kullanılan sistemlerin maliyetinin düşük olması başlıca tercih nedenidir [4].

Bu çalışmada alabalığın uzun süre saklanabilmesi için güneş enerjisi ile kurutulması incelenmiştir. Yapılan deneysel çalışmalar üç kısımdan oluşmaktadır. Birinci kısımda kurutma havasının sıcaklığını artırmak için kullanılan güneş enerjili havalı kolektör incelenmiştir. Dört farklı tip kolektör, konvensiyonel tip kolektör ile verim yönünden kıyaslanmıştır. Verimi yüksek olan kolektör kurutma işleminde kullanılmıştır. İkinci kısımda ise güneş enerjisi kullanılarak alabalığın kurutuma karakteristiği incelenmiştir. Kurutma havasının debisinin, balığın boyutunun ve tuzun kuruma üzerindeki etkisi incelenmiştir. Üçüncü kısımda ise kurutma havasının sıcaklığını sabit tutmak için elektrik enerjisinden faydalanan hibrid bir sistem kullanılmıştır. Bu kısımda da kurutma havasının debisinin, sıcaklığının, balığın boyutunun ve tuzun kurutma üzerindeki etkisi incelenmiştir. Aynı zamanda açık ortamda kurutulan balığın kuruma karakteristiği ile kurutucuda kurutulan balığın karakteristikleri karşılaştırılmıştır. Ayrıca kurutucunun enerji ve ekserji verimi incelenmiştir.

Kurutma deneylerinde elde edilen verilerin literatürde yer alan matematiksel denklemler ile kıyaslanması yapılmıştır. Kurutma katsayısı, difüzyon katsayısı ve korelasyon katsayıları belirlenmiştir.

1.1. Literatür Araştırması

Çalışmaya başlamadan önce literatürde olan birçok çalışma incelenmiştir. Kurutma sistemleri ile ilgili literatürde birçok çalışma mevcuttur. Literatür araştırması çalışmamız doğrultusunda yapılmıştır. Öncelikle güneş enerjili havalı kolektörler incelenmiştir. Daha sonra güneş enerjili kurutma ile ilgili çalışmalar incelenmiştir. Son olarak da hayvansal ürünlerin (kırımızı ve beyaz et , balık vb.) kurutulması ile ilgili çalışmalar incelenmiştir.

Hans [5] v.d. , kanal tipi bir güneş enerjili hava ısıtıcısının ısı transferi ve sürtünme faktörünü deneysel olarak incelemişlerdir. Yaptıkları çalışmada emici yüzeyin alanını genişletmek ve akışkanın türbülansını artırmak için V tipinde kanatçıklar yerleştirmişlerdir. Deneyleri Reynold Sayısı 2000 ile 20.000 arasında çalışmışlardır. Kanatçıkların genişliğinin, yüksekliğinin, atak açısının ve Reynold Sayısının; Nusselt Sayısı ve Sürtünme faktörü üzerindeki etkisini incelemişler.

El-Sebaii [6] v.d., düz ve V tipi ondüleli çift geçişli bir hava ısıtıcısının ısıl performansını teorik ve deneysel olarak incelemişlerdir. 0.02 kg/ sn 'lik debide ondüleli tipin düz tipe göre ısıl veriminin %11-14 daha fazla olduğunu, termohidrolik veriminin ise %14 daha fazla olduğunu belirlemişlerdir.

Gill [7] ve arkadaşları düşük maliyetli bir güneş enerjili hava ısıcısının verimini deneysel olarak incelemişler ve maliyet analizini yapmışlardır. Çift camlı, tek camlı ve içi demir talaşı ile doldurulmuş üç tip kolektör kullanmışlardır. 0,02 m^3/s hava debisinde kış mevsiminde verimin tek cam, çift cam ve yataklı tip kolektörlerin %30,29, %45,05 ve %71,68 değiştiğini gözlemlemişlerdir.

Kurtbaş ve Durmuş [8], Güneş enerjili bir hava ısıtıcının enerji ve ekserji analizlerini yapmışlar. Yaptıkları çalışmalarda dört tip kollektör kullanmışlardır. 0,028 kg/sn ve 0,012 kg/sn 'lik iki debi kullanmışlardır. Geleneksel tip kolektörde maksimum verimi %16 olarak belirlemişlerdir. Tip 3'teki maksimum verimi ise %67 olarak belirlemişlerdir.

Esen [9], 4 tip çift akışlı kolektörlerin enerji ve ekserji analizlerini deneysel olarak incelemişleridir. Kolektörlerin 1. Tipi engelsiz olarak kullanılmışken diğer 3 tanesinde farklı tip engeller kullanılmıştır.

Benli [10], 5 tip güneş enerjili hava ısıtıcısının performansını deneysel olarak incelemiştir. Yaptığı çalışmada ondüleli (Tip-I), trapez(Tip-II),ters ondüleli(Tip-III), ters trapez (Tip-IV) ve düz kolektör (Tip- V) kullanmıştır. Termal verimlerin maksimum Tip-I'de %55 minimum verimin ise Tip-V'de %17 olarak belirlemiştir. $3000<Re<5000$ değerlerinde Nusselt sayısının 9,5 ile 14,3 arasında değiştiğini; basınç düşüm değerlerinin ise 1,5 ile 5,5 N/m^2 değiştiğini tespit etmiştir.

El-Sebaii v.d. [11], düz tip bir kolektördeki seçici yüzeyin termal performans üzerindeki etkisini deneysel ve teorik olarak incelemişlerdir. Seçici yüzey olarak; CuO, CoO, Cr-Cr_2O_3 , Ni-Sn ve siyah boya kullanmışlardır. Ni-Sn kaplamanın siyah boyalı yüzeye göre %31 daha yüksek bir performansa sahip olduğunu tespit etmişlerdir.

Alta ve arkadaşları [12], yaptıkları çalışmada çift cam ve kanatsız (Tip-I), çift cam ve kanatlı (Tip-II), tek cam ve kanatlı (Tip-III) şeklindeki üç farklı tip kolektörün termal analizlerini deneysel olarak incelemişlerdir. Tip-II ve Tip-III'ün veriminin Tip-I'den daha yüksek olduğunu, en yüksek tersinmezlik oranının Tip-I'de, en düşük tersinmezlik oranının ise Tip-II'de olduğunu tespit etmişlerdir.

Uçar ve İnallı [13], yaptıkları çalışmada 5 tip kolektörün enerji ve ekserji analizini yapmışlardır. Tersinmezlik oranının en yüksek konvensiyonel tip kolektörde 0,236 kW olduğunu, ekserji kaybının ise %64,38 olduğunu tespit etmişlerdir. En düşük ekserji kaybını ise 2^o eğimli emici yüzeye sahip kolektörde %43,91 olarak tespit etmişlerdir.

Karslı [14], 70^o ve 75^o eğimli kanatçıklı, tüplü ve havuz tipi dört kolektörün enerji ve ekserji analizini deneysel olarak yapmıştır. Birinci kanun verimlerinin maksimum değerlerinin %80,%42,%60,%64 ; ikinci kanun verimlerinin maksimum değerlerinin ise %64,%61,%60 ve %34 olarak değiştiğini gözlemlemiştir.

Moummi ve arkadaşları [15], yüksekliği 20 mm aralarındaki boşluk 25 mm olan kanatçıkların emici yüzey üzerindeki etkisini deneysel olarak incelemişlerdir. Yaptıkları bu çalışmada ayrıca seçici olan ve seçici olmayan yüzeylerin ısıl performans üzerindeki etkisini incelemişlerdir. Çalışmalarında dört tip kolektör kullanmıştır. Isıl performans yönünden en düşük verimin seçici olmayan ve kanatsız yüzeyde, en yüksek verimin ise seçici olan ve kanatlı emici yüzeye sahip kolektörde olduğunu tespit etmişlerdir.

Karim ve Hawlader [16,17], kurutma işlemlerinde kullanılmak üzere emici yüzey üzerine V tipinde ondüle yerleştirilmiş bir kolektörün termal analizini yapmış. V tipinde ondüleli kolektörün konvensiyonel tip kolektöre göre %7-12 daha yüksek bir verime sahip olduğunu gözlemlemiştir.

Hatami ve Bahadorinejad [18], dikey tip bir kolektörün verimini incelemişlerdir. 6 gün deney yapmışlardır. Bu altı günlük deneylerinin sonucunda verimin %29 ile %52 arasında değiştiğini gözlemlemişlerdir.

Yang V.D. [19] , altı farklı tip kolektörün termal yönden karşılaştırmışlardır. Yaptıkları çalışmada beş kolektör kanatçıklı bir yapıya sahiptir. Diğer kolektör ise konvensiyonel tip kolektördür. Termal verim A tipi kolektörde %14,7 iken E tipi kollektörde ise %38,3 olduğunu gözlemlemişlerdir.

Akpınar ve Koçyiğit [20], dört farklı tip kolektörün ekserji analizini ve bu kolektörlerin termal analizini yapmışlardır. Yaptıkları çalışmada, 3 kolektörü kanatları farklı şekilde yerleştirerek imal etmişlerdir. Dördüncü kolektör ise konvansiyonel tip bir kolektördür. Bu çalışmada tip-II'de I. Kanun verimini maksimum %82, II. Kanun verimini ise maksimum %44 olduğunu tespit etmişlerdir.

Peng V.D. [21], 4 mm çapında ve farklı uzunluklardaki metal pimleri emici yüzey üzerindeki etkisini deneysel olarak incelemişlerdir. Pimlerin uzunluklarının çapa olan oranını h/d, pimler arası boşluğun çapa olan oranını ise s/d olarak tanımlamışlardır. Birinci kanun veriminin maksimum s/d= 3, h/d=2,5'de %75 olarak gözlemlemişlerdir.

Koyuncu [22], kurutma amaçlı odun lifinden (sunta) yapılmış bir levhayı alt emici plaka olarak kullanmıştır. Yaptığı çalışmada 1. Tipte plaka siyaha boyanmıştır. Tip-2'de emici plakanın üzerine düz siyaha boyanmış alüminyum sac, Tip-3'de ise zik-zak şekli verilmiş sac kullanmıştır. Tip-4'te hava akışı düz emici plaka ile odun lifi levha arasından geçirilmiş, Tip-5'de ise hava akışı zik-zak şekli verilmiş emici plaka ile odun lifi levha arasında geçirilmiştir. Tip 6'da ise cam kapağın 30 mm alt kısmında ikinci plastik bir kapak kullanmıştır. En yüksek verim %45,12 ile Tip-2'de, en düşük verimin ise %36,94 ile tip-6 'da olduğunu gözlemlemiştir.

Chaube [23], kare emici plaka üzerine farklı dişler yerleştirilmiş bir kolektörün sonlu elemanlar yöntemi (CFD) kullanarak 3000<Re<20000 arasındaki ısı transferini ve akış karakteristiklerini incelemişlerdir.

Alvarez v.d. [24], atık içecek kutularını siyah renge boyayarak kolektörün emici plakası üzerine yerleştirmişlerdir. Maksimum verimi %74 olarak belirlemişlerdir.

Kituu v.d. [25], tilapia balığını bir güneş tünelinde kurutulmasını teorik ve deneysel olarak incelemişler. Deneysel numuneleri 5x5x1 cm boyutlarında 200 parça balığı kurutmuşlardır. Yaptıkları çalışmada 3 gün yapılan deneyleri 26 saatte tamamlamışlar. Kurutma havasının sıcaklığı 15-46 ^{o}C sıcaklıkları arasında değişmektedir. Ortalama nem oranı (MR) %20 seviyesine düştüğünü belirlemişlerdir.

Jain ve Pathare [26], tatlı su karidesinin ve aynalı sazanın açık ortamda güneş altında kuruma kinetiklerini incelemişlerdir. 305 adet 0,172 kg karides parçaları ve 101 adet 0,207 adet aynalı sazan balığının parçalarını kullanmışlardır. Numuneleri 0,26mx 0,22 m boyutlarındaki çelik telden yapılmış bir tepsi kullanarak açık güneş ortamında kurutmuşlardır. Karideslerin nem oranları 14 saatte 0.1'in altına düşmüştür. Aynalı sazanların nem oranı ise 21 saatte 0.1'e düşmüştür. Çalışma sonunda difüzyon katsayısı ile saatlik ortalama nem içeriği arasında regresyon analizini yapmışlardır.

Jain [27], yaptığı çalışmada tatlı su karidesi ve aynalı sazanın güneş enerjisi ile kurutulması işlemi sonucunda ısı ve kütle transferi katsayılarını belirlemiştir. Konvektif ısı transfer katsayısının nem oranıyla değişiminin grafiklerini çizmiştir. Karideste kütle transfer katsayısının 0.402 x10^{-6} m/s ile 8.958 x10^{-6} m/s arasında; aynalı sazanda ise 0.32 x10^{-6} m/s ile 7.613 x10^{-6} m/s arasında değiştiğini gözlemlemiştir.

Bellagha v.d. [28] , sardalya balığının tuzlama ve kurutma işlemlerine tabi tutarak deneysel olarak kuruma kinetiğini modellemişlerdir. 50 gramlık balıklar kullanmışlardır. 20 ^{o}C'de %21'lik tuz içinde 24 saat bekleterek tuzlama işlemini yapmışlardır. Daha sonra 40 ^{o}C'de 1,5 m/s'lik hava hızı ile kurutmuşlardır. Tuzlama işleminden sonra katı miktarının %30 civarına düşmesinin 48 saatte tamamlamışlardır.

Vega-Gálvez v.d. [29], ıstakozun kurutulmasını incelemişlerdir. 50,60,70,80 ve 90 ^{o}C'de kurutma işlemini yapmışlardır. Nem oranı 90 ^{o}C'de 410 dakika , 50 ^{o}C ise 1000

dakika civarında olduğunu tespit etmişlerdir. Yaptıkları çalışmanın sonunda elde etmiş oldukları sonuçlar göre istatiksel analizleri yapmışlardır.

Duan v.d. [30], tilapia balığını mikrodalga kullanarak kurutmuşlardır. Kurutulacak balıkların boyutları 30 mm× 20 mm× 3 mm 'dir. Balıkları 40-50 ^{o}C arasında 1,5 m/s'lik hızda 4 saat ön kurutma işlemi yapmışlardır. Daha sonra 200-400-600 Watt gücünde mikrodalga kullanarak 10 dakika içerisindeki nem miktarlarını incelemişlerdir. En iyi kurutmanın 50^{o}C ön kurutma işlemine tabi tutulan numunenin 10 dakika sonunda 600 Watt gücünde mikrodalga ile kurutma işlemine sonucunda nem oranının (db) 0,05'e düştüğünü gözlemlemişlerdir.

Darvishi v.d. [31], sardalye balığını mikrodalga ısıtıcıyla kurutulmasının kurutma karakteristiğini incelemişlerdir. 200 ile 500 Watt arasındaki değişen güç kullanmışlardır. Kullandıkları mikrodalga kurutucunun diskinin dönem hızı 5 rpm'dir. Kurutma havasının hızını ise 1 m/s olarak ayarlamışlardır. Kullandıkları numuneleri 45 gram olarak seçmişlerdir. Kuruma zamanının 4,25 ile 9,5 dakika arasında değiştiğini tespit etmişlerdir.

Djendoubi v.d [32], sardalye balığının kabin tipi bir kurutucuda kurumasını deneysel ve matematiksel olarak incelemişlerdir. Yaptıkları çalışmada 20 mm genişliğinde 60 mm uzunluğunda sardalyeleri kullanmışlardır. Deneyleri 40-50-60-70 ve 80 ^{o}C'lik sıcaklıklarda 1,5 m/s'lik hava hızında ve %40-50 arası relatif nemde yapmışlar. 80 ^{o}C ,%2 relatif nemde kurumanın 210 dakikada, 40 ^{o}C, %40 relatif nemde 744 dakikada tamamlandığını gözlemlemişlerdir.

Sobukola ve Olatunde [33], Afrika kedi balığının 40-45 cm uzunluğunda 0,6-1,2 kg ağrılıklarında balıklar kullanmışlar. 2.5x3.0x1.6 cm boyutlarında dilimlemişlerdir. Daha sonra 30-38 ^{o}C sıcaklık aralığında, 0.15-0.27 gNaCl/g aralığında tuz konsantrasyonu ve 2-24 saat bekleme sürelerinde tuzlama işlemlerini yapmışlar. Kurutma işleminde 1,5 m/s ve 60 ^{o}C sıcaklığında hava kullanmışlardır.

Brás ve Costa [34], 3 farklı tür balığın kurutulması işleminde kurutma karakteristiğini deneysel olarak incelemişlerdir. 11 gün ve 13 günlük tuzda bekletme işleminden sonra kurutma işlemine geçmişlerdir. Kurutma işlemini 19-20 ^{o}C sıcaklıkta 2-2,6 m/s'lık hıza sahip hava kullanmışlardır.

Goddard ve Perret [35], sardalya balığının kurutma karakteristiğini incelemişlerdir. Balıkları kurutmadan önce 3 farklı oranda buğday kepeği ile karıştırarak kurutmuşlardır. Bu karışımları hazırladıktan sonra 20mx9 m'lik güneş enerjili tünel tipi bir kurutucuda kurutmuşlardır. Kurutuma işleminde balıklar 4 gün bu tünelde kalmıştır. Saat başı ölçümler yapmışlardır.

Heredia v.d. [36], Morina Balığının tuzlama, kurutma ve tuz giderme işlemlerine tabi tutarak balığın kurutulmasını sağlamışlardır.

Borquez v.d. [37], sıkıştırılmış balık köftesini çarpan jetle kurutulmasını sağlamışlardır. Kurutma işlemine başlanmadan 15 dakika 95 ^{o}C'de balık köftelerini pişirmişlerdir. Bu şekilde pıhtılaşmış materyallerin uzaklaştırılması sağlanmıştır. Hava sıcaklığı olarak 32-56 ^{o}C hava hızı ise 66 m/s olarak belirlemişlerdir. Köfteler 1.28 ve 1,96 mm çaplarına sahiptir. Kurutma işlemi sonunda her bir hız ve sıcaklıklar için n-3 yağ asit miktarlarını tespit etmişlerdir.

Aghbashlo v.d [38], balık yağı mikroenkapsülasyon sprey kurutma ile kurutulmasının enerji ve ekserji analizini deneysel olarak incelemişlerdir.

Marquez-Rios v.d. [39], deniztarağı etinin kurutmuşlardır. Ortalama 70 gram ağırlığında numuneler üzerinde çalışmışlardır. 1 kg deniztarağı/2 lt asit solüsyonu oranında olacak şekilde deniztaraklarını 1 saat ve 3 saat bekleterek iki numune hazırlamışlardır. Kontrol numunesinde ise asit solüsyonu kullanılmamıştır. Daha sonra %5 tuz ve %3 şeker olan solüsyonda 5 dakika pişirdikten sonra 10 dakika oda sıcaklığında soğutmuşlardır. Daha sonra 50,60 ve 70 ^{o}C sıcaklıkta 3 m/s'lik hıza sahip hava ile kurutmuşlardır. %20 nem içeriğine 70 ^{o}C sıcaklıkta 3 saat bekletilen numune 6 saatte düşmüştür. 50 ^{o}C'de kurutulan kontrol numunesi 23 saatte %25 nem oranına düştüğünü gözlememişlerdir.

Teixeira v.d [40], keçi etini kurutmuşlardır. Ortalama 16,6 kg ve 24,4 kg ağırlığına sahip et kullanılmıştır. 120 saat ve 72 saat 4 ^{o}C'de bekletilmiştir. Daha sonra üzeri 5 cm kalınlığında tuz ile kaplanılarak 0, 12, 24, 36, 48 ve 60 saat bekletmişlerdir. Bu işlemlerden sonra 8-10 ^{o}C'lik sıcaklıktaki hava ile kurutma işlemini tamamlamışlardır. Kurutma işlemi 48 saat sürmüştür.

Sebastian v.d. [41], eti dumanlama ve kurutma işlemi esnasındaki ısı ve kütle transferini modellemiş ve deneysel olarak incelemişlerdir. Bu işlem için 30 kg domuz eti kullanmışlardır. 8 saat sonunda numuneler 0.52 kg/kg (db) nem içeriğine ulaşmıştır.

Clemente v.d. [42], domuz etinin kurutulması için 25 ^{o}C sıcaklıkta ve 0.6, 2.0 ve 2.8 m/s hızında hava kullanmışlardır.

Trujillo v.d. [43], sığır etinin su yayılımı ve kurutma modellemesini yapmışlardır. Sığır eti %73 su ve %4 yağ içermektedir. 3 farklı tip kurutucuda kurutma işlemini gerçekleştirmişlerdir. Sabit hacim, sabit sıcaklık ve sıfır yüzey direnci (Model A), Sabit hacim (Model B) ve değişken hacim (Model C) olmak üzere 3 farklı modelde çalışmışlardır. 40 ^{o}C sıcaklıkta kurutma işlemini yapmışlardır.

Simal v.d. [44], Sobrassada'nın (Bir çeşit et tabanlı yiyecek –sucuk-) kurutma kinematiğini incelemişlerdir. Sobrassada yaklaşık %55 yağ içeren bir yiyecektir. Kurutma işlemini 14 ^{o}C sıcaklıktaki hava ile yapmışlardır. Kurutma işlemini %70-75-80 ve 85 relatif nem olacak şekilde yaparak; nemin kurutma üzerindeki etkisini gözlemlemişlerdir. Kurutma işlemi yaklaşık 60 gün sürmüştür. Ortam neminin kuruma hızı üzerinde etkili olduğunu tespit etmişlerdir.

Nathakaranakule v.d. [45], tavuk etinin yüksek sıcaklık altında kurutulmasını sağlamışlardır. 13.5 kW gücünde bir ısıtıcı yardımıyla elde edilen 31 kg/h'lik buhar üreten bir boyler ile havanın ısıtılması sağlamışlardır. 0.52x0.52x0.52 cm^3 hacminde bir kabin kurutucu kullanmışlardır. Tavuk 0.3x0.3 m^2 boyutlarına bölünmüştür. 120-140 ve 160 ^{o}C sıcaklıkta hava kullanılarak; hava sıcaklığının etkisini araştırmışlardır. 160 ^{o}C sıcaklıkta 45 dakikada tamamlanan kurutma işlemi 120 ^{o}C sıcaklıkta 105 dakikada tamamlamışlardır.

Akpinar ve Biçer [46] , Elazığ iklim şartlarında güneş enerjili bir kurutucu da uzun yeşilbiberin kurutulmasını incelemişlerdir. Deneylerde maksimum ışınım değeri 971 W/m^2 olup kabine giriş sıcaklığı 43,9 ile 64,8 ^{o}C arasında değişmektedir. Deneysel çalışma sonucunda kabinde tip kurutucuda kurutma işlemi 104 saatte tamamlanmıştır. Açık ortamda kurutmada ise kurutma 152 saatte tamamlanmıştır.

Tripathy ve Kumar [47-49], patatesin kurutulmasını deneysel olarak inceledikleri çalışmada patatesleri silindirik ve dilimlenmiş olarak kurutmuşlardır.

Nem difüzyon katsayısının silindirik kesilmişlerde 3,28-6,09 x 10^{-8} doğranmış olanlarda ise 2,43-4,18 x 10^{-8} arasında değiştiğini tespit etmişlerdir.

Akbulut ve Durmuş [50] , kabin tipi bir kurutucuda dutun kurutulmasının ekserji ve enerji yönünden incelemişleridir. Yaptıkları deneyde ışınım değeri 123 ile 939 W/m^2 arasında değişmektedir. Kurutma işleminde 0,014 – 0,036 kg/s arasında değişik debilerde yaptıkları çalışmada kuruma işleminin 360 dk ile 780 dk arasında tamamlandığını gözlemlemişlerdir.

Akpınar [51], nanenin kurutulmasını incelemiştir. Deneyleri yapmış olduğu günlerdeki ışınım değeri 561 W/m^2 ile 939 W/m^2 arasında olup, kurutucuya giriş sıcaklığı 51,5 ile 66,3 ^oC arasında değişmektedir. Kabin tipi kurutucuda kuruma işlemi 12600 saniyede tamamlanırken dış ortamdaki kurutma işlemi 23400 saniyede tamamlanmıştır.

Varun v.d. [52], domatesin kurutulmasını incelemişlerdir. Deneyleri yapmış olduğu günlerdeki ışınım değeri 440 W/m^2 ile 935 W/m^2 arasında olup, kurutucuya giriş sıcaklığı 50 ile 62 ^oC arasında değişmektedir.

Kadam ve Samuel [53], karnabaharın kurutulmasını incelemişlerdir. Yaptıkları çalışmada kurutma işleminin 28 saatte tamamlandığını gözlemlemişlerdir.

Montero v.d [54], prina yağının kurutulmasını doğal, zorlanmış taşınım ve hibrid zorlanmış taşınım etkisi altında incelemişlerdir. Hibrid zorlanmış durumda kurumanın 2 saatte tamamlanırken doğal taşınım da 8 saatte tamamlandığını gözlemlemişlerdir.

Banout v.d. [55], kırmızıbiberin çift geçişli bir kurutucuda kurutulmasını incelemişlerdir. Kurutma işleminin çift geçişli kurutucuda 23 saatte, doğal konveksiyonlu kurutucuda 29 saatte, açık ortamda ise 36 saatte tamamlandığını gözlemlemişlerdir.

Celma ve Cuadros [56] , zeytin karasuyunun indirek ve doğal konveksiyonlu bir güneş enerjili kurutucuda kurutulmasının enerji ve ekserji analizini yapmışlardır. Yaptıkları çalışmada 34 ve 52 ^oC arasındaki sıcaklıkta çalışmışlardır. Kurutma işlemine 3,153 $g_{su}/g_{kurumadde}$ ‘dan 1,0 $g_{su}/g_{kurumadde}$ devam etmişlerdir. Kurutma işlemi 2 gün sürmüştür. Ekserji kayıpları birinci gün 0 kJ/kg ile 0,125 kJ/kg arasında değişmiştir. İkinci gün ise 0 kJ/kg ile 0,168 kJ/kg arasında değişmiştir.

Nourh`ene v.d [57], farklı tip zeytin yaprağını güneş enerjisi ile kurutulmasını incelemişlerdir. 0.0556 m^3/s hava debisinde , 40 , 50 , 60 ^oC sıcaklıkta kurutma işlemini yapmışlarıdır. Difüzyon katsayısının 2.95×10^{-10} 3.60×10^{-9} m^2/s arasında değiştiğini gözlemlemişlerdir. Sıcaklığın artması ile kurutma hızının arttığını ve işlemin daha kısa zamanda tamamlandığını gözlemlemişleridir.

Boulemtafes-Boukadoum ve Benzaouı [58], nanenin güneş enerjisi ile kurutulmasını incelemişlerdir. Sisteme ekserji girişinin maksimum; birinci gün 0,12 kJ/kg, ikinci gün ise 0,105 kJ/kg olduğunu tespit etmişlerdir. Ekserji kayıplarının ise birinci gün 0 kJ/kg ile 0,125 kJ/kg ikinci gün ise 0 ile 0,09 kJ/kg arasında değiştiğini tespit etmişlerdir.

Chowdhury v.d. [59], Tayland bölgesinde yetişen ve jackfruit diye isimlendirilen meyvenin güneş ile kurutulmasının enerji ve ekserji analizini yapmışlardır. 2. günün sonunda meyvenin nem oranı tünel tipi kurutucuda %76 (yb)'dan %11,88 (yb)'e ; açık havada ise %13,8' düşürmüşlerdir. Enerji verimi %42,47, ekserji verimi ise %41,42 olduğunu gözlemlemişlerdir.

Lamnatou v.d. [60], vakum tüplü hava kolektörü kullanarak elma, havuç ve kayısının kurutulmasını incelemişlerdir. 2 m uzunluğunda 5,8 cm dış çapında 20 adet tüp kullanmışlardır. Kurutma havasının sıcaklığının ve kurutulacak materyalin büyüklüğünün kuruma hızı üzerinde etkili olduğunu gözlemlemişlerdir.

Dissa v.d. [61], iki farklı tip mangonun ince tabaka hainde direk güneşte kurutulmasını incelemişlerdir. Nem oranı %24,83'e düşene kadar deneylerine devam etmişlerdir. Deneylerini dört günde tamamlamışlardır. Üst tepsideki kurumanın daha hızlı olduğunu gözlemlemişlerdir. Deneyler sonucunda elde etikleri verileri 10 farklı matematiksel model kullanarak regrasyon analizlerini yapmışlardır.

Shanmugama ve Natarajan [62], farklı kurutma debilerinde bezelyenin kurutulmasını incelemişlerdir. Yaptıkları kurutma sistemi kolektör, kurutma odası ve nem tutucudan oluşmaktadır. Nem tutucu olarak 75 kg $CaCl_2$ temelli katı kullanmışlardır. Debinin artması ile kurutma hızının da arttığını gözlemlemişlerdir.

Mwithiga ve Kigo [63], güneşi sınırlı olarak izleme özelliğine sahip bir kurutucunun performansını incelemişlerdir. Deneylerinde kahve çekirdeklerini kurutmuşlardır. Kuruma işlemi kurutucuda 2-3 gün, açık havada kurutmada ise 5-7 gün arasında sürmektedir.

Smitabhind v.d. [64], güneş enerjisi destekli bir sistemde muzun kurutulması işleminin optimizasyonunu yapmışlardır. Deneysel çalışmanın sonucu olarak yaptıkları optimizasyon işlemi ile optimum kolektör alanını 26 m^2 ve minimum kurutma maliyetini kilogram başına 0,225 ABD doları olarak belirlemişlerdir.

Stiling v.d. [65], yoğunlaştırılmış güneş paneli kullanarak domatesin kurutulmasını incelemişlerdir. Kurutma zamanının normal kurutma işlemine göre %27 azaldığını gözlemlemişlerdir.

El-Beltagy v.d. [66], indirek zorlanmış taşınımlı bir güneş kurutucusunda çileğin kurma karakteristiğini incelemişlerdir. Tüm, yarım, çeyrek ve disk şeklindeki çileklerin nem oranları sırasıyla 18.5, 13.1, 11.5, 11.3 (k.b.) olması için gerekli olan sürenin 28, 26, 20 ve 24 saat olması gerektiğini gözlemlemişlerdir. Bunun sonucu olarak kurutulacak materyalin boyutunun kurutma işlemi üzerinde etkili olduğunu gözlemlemişlerdir.

Fadhel v.d. [67], üzümü açık güneşte, doğal taşınılma ve sera tipi güneş enerjili kurutucuda olmak üzere üç farklı proseste kurutulmasını incelemişlerdir. Sera tipi kurutucudaki kurutmanın daha hızlı olduğunu gözlemlemişlerdir.

Zomorodian v.d. [68] , yarı sürekli bir kurutucuda pirinci kurutmuşlardır. Kurutma hava miktarının artması ile kurutma hızının düştüğünü gözlemlemişlerdir.

Dissa v.d. [69], mango dilimlerinin ince tabakalı indirek bir güneş enerjili kurucuda kurutulmasını incelemişlerdir. 8 mm kalınlığındaki mango dilimlerini Mayıs ayı hava şartlarında su içeriğinin ilk gün %50' sini ikinci gün %40' nı ve üçüncü gün ise %5 'ini kaybettiğini gözlemlemişlerdir.

Saleh ve Badran [70], ebegümeci ve nane yapraklarını güneşi takip edebilen tepsili bir sistemde kurutmuşlarıdır. Yaptıkları bu çalışmada güneşi takip eden sistemin kurutma hızının diğer sisteme göre daha yüksek olduğunu gözlemlemişlerdir.

Tunde-Akintunde [71], kırmızıbiberi güneşte ve güneş enerjili kurutucuda kurtulması işlemi sonucunda elde ettiği verilerin matematiksel modellemesini yapmıştır. Ürünleri farklı tip ön işlemlerden geçirerek kurutma işlemini gerçekleştirmiştir. Deneyler sonucunda her bir durum için kurutma modellerine göre kurutma katsayısını hesaplamıştır.

Srisittipokakuna v.d. [72], parabolik tip bir güneş enerjili tünel tipi kurutucuda Hint ekinezyası diye bilinen ve tıbbi tedavi amaçlı kullanılan bir bitkinin kuruma davranışını incelemişlerdir. %75 (y.b) nem içeriğinin iki gün sonunda %7'ye düştüğünü gözlemlemişlerdir. Tunel tipi kurutucudaki kurutma süresinin güneşte kurutma işleminden daha hızlı olduğunu belirlemişlerdir.

Sreekumar v.d. [73], indirek kabin tipi bir kurutucuda kudret narının kuruma karakteristiğini incelemişler ve sistemin ekonomiklik analizini yapmışlardır. Güneş enerjili kurutucuda üründe renk kaybı olmaksızın nem oranın %95' den %5' e 6 saatte; açık ortamda ise 11 saatte düştüğünü gözlemlemişlerdir. Yaptıkları ekonomi analizi sonucunda da sistemin geri ödeme süresinin 3,26 yıl olduğunu hesaplamışlardır.

Sarsavadia [74], soğanın kuruması için gerekli olan enerjinin belirlenmesini ve güneş enerjisi desteği ile kurutulmasını incelemişlerdir. Kurutma havasının sıcaklıklarını 55, 65 ve 75 ^{o}C; debisini ise 2.43, 5.25 ve 8.09 kg/dk alarak deneylerini yapmıştır. Deneylerinde soğanın nem oranını %86'dan %7'ye kadar düşürmüştür.

Saçılık v.d. [75], ince dilimlenmiş domatesin tünel tip bir kurutucu kuruma karakteristiğini incelemişlerdir. Nem içeriğini %93,35'den %11.50'ye düşürmüşlerdir. Güneşte kurutmaya göre %26.9 daha hızlı kurutulduğunu gözlemlemişlerdir.

Koua v.d. [76], muz, mango ve manyoku ince tabakalı bir kurutucuda kurutmuşlardır. Muz için kurutma işlemini 18 saatte, manyok için 16 saatte ve mango için ise 30 saatte tamamlamışlardır.

Al-Juamily v.d. [77], V tipi kıvrılmış emici plakası olan bir güneş enerjili kurutucu sisteminin performansını incelemişlerdir. Deneylerinde kurutulacak ürün olarak fasulye, kaysı ve üzüm kullanmışlardır. Kullandıkları deney düzeneğinde raflı bir kabin tipi kurutucu ve buna bağlı iki adet güneş enerjili havalı kolektör bulunmaktadır.

3 farklı hava debisinde çalışmışlardır. En iyi kurumanın 65 ^{o}C sıcaklıkta ve 0,3 m/s hava hızında üzümün kurutulması olduğunu gözlemlemişlerdir.

Ait Mohamed v.d. [78] , kırmızı yosunu tepsili tip ince tabakalı bir kurutucuda kurutulmasını modellemişlerdir. Kurutma hava sıcaklığı 40,50 ve 60 ^{o}C ; relatif nem ise %50'den %57 değişmektedir. Kurutma havasının debisi ise 0.0277 m^3/s'den 0.0833 m^3/s 'ye değişmektedir. Yaptıkları çalışma sonucunda korelasyon katsayısının 0,999 olduğunu hesaplamışlardır.

Ait Mohamed v.d. [79] , turunç yapraklarının tek tabakalı güneş enerjili kurutucuda zorlanmış taşınım altındaki davranışını incelemişlerdir. Kullandıkları kurutucu bir kolektör ve bir adet kabinden oluşmaktadır. Kurutucuya giden havanın sıcaklığı 50-60 ^{o}C arasında, relatif nemi %41-%53 arasında ve debisi 0.0277 ile 0.0833m^3/s arasında değişmektedir. Sıcaklığı sabitlemek için ek bir hava ısıtıcısı kullanmışlardır. En hızlı kurutma 0.0556 m^3/s hava debisinde, 60 ^{o}C sıcaklıkta ve %46 nemde 60 dakikada tamamlanmıştır.

Maiti v.d. [80], Hindistan bölgesinde papad diye isimlendirilen bir çeşit bisküvinin kurutulmasını incelemişlerdir. Kullandıkları kurutucu doğal taşınımlı bir sistemdir. Bu sistemde kuzey-güney doğrultularında iki adet yansıtıcı bulunmaktadır. Deneylerinde kolektör çıkış sıcaklığı maksimum 73-76 ^{o}C arasında değiştiğini, difüzyon katsayısının ise 3–4 x 10^{-9} m^2 s^{-1} olduğunu gözlemlemişleridir.

Boughali v.d. [81], indirek elektrik destekli güneş enerjili bir kurutucuda 10 mm kalınlığındaki domateslerin kurutulmasını araştırmışlardır. Dış ortamdan alınan hava önce güneş enerjili havalı kolektör tarafından ısıtılmakta daha sonrada kurutucuya girmeden kabinin üst kısmana yerleştirilmiş elektrikli ısıtıcılar aracılığı ile istenilen sıcaklığa kadar ısıtılmasını sağlamışlardır. En iyi kurumanın 75 ^{o}C ve 2 m/s 'lik hava hızında olduğunu gözlemlemişlerdir.

1.2. Su Ürünleri İşleme Teknolojisi

Su ürünleri işleme teknolojisi genel gıda teknolojisi konularının bir bölümünü oluşturmaktadır. Avlanmadan tüketime kadar balığın gıda maddesi olarak kullanıldığı tüm aşamaları kapsar. Ön işleme, saklama işlemleri ve kalite kontrol gibi konular su ürünleri

işleme teknolojisinin konuları içerisindedir. Su ürünleri işleme teknolojisi 5 önemli fonksiyona sahiptir.

1. Ürünün muhafazası
2. Hammaddeyi istenen forma dönüştürmek
3. Ürünün kalitesini korumak
4. Ürün ve tüketici güvenliğini sağlamak
5. Hammaddeyi tam olarak kullanmak [82]

Su ürünleri bozulmaya karşı oldukça hassastırlar. Bu nedenle avlanmalarında tüketime kadar olan süre içerisinde her aşamada dikkatle muamele edilmelidir. Aksi takdirde üründe istenmeyen ve insan sağlığı açısından ciddi olumsuzluklara neden olabilecek değişiklikler olabilmektedir. Su ürünlerindeki bozulmayı önleme yolları şunlardır:

- Avlanma yeri ve yöntemi uygun olarak seçilmelidir.
- Avlanma sonrası balıkların ilk temas ettiği ortam temiz olmalıdır.
- Ön işlem avlanmadan hemen sonra yapılmalıdır
- Balıklar fazla hırpalanmadan muhafazaya alınmalıdır.
- Avlandığı yerden daha uzak bir yere nakledilecekse mutlaka soğukta yada dondurulmuş olarak saklanmalıdır
- Balıkların işleneceği veya depolanacağı ortamlar gereği gibi dizayn edilmiş olmalıdır.
- Fabrikada veya işletmedeki personelin temizliğine dikkat edilmelidir.
- İşletmede yeteri kadar aydınlatma ve havalandırma olmalıdır
- Materyalin temizliğinde veya işlemesi aşamalarında kullanılacak su içme suyu niteliğinde olmalıdır.
- Taze olarak pazarlanacak ürünler satış koşulları uygun ve temiz olmalıdır [82]

1.2.1. Su Ürünlerini İşlemede Ön İşlemler Teknolojisi

Su ürünlerinin işlenmeden önce ilk yapılması gereken ön işleme tabi tutulmasıdır. Uygulanacak ön işlem materyalin cinsine, biçimine ve uygulanacak teknolojiye bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Su ürünlerine uygulanan ön işlemler şunlardır [82]:

1. Yıkama
2. Sınıflandırma
3. Pul çıkarma
4. Baş kesme
5. İç organ çıkarma
6. Fileto çıkarma
7. Deri çıkarma
8. Et ayırma

1.2.2. Su Ürünlerinin Muhafaza Teknikleri

Su ürünleri ön işleme tabii tutulduktan sonra hemen tüketilmeyecekse bazı işlemlere tabii tutularak uzun süre muhafaza edilebilinir.

Dondurarak muhafaza: Balıkların uzun süreli olarak depolanmasında kullanılan başlıca yöntem dondurarak muhafazadır. Su ürünlerinin dondurulması ile ortamı mikroorganizmalar için su yönünden elverişsiz hale getirmektir. Bu durumun devam etmesi için don halinin de devam etmesi gerekmektedir. Ayrıca belli sıcaklıkların altında bir çok mikroorganizma aktiviteleri tamamen durmaktadır. Böylece ürünün bozulmasına engel olunmaktadır [82].

Isıl İşlemli Konserve: Kutulanmış balık konserveleri, taze balıkların taşıdığı kalite niteliklerine sahip ve çeşitli ön işlemler uygulanmış balık veya balık kısımlarına, tuz yemeklik bitkisel yağ ve sos gibi lezzet verici maddeler ilave edilerek hazırlanmış ve hermetikli kaplarda ısıl işlem ile dayanıklı hale getirilmiş ürünler olarak tanımlanmaktadır [82].

Marinat Teknolojisi: Marinat balığın sirke ve tuz ile muamele edilmesi sonucu yenilebilir şekle getirilmesi işlemidir. Marinat teknolojisinde, taze, dondurulmuş veya tuzlanmış balık veya balık kısımları kullanılabilmektedir [82].

Tuzlama Teknolojisi: Tuzlama işlemi tek başına bir muhafaza tekniği olmakla birlikte pek çok işleme teknolojisi için ön işlem olarak ta kullanılmaktadır. Tuzlama işleminde balığın sofra tuzu ile etrafı kaplanmasına bağlı olarak difüzyon ve osmoz gibi

faktörlerin etkisi ile oluşturulan bir muhafaza türüdür. Tuzlama işlemine tabii tutulan balık aynı özelliklerde tuz içerisinde piyasaya sunulmaktadır [82].

Dumanlama Teknolojisi: Dumanlama, ağacın termal yıkımı sonucu meydana gelen kimyasal bileşiklerin ve kurutma işleminin kombine etkisi ile ürünün dayanıklılığını artıran bir yöntemdir. Bu işlemde ürünün uzun süre saklanması sağlamakla berabere hoş bir koku, lezzet ve görünüm vermesini amaçlamaktadır. Bu işlemde muhafaza ikinci plandadır [82].

Balığın Kurutulması: Genellikle %70-80 oranında su içeren balığın dokusundaki bu suyun kurutarak uzaklaştırılması işlemidir. Balık atmosferik şartlarda bakteri ve küflere bağlı olarak hızlı bir şekilde bozulur. Bu bozulmayı engellemek için ortamın su aktivitesinin azaltılması gereklidir. Bu amaçla kullanılan yöntemlerden başlıcası balığı kurutmaktır [82].

1.3. Güneş Enerjisi

Yaklaşık çapı $1{,}39 \times 10^6$ km olan ve dünyanın 110 katı kadar büyüklüğe sahip saman yolundaki yüz milyar yıldız içerisinde yer alan dünyamız için en önemli yıldızdır [83].

Güneşin büyük bir kısmı hidrojenden oluşmaktadır. Güneşin merkezindeki tepkimeler sonucunda hidrojen çekirdeklerinin kaynaşması sonucunda helyum oluşmaktadır. Bunun sonucunda da yüksek miktarda bir enerji açığa çıkmaktadır. Bu kimyasal dönüşüm işlemine proton-proton döngüsü adı verilmektedir. Bu süreçte 4 hidrojen atomu 1 helyum atomuna dönüşmektedir. Saniyede yaklaşık 600 milyon hidrojen atomu güneşte tepkimeye girerek $3{,}8 \times 10^{26}$ Joule'lik bir enerji açığa çıkar[84]. Yüzey sıcaklığı 5777 K dir. Bu sıcaklık yüzeyden merkeze doğru gittikçe 4×10^6 ile 8×10^6 K arasında değişmektedir [83].

Dünya ile güneş arasındaki ortalama uzaklıkta ve atmosferin dışında güneş ışınlarına dik olarak yerleştirilen yüzeyin birim alanına birim zamanda gelen enerji, güneş sabiti olarak adlandırılmakta ve G_{se} simgesi ile gösterilmektedir. Bu değer hesaplamalar sonucunda 1367 W/m^2 olarak belirlenmiştir [86].

Güneş ışınları dünyaya çeşitli dalga boylarında gelmektedir. Bu dalga boyu miktarları 200nm-24000 nm arasındadır. Güneşten gelen ışınımların dalga boyları hesaplandığında %7'si mor ötesi , %46 görünür ve %47 'si kızıl ötesidir. Güneşten gelen enerjinin yaklaşık %30'u yansıma ve saçılmalarla uzaya geri gider. %20'si havaküredе soğurulur. %50 si ise yeryüzünde soğrulmaktadır [83].

1.3.1. Güneş Enerjisinin Avantajları

- Güneş enerjisi sonsuz düzeyde tükenmeyen bir enerji kaynağıdır.
- Saf bir enerji kaynağıdır.
- Güneş enerjisinde taşıma masrafı olmayıp her yerde kullanılabilen bir enerji kaynağıdır.
- Güneş enerjisinden her yerde faydalanmak mümkündür.
- İşletme maliyeti düşüktür [85].

1.3.2. Güneş Enerjisinin Dezavantajları

- Diğer enerji kaynaklarına göre yoğunluğu düşüktür.
- İlk yatırım maliyeti yüksektir.
- Güneşten gelen enerji miktarı bizim kontrolümüz altında değildir.
- Depolanması ile ilgili problemler mevcuttur.
- Kış aylarında faydalanma imkanı çok düşüktür [85].

1.3.3. Güneş Enerjisinin Kullanım Alanları

Güneşten gelen enerji öncelikle ısı enerjisi olarak kullanılmaktadır. Elde edilen ısı enerjisi daha sonra elektrik enerjisine ve mekanik enerjiye dönüştürülebilmektedir. Güneş enerjisi sıcaklıklarına göre 3 bölüme ayrılabilir [85].

1-) Sıcaklığın 150 ^{o}C 'den az olduğu durumlar (Düşük Sıcaklık)

- Mahal ısıtılmasında
- Gıda maddelerinin ve bazı sanayi maddelerin kurutulmasında

- Evlerde kullanılacak suyun ısıtılmasında

2-) Sıcaklığın 150 ^{o}C ile 600 ^{o}C arasında durumlar (Orta Sıcaklık)

- Sulama işleminde kullanılan su pompalarında
- Güneş tencereleri ve küçük motorlarda
- Buhar gücüyle elektrik üreten düşük kapasiteli jeneratörlerde

3-) Sıcaklığın 600 ^{o}C'den fazla olduğu durumlar (Yüksek Sıcaklık)

- Güneş fırınlarında
- Maddelerin ayrıştırılmasında
- Yüksek kapasiteli jeneratörlerle elektrik üretiminde
- Seramik yapımında ve cam sanayinde [85]

1.3.4. Dünyanın Güneş Enerjisi Potansiyeli

Dünyada güneş enerjisinden yaralanmak için en elverişli alanlar, Ekvatorun 35^{o} kuzey ve güney enlemleri arasında kalan kuşakta yer almaktadır. Bu bölge "dünya güneş kuşağı" olarak adlandırılmaktadır. Yılda 2000-3500 saat güneş görmekte olan bu bölgenin güneş enerjisi potansiyeli 3,5-7 kWh/m^2/gün arasında değişmektedir. Dünya yüzeyindeki ortalama yıllık güneş ışınımı miktarı kurak bölgelerde 2000-2500 kWh/m^2 ve daha üst enlemlerde ise 1000-1500 kWh/m^2 arasında değişmektedir. Bu radyasyon yeryüzüne doğrudan ve/veya yaygın radyasyon olarak ulaşmaktadır. Dünyanın çeşitli bölgelerindeki yatay yüzeylere ulaşan günlük ortalama güneş radyasyonu miktarları aşağıda özetlenmiştir [87]

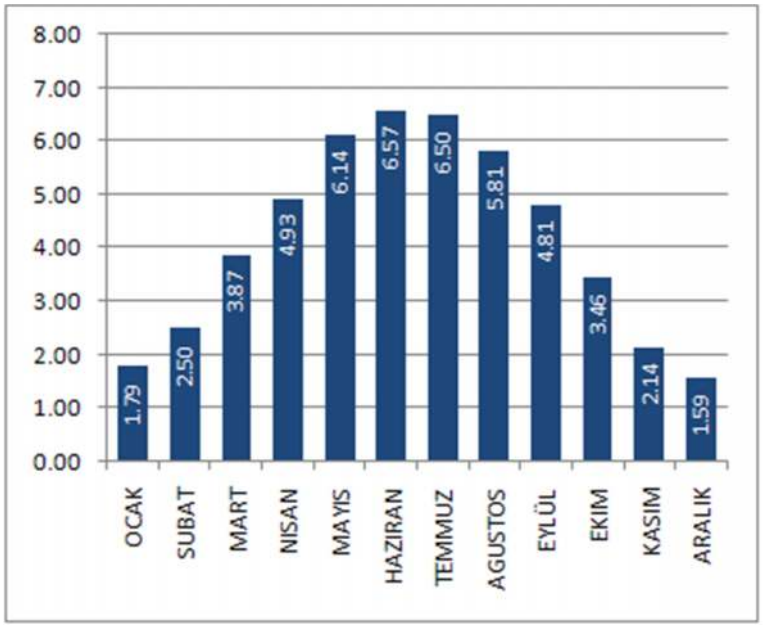
Tablo 1.1 Yatay yüzeylere ulaşan günlük ortalama güneş radyasyonu miktarları [87]

Bölge	kWh/m^2
Kuzey Avrupa	800
Orta Avrupa	1000
Akdeniz Bölgesi	1700
Ekvator (Çöl Bölgeleri)	2200

1.3.5. Türkiye'nin Güneş Enerjisi Potansiyeli

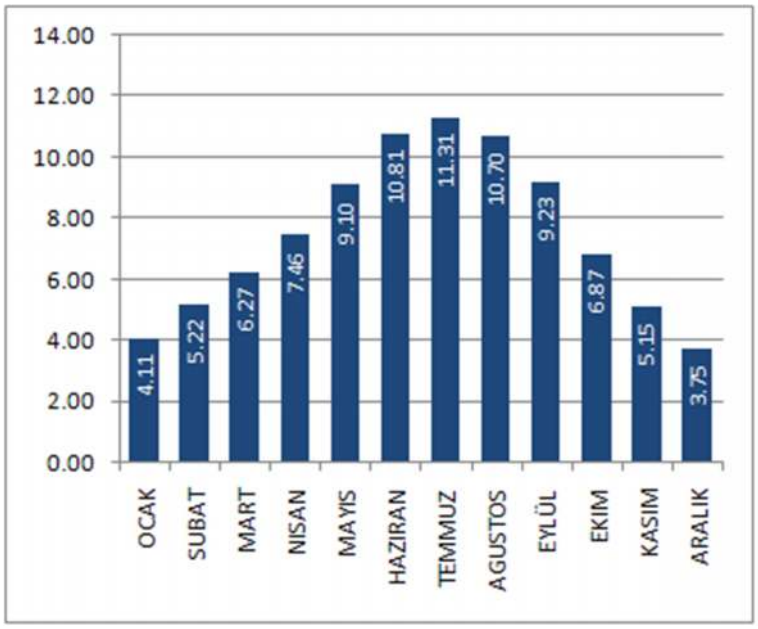
Ülkemiz 781.000 km^2 yüzey alanıyla, 36° - 42° kuzey enlemleri arasında güneşli bir kuşakta yer almakta ve güneş enerjisi potansiyeli bakımından coğrafi olarak son derece iyi bir konumda bulunmaktadır. Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğünce hazırlanan, Türkiye'nin Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlasına (GEPA) göre, yıllık toplam güneşlenme süresi 2.737 saat (günlük toplam 7,5 saat), yıllık toplam gelen güneş enerjisi 1.527 kWh/m².yıl (günlük toplam 4,2 kWh/m²) olduğu tespit edilmiştir [88].

Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğünce hazırlanan ay İçerisindeki bir günlük toplam güneş radyasyonu değişimini Şekil 3.1 gösterilmiştir. Ülkemizde en fazla ışınım değeri haziran ayında olup metrekareye gün boyunca toplam 6,57 kWh'tir. En düşük ışınım değeri ise aralık ayında olup metrekareye gün boyunca toplam 1,59 kWh'tir.



Şekil 1.1. Türkiye'de global radyasyon değeri (kWh/m^{2}gün) aylara göre değişimi [89]

Ay içerisindeki bir günlük toplam güneşlenme sürelerinin aylara göre değişimi şekil 3.2'de gösterilmiştir. En uzun güneşlenme süresi temmuz ayında 11,31 saat olurken en düşük güneşlenme süresi aralık ayında 3,75 saat olduğu gözlemlenmektedir.



Şekil 1.2. Türkiye'de Güneşlenme Süresinin (saat) aylara göre değişimi [89]

Türkiye'nin tüm yüzeyine bir yılda düşen güneş enerjisi 975 x 1012 kWh kadardır. Bir başka anlatımla, güneş Türkiye için 376 TW (1 TW=106 MW) güç kaynağı demektir. Türkiye'nin üzerine gelen güneş enerjisinin bütününün enerji üretim amacıyla kullanılması söz konusu olamaz. Ancak genel enerji bilançosu için brüt güneş enerjisi potansiyeli, alınan güneş enerjisinin % 2,5'i kadar olup, 24 x 10^{15} kWh/yıl düzeylerindedir. Teknolojik kısıtlar altında teknik potansiyel ise 278 milyar kWh/yıl olarak tahmin edilmektedir. Teknik potansiyelin % 18'i kadar olan 50.000 GWh/yıl Türkiye'nin uzun dönemde elektrik üretiminde hedefleyebileceği güneş enerjisi teknik potansiyeli varsayılabilir [90].

Ülkemizde güneş enerjisi ile ilgili olarak en fazla ısıtma amacıyla kullanılmaktadır. Ülkemizde 2012 yılı itibari ile toplam kurulu güneş kolektör alanı yaklaşık 18.640.000 m² olarak hesaplanmıştır. Yıllık düzlemsel güneş kolektörü üretimi 1.164.000 m², vakum tüplü kolektör ise 57.600 m² olarak hesap edilmiştir. Üretilen düzlemsel kolektörlerin %50'si, vakum tüplü kolektörlerin tamamı ülke içerisinde kullanıldığı bilinmektedir. 2012 yılında güneş kolektörleri ile yaklaşık olarak 768.000 TEP (Ton Eşdeğer Petrol) ısı enerjisi üretilmiştir. Üretilen ısı enerjisinin, 2012 yılı için konutlarda kullanım miktarı 500.000 TEP, endüstriyel amaçlı kullanım miktarı 268.000 TEP olarak hesaplanmıştır [88].

2. GÜNEŞ KOLLEKTÖRLERİ

Güneş enerjisini kullanarak içerisindeki akışkanın sıcaklığını artıran ısı değiştirgeçlerine güneş kolektörü (toplayıcısı) denilmektedir. Bu sistemlerin çalışma prensibi bir yüzeye düşen güneş ışınları yüzey tarafından yutulur. Bu ışınlar, ısı enerjisine dönüşür. Bu ısı iletim ve taşınım yoluyla akışkana iletilir. Bu şekilde akışkan sıcaklığını artırır [85].

Güneş kolektörlerini; düzlemsel kolektörler, odaklanmalı kolektörler ve hem odaklı hem de düzlemsel kolektörler olmak üzere üç grupta sınıflandırabiliriz. Düzlemsel kolektörler genelde 95 ^{o}C ‘de çalışan hareketsiz tip kolektörlerdir. Odaklanmalı tip kolektörler yüksek sıcaklıkta çalışan kolektörlerdir. Hem odaklanmalı hem de düzelmesel olan kolektörler ise 175 ^{o}C’ de çalışan kolektörlerdir [91].

Güneş kolektörlerinin daha verimli olması için aşağıdaki özelliklere dikkat edilmesi gerekmektedir.

- Güneşten gelen ışınım miktarının çoğunu absorbe etmelidir.
- Kolektörden dış ortama olan ısı kayıpları en aza indirilmelidir.
- Absorbe ettiği enerjiyi içerisindeki akışkana en iyi şekilde aktarmalıdır.
- Güneş ışınlarına dik konumlanmalıdır.
- Yutucu yüzey alanı daha fazla ışınım absorbe edebilmesi için artırılmalıdır.
- Yutucu yüzey akışkanın türbülanslı hareket etmesi için pürüzlüğü fazla olmalıdır [85].

Kolektörün uzun ömürlü olması için ise aşağıdaki durumlara dikkat edilmesi gerekmektedir.

- İklimsel değişikliklere dayanıklı olmalıdır.
- Sıcaklık farklarından dolayı oluşacak sıcaklık gerilmelerinden fazla etkilenmemelidir.
- Mor ötesi ışınlardan çok fazla etkilenmemelidir.
- Korozyon ve sızdırmazlık problemlerinden çok fazla etkilenmemelidir [85].

Maliyetinin düşük ve kurulumunun basit olması için ;

- Karışık bir yapı ihtiva etmemelidir.
- Kullanılan malzemelerin yerli malzemeler ve her yerde rahatlıkla bulunabilecek malzemeler olmasına dikkat edilmelidir.
- Ağırlık olarak hafif olmalıdır. Mukavemet açısından dayanaklı olmalıdır.
- Montajlanması kolayca yapılabilmelidir.
- Çabuk bozulmamalıdır.
- İşletme esnasında yeterince güvenlik önlemleri alınmış olmalıdır. Akışkanın kaynamasına ve donmasına karşı önlemler alınmış olmalıdır [85].

2.1. Düzlemsel Güneş Kollektörleri

Güneş ışınımın düştüğü alan ile kolektör yutucu yüzey alanın birbirine eşit olduğu kolektör tipleridir. Bu kolektörlerde güneş ışınımı saydam bir örtüden geçerek yutucu yüzeye çarpar. Güneş ışınlarının büyük bir bölümü bu yüzey tarafından yutulur. Daha sonra buradan kolektörde kullanılan akışkan tarafından depolanmak veya kullanılmak üzere aktarılır. Bu kolektörlerin kuzey yarım kürede güneye; güney yarım kürede ise kuzeye doğru konumlandırılır [85] .

Düzlemsel güneş kolektörleri içerisinde kullanılan akışkanlara göre sıvılı ve havalı kolektörler olmak üzere iki gruba ayrılır.

Düzlemsel havalı güneş kolektörleri dört ana kısımdan oluşmaktadır [86].

1. Saydam örtü
2. Yutucu yüzey
3. Yalıtım
4. Kollektör Kasası

2.1.1. Saydam Örtü

Kolektörde taşınımla olan ısı kaybını engellemek amacıyla kullanılır. Diğer bir görevi ise yutucu yüzeyin dolu, yağmur, kar ve toz gibi dış koşullardan zarar görmesini engellemektir.

Saydam örtü yutucu yüzeyden geri yansıyan ışınımları tutarak ısı kaybını engelleme şeklinde bir görevi de vardır. Saydam örtünün en temel özelliği gelen güneş ışınımlarını iyi geçirmelidir. Kızıl ötesi ışınları ise yansıtması istenmektedir [85].

Saydam örtü olarak çeşitli şeffaf malzemeler kullanılmaktadır. Bu malzemelerin en fazla kullanılan camdır. Cam optik ve mekanik olarak bu amaçla kullanılabilecek en iyi malzemedir. Camın kolay temin edilmesi, ucuz olması, güneş ışınlarını büyük bir oranda geçirmesi, yutucu yüzeyden geri dönen ışınları kolektör içinde tutabilmesi gibi özelliklerinden dolayı bu amaçla kullanılabilecek avantajlı bir malzemedir. 3 mm'lik Cam gelen güneş ışınlarının %90'nını geçirebilmektedir. %10'luk kısmını ise içerisindeki demir oksitten dolayı geri yansıtmaktadır. Bu nedenle camın demiroksit miktarının az olması kolektörün verimini artırıcı bir özelliktir [85].

Kolektörde kullanılan cam tabaka sayısının artması ile birlikte kolektörün verimi üzerinde olumsuz bir etkisi vardır. Ayrıca camın çok kalın olması da bu verimin düşmesine neden olmaktadır. Birden fazla örtü tabakası kullanılacaksa cam tabakalarının bir asit banyosundan geçirilmesi verimi artırmaktadır. Birden fazla cam tabakası kullanılması durumunda tabakalar arasındaki mesafenin 1 cm civarında olması gerekir az olması veya çok olması ısı transferini artıracağından dolayı verimin düşmesine neden olmaktadır [85].

Saydam örtünün sisteme montajlanması aşamasında sızdırmazlığa mutlaka dikkat edilmelidir. Sızdırmazlığın sağlanması amacıyla örtünün etrafına plastikten yapılmış cam fitillerinin kullanılması sızdırma problemini ortadan kaldırmaktadır [85].

2.1.2. Yutucu Yüzey

Güneşten gelen ışınımların ısı enerjisine dönüştürüldüğü kısım yutucu yüzeydir. Bu yüzey güneş ışınımlarını yutma oranı yüksek olan malzemelerden seçilmelidir. Ayrıca renk olarak da güneş ışınımlarını yutma oranı en yüksek olan mat siyah renk seçilmelidir. Isı iletim katsayısı yüksek olan bakır, alüminyum ve paslanmaz çelik gibi malzemeler kullanılması verim açısından olumlu etki göstermektedir. Yutucu yüzey için kullanılacak malzemelerin korozyondan etkilenmemesi gerekmektedir. Mekanik açıdan dayanıklı olması istenir [85].

Yutucu yüzey olarak kullanılan malzemelerin yutma oranı düşük olduğundan ya boyanmalı yada seçici yüzey ile kaplanmalıdır. Seçici yüzeyler kısa dalga boylu ışınımların tamamına yakınını emerken uzun dalga boylu ışınlarının yayılımını minimum seviyeye düşürür. Seçici yüzeyler eletroliz, metal sprey ve kimyasal oksidasyon gibi yöntemler kullanılmaktadır[85].

İyi bir yutucu yüzeyin özellikleri aşağıdaki gibidir.

1. Yutucu yüzeye gelen kısa dalga boylu ışınları yutma oranı yüksek, yansıtma oranı düşük olmalıdır.
2. Sıcaklığa karşı dayanıklı olmalıdır. Sıcaklık değişimlerinden etkilenmemelidir.
3. Kaplamasını uzun süre koruyabilmelidir. Boyanmışsa boyası erken zamanda soyulmamalı; kaplanmışsa kaplamasında bozulma olmamalıdır.
4. Temizlenmesi kolay olmalıdır [85].

Yutucu yüzeyin alanının kolektör verimi üzerinde önemli bir etkisi vardır. Bu nedenle kullanılacak yutucu yüzeyin alanının artırılması için çeşitli yöntemler kullanılmaktadır. Bu yöntemlerden en fazla kullanılanı kanatlardır. Kanatlar yutucu yüzeyin üstüne, altına ve hem üstüne hem de altına yerleştirilebilinir. Üstte olması durumunda güneşten gelen ışınımları daha fazla yutmasını ve daha fazla ısı enerjisine dönüştürülmesini sağlar. Ancak cam yüzey ile yutucu arasında kanat kullanılması durumunda akışkanında buradan geçirilmesi gerekmektedir. Fakat bu durumda akışkandan cam örtüye daha fazla ısı geçişi olacağında ısıl kayıpların artmasına neden olacaktır. Ayrıca yüzeyde var olan tozların akışkana karışmasına neden olur. Kanatların altta kullanılması durumunda ise akışkanın da alt taraftan geçmesi gerekmektedir [85].

2.1.3. Yalıtım

Kolektördeki ısı kayıplarını azaltmak için kasanın yalıtılması gerekmektedir. Bu amaçla cam yünü, taş yünü ve poliüretan köpük gibi ısı iletim katsayısı düşük malzemeler kullanılmaktadır. Yalıtım amaçlı kullanılacak malzemelerde ısı iletim katsayısı düşük, yüksek sıcaklığa ve neme dayanıklı, mukavemet açısından dayanıklı, maliyet olarak ucuz ve rahatlıkla bulunabilen bir malzeme olmalıdır. Kolektörlerin yan yüzeylerinin yalıtılmasında 20-50 mm kalınlığında ara yüzeyleri yalıtmak için ise 50-100 mm kalınlığında cam yünü kullanılmaktadır [85].

2.1.4. Kolektör kasası

Kolektörü oluşturan dış kısımdır. Kasa malzemesi seçilirken dış etkenlerden az etkilenmelidir. Hafif olmasına dikkat edilmelidir. Taşınması kolay olmalıdır. Kasanın boyutlandırılmasında dayanıklılık esas alınımladır. Kollektör kasası genelde 0,7-1 mm kalınlığında sac veya galvanizli sacdan imal edilmektedir. Ayrıca kasa malzemesi olarak ağaç malzemelerde kullanılmaktadır. Ağaç malzeme ısı iletimi düşük olduğunda kayıpların azaltılmasına yardımcı olmaktadır. Ağaç malzemelerin yüksek sıcaklığa dayanıklı olmayışı ise dezavantajıdır. Metal malzemelerin yüksek sıcaklığa dayanıklıdır. Ancak metal malzemelerin ise ısı iletim katsayısı yüksek olduğunda ısıl kayıplar açısından olumsuz bir etkisi vardır [85].

Kolektörde kullanılan malzemelerde dikkat edilmesi gereken bir özellikte ısıl genişlemedir. Kolektörün dizaynında mutlaka göz önüne alınması gereken bir durumdur. Saydam örtünün seçimi ve boyutlandırılması yapılırken ısıl genleşmelere dikkat edilmelidir. Hatalı bir boyutlandırılma saydam örtüde çatlamalara ve kırılmalara neden olabilir. Ayrıca kullanım esnasında sızdırmalara neden olabilmektedir [85].

2.2. Birinci Yasa (Enerji) Analizi

Güneş enerjili düzlemsel bir kolektörde yararlı ısı aşağıdaki denklem ile hesaplanabilir.

$$Q_C = \dot{m} C_p (T_ç - T_g) \tag{2.1}$$

Bu denklemede Q_C ,faydalı ısı (W); $\dot{m}$,kütlesel debi (kg/s); C_p ,akışkanın özgül ısı (J/KgK) ; $T_ç$ ve T_g, sırasıyla akışkanın kolektöre giriş ve çıkış sıcaklıklarını göstermektedir.

Düzelmesel kolektörlerde I. Kanun verimi faydalı ısının absorbe edilen ısıya oranıdır.

$$\eta = \frac{\dot{m} C_p (T_{out} - T_{in})}{IA} \tag{2.2}$$

Burada I , kolektör düzleminin birim alanına gelen ışınım miktarı (W/m^2); A ise kolektörün alanıdır (m^2).

2.3. İkinci Yasa (Ekserji) Analizi

Ekserji analizi yapılırken aşağıdaki kabuller yapılmıştır.

- Sistemden ısı ve iş transferi yönleri pozitiftir.
- Kararlı durum ve kararlı akış şartları
- Potansiyel ve kinetik enerji değişimleri ihmal edilmiştir.
- Kimyasal veya nükleer reaksiyon olmadığı kabul edilmiştir.
- Hava ideal gaz kabul edilmiştir. Nem içeriği ihmal edilmiştir.

Kütle denge denklemi aşağıdaki gibi yazılır;

$$\sum \dot{m}_g = \sum \dot{m}_ç \tag{2.3}$$

Enerji denge denklemi ise aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$\sum \dot{E}_g = \sum \dot{E}_ç \tag{2.4}$$

Ekserji denge denklemi ise ;

$$\sum \dot{Ex}_g - \sum \dot{Ex}_ç = \sum \dot{Ex}_{kayıp} \tag{2.5}$$

Yada

$$\dot{Ex}_{ısı} - \dot{Ex}_{iş} + \dot{Ex}_{kütle,g} - \dot{Ex}_{kütle,ç} = \dot{Ex}_{kayıp} \tag{2.6}$$

Şeklinde yazılır. Eşitlik (1.6) genel ekserji denklemi şeklinde aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$\sum \left(1 - \frac{T_e}{T_s}\right) \dot{Q}_s - \dot{W} + \sum \dot{m}_g \psi_g - \sum \dot{m}_ç \psi_ç = \dot{Ex}_{kayıp} \tag{2.7}$$

Burada

$$\psi_g = \left(h_g - h_e\right) - T_e\left(s_g - s_e\right) \tag{2.8}$$

$$\psi_ç = \left(h_ç - h_e\right) - T_e\left(s_ç - s_e\right) \tag{2.9}$$

Eşitlik (1.8)ve (1.9) , eşitlik (1.7)'de yerine yazılırsa;

$$\left(1-\frac{T_e}{T_s}\right)\dot{Q}_s - \dot{m}\left(h_ç - h_g\right) - T_e\left(s_ç - s_g\right) = \dot{E}x_{kayıp} \tag{2.10}$$

Absorbe edilen enerji miktarı;

$$\dot{Q}_s = I\left(\tau\alpha\right)A \tag{2.11}$$

Entalpi değişimi ;

$$\Delta h = h_ç - h_g = c_p\left(T_{f,ç} - T_{f,g}\right) \tag{2.12}$$

Entropi Değişimi ;

$$\Delta s = s_ç - s_g = c_p \ln\frac{T_{f,ç}}{T_{f,g}} - R\ln\frac{P_ç}{P_g} \tag{2.13}$$

Eşitlik (1.11), (1.12) ve (1.13) eşitlik (1.10)'da yerine yazılırsa;

$$\left(1-\frac{T_e}{T_s}\right)I\left(\tau\alpha\right)A - \dot{m}c_p\left(T_{f,ç} - T_{f,g}\right) + \dot{m}c_pT_e\ln\frac{T_{f,ç}}{T_{f,g}} - \dot{m}RT_e\ln\frac{P_ç}{P_g} = \dot{E}x_{Kayıp} \tag{2.14}$$

Elde edilir.

Tersinmezlik;

$$\dot{E}x_{Kayıp} = T_eS_{Üretilen} \tag{2.15}$$

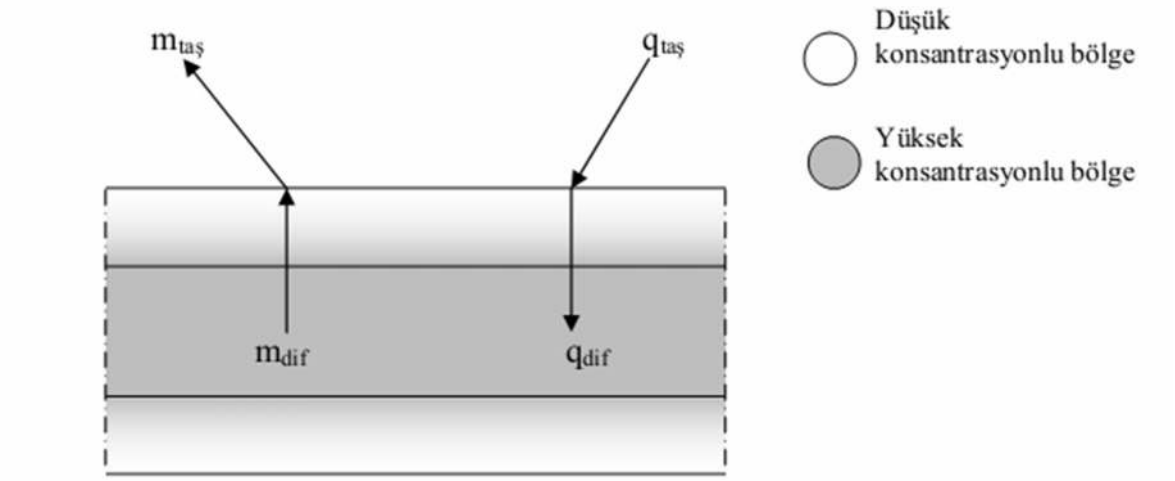
İkinci kanun verimi ise ;

$$\eta_{II} = 1 - \frac{T_eS_{Üretilen}}{\left[1-\left(T_e/T_s\right)\right]\dot{Q}_s} \tag{2.16}$$

Elde edilmiş olur.

3. KURUTMA VE KURUTMA SİSTEMLERİ

Kurutma eş zamanlı olarak bir maddeden sıvının uzaklaştırılması işlemidir. Bu işlem esnasında hem kütle hemde ısı transferi gerçekleşmektedir. Bu süreç şekil 3.1'de gösterildiği gibi gerçekleşmektedir.



Şekil 3.1. Kurutma prosesinde eş zamanlı ısı ve kütle transferi [92].

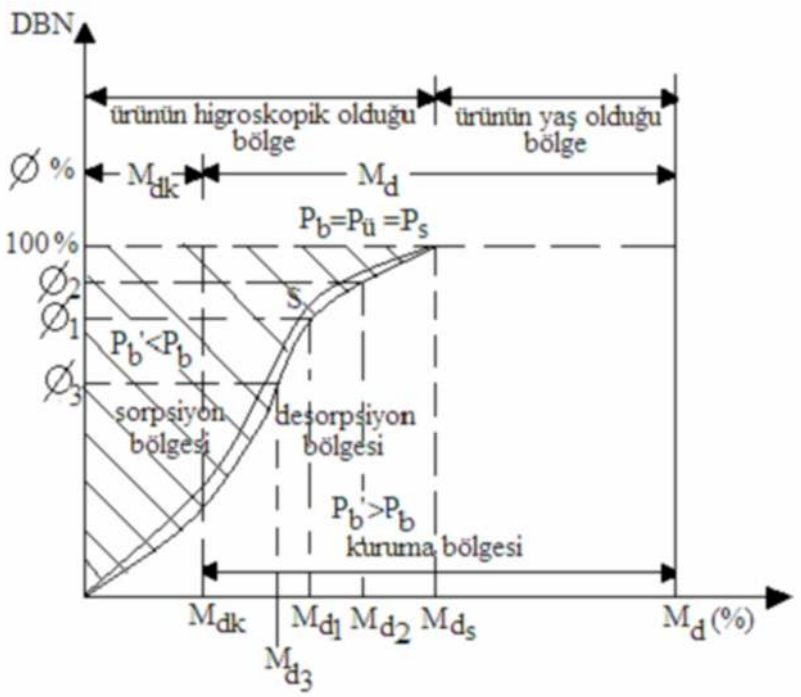
Kurutma havası kurutulan ürünün üzerine taşınılma ısı transfer etmektedir. Buradan da difüzyon ile ürünün içine ısı transferi gerçekleşmektedir. Ürünün iç kısmından dış kısmına difüzyon ile nem taşınmaktadır. Dış yüzeyden kurutma havasına da taşınımla nem taşınmaktadır. Nem sıvı difüzyonu yada kılcal etki ile olmaktadır [92].

Kuruma sırasında materyalde meydana gelen değişmeler statik ve kinetik açıdan incelenebilir.

3.1. Kurumanın Statiği

Statik açıdan kurumanın incelenmesinde hava ve materyal arasındaki denge zaman dikkate alınmadan incelenmektedir. Denge, materyalin çevreye nem vermesi (desorpsiyon) veya çevreden nem alması (sorpsiyon) sonucunda oluşur. Denge oluştuğunda, havada bulunan su buharının kısmi basıncı (P_b) ile ürünün yüzeyinde bulunan suyun buhar basıncı ($P_ü$) birbirine eşittir. Kuruyan materyalin yüzey sıcaklığı yaklaşık olarak çevre havasının yaş termometre sıcaklığına eşit olduğundan, $P_ü=P_b$ alınabilir. Bu nedenle, denge durumunda, materyalin ulaştığı nem (M_d), havanın kısmi buhar basıncına ve sonuç olarak bağıl nemine (Φ) bağlıdır [93].

Kurumakta olan bir materyalin hava ile arasındaki nem alışverişi sonucunda ulaşabileceği üst nem sınırı, o materyalin Higroskopik Limiti olarak tanımlanır. Bir başka deyişle higroskopik limit, bağıl nemin %100 olduğu şartlarda, bir materyalin ulaşabileceği en yüksek denge nemi değeridir (M_{ds}). Herhangi bir materyalin sorpsiyon izoterm eğrisi kurutma açısından incelendiğinde, sorpsiyon ve desorpsiyon bölgeleri şekil 3.2 de gösterilen şekilde belirtilebilir [93].



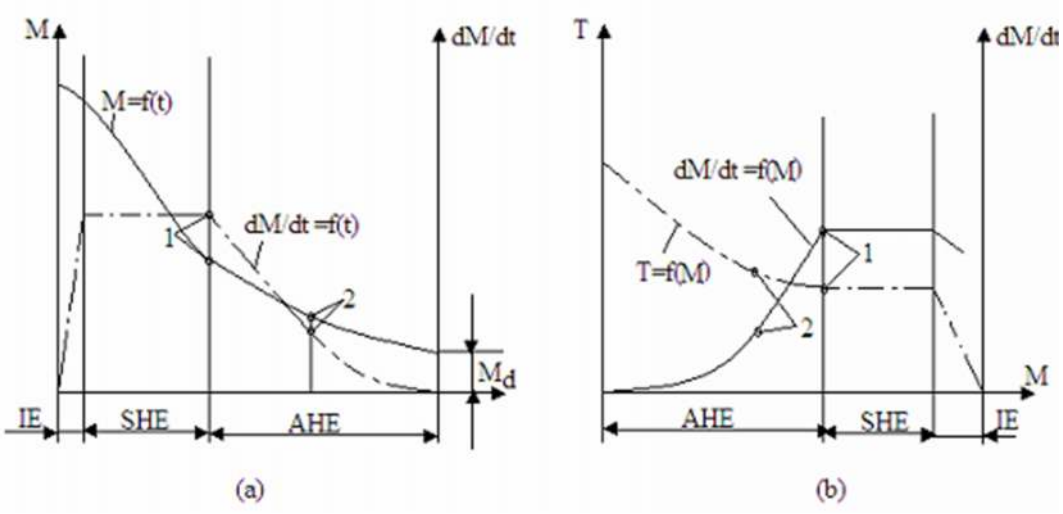
Şekil 3.2. Sorpsiyon eğrisinin kurutmanın statiği açısından anlamı [93]

3.2. Kurumanın Kinetiği

Kurumanın kinetik açıdan incelenmesi sırasında, materyal ile çevresindeki hava arasındaki nem alışverişi, kuruma sürecinde geçen zaman da dikkate alınarak irdelenir. Herhangi bir materyalin kuruması kinetik açıdan incelenirken,

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

arasındaki ilişkiler dikkate alınır.



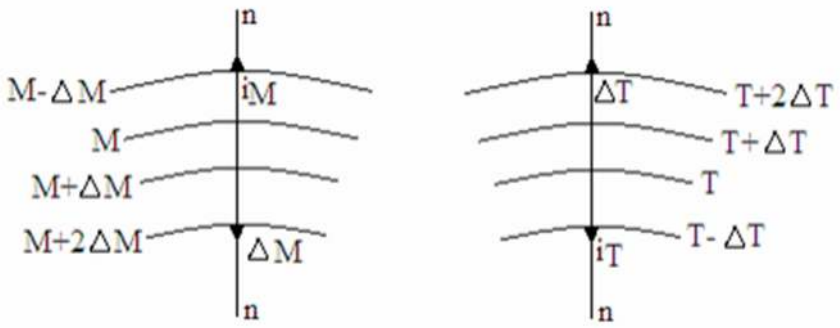
Şekil 3.3. Kurumanın kinetik eğrileri [93]

Şekil 3.3'ün incelenmesi sonucunda, kuruma süreci içinde üç karakteristik evreyle karşılaşılmaktadır. Bu evreler,

- Materyalin ısınma evresi (IE)
- Sabit hızla kuruma evresi (SHE)
- Azalan hızla kuruma evresi (AHE)

şekilde adlandırılabilir.

Yapısı içinde nem ve sıcaklık dağılımının düzgün olduğunu varsaydığımız bir materyal, kendisinden daha sıcak bir ortama yerleştirildiğinde çevreden ısı alarak sıcaklığı artmaya başlar. Sıcaklık artışı, yüzeyden başlayarak materyalin iç kısımlarına doğru ilerler. Sıcaklık artışına paralel olarak, yüzeyde bulunan nem hızla buharlaşarak ayrılır. Bu oluşumların sonucunda, materyal içindeki nem ve sıcaklık dağılımının başlangıçtaki tekdüzeliği bozulmaya başlar. Yüzey sıcaklığı iç kısımlara göre artarken, bu katmanlardaki nem giderek azalır. Materyalin yapısı içinde, sıcaklık ve nem konsantrasyonu açılarından farklı değerlere sahip katmanlar oluşur. Bu katmanlarda oluşan eşit sıcaklıktaki noktaların birleştirilmesiyle izotermal, eşit nem değerine sahip noktaların birleştirilmesiyle de izopotansiyel çizgileri elde edilir (Şekil 3.4) [93].



Şekil 3.4. Kuruyan materyalde oluşan izotermal ve izopotansiyel çizgileri [93]

Kuruyan materyalde nem konsantrasyonu iç katmanlardan dışa doğru azalırken, sıcaklık değeri ise ters yönde, dış katmanlardan içe doğru azalır. Materyalin içindeki nemin hareketi sırasında bu iki gradiyentin etkisi birbirine terstir. Nem, konsantrasyon farkına bağlı olarak, iç kısımlardan dış katmanlara doğru hareket eder, sıcaklık farkına bağlı olan nem hareketinin yönü ise, sıcaklık dış katmanlarda daha yüksek olduğundan, dıştan iç kısımlara doğrudur [93].

3.3. İnce Tabaka Kuruma Kuramı

İnce tabaka kavramı, kurutulacak ürünün yalnızca bir tanenin kalınlığına sahip olacak şekilde serilmesiyle elde edilen, kuramsal bir ürün tabakasını belirtir. Bu kavram, kurutma havasının bu tabakanın içinden geçerken sıcaklık ve nem değerlerinde bir değişikliğin olmadığı kabulünü yapabilmemizi sağlamaktadır [93].

3.3.1. Sabit Hızda Kuruma Safhası

Tahılların kurutulması sırasında, eğer taneler doğrudan suyla temasa gelmemişlerse, bu evre görülmez[93].

Sabit hızla kuruma evresi süresince,

- Ürün yüzeyinin ince bir su filmiyle kaplı olduğu,
- Kuruma hızının, kurutma havasının sıcaklığından, bağıl neminden ve hızından etkilendiği,
- Kuruma hızının, ürünle ilgili unsurlardan etkilenmediği,

- Ürün yüzey sıcaklığının, kurutma havasının yaş termometre sıcaklığına eşit olduğu,
- Yüzeyindeki su buharı basıncının, yüzey sıcaklığına eşit sıcaklıktaki doymuş buhar basıncına eşit olduğu

kabul edilir. Bu ön kabullerden de anlaşılacağı gibi, sabit hızla kuruma evresinde buharlaşan su miktarının aynı koşullardaki serbest su yüzeyinden buharlaşan su miktarına eşit olduğu varsayılmaktadır. Oysa, yapılan gözlemler, bu evrede üründen buharlaşan suyun serbest su yüzeyinden buharlaşandan yaklaşık %30 daha az olduğunu göstermektedir.

Bu evre sırasında, kurutma havası ile ürün arasındaki ısı ve kütle iletimi aşağıdaki eşitliklerle belirtilebilir[93]:

Kurutma havasından ürüne iletilen ısı miktarı:

$$Q=h.A_s.(T_\infty-T_s) \tag{3.1}$$

Üründen kurutma havasına birim zamanda iletilen su buharı miktarı:

$$m_s = h_D.A_s.\left(K_y - K_h\right) = \frac{h_D.A_s.M_s}{R.T_m}.\left(P_b^{'} - P_b\right) \tag{3.2}$$

Üründen ayrılan suyun buharlaşabilmesi için gerekli enerji:

$$E = m_s.q_b^{"} \tag{3.3}$$

(3.1),(3.2) ve (3.3) numaralı eşitliklerden yararlanılarak, birim zaman içinde üründen ayrılan nem miktarı (kuruma hızı) aşağıda belirtilen eşitlik yardımıyla bulunabilir.

$$\frac{dM}{dt} = \frac{h_D.A_s}{R.T_m}.\left(P_b^{'} - P_b\right) = \frac{h.A}{q_b}.\left(T\infty - Ts\right) \tag{3.4}$$

SHE sırasında, kurumayla ilgili bazı değerlendirmeler için, daha önce belirtilen esaslar göz önünde tutularak geliştirilmiş başka eşitliklerden de yararlanılabilir [93].

3.3.2. Azalan Hızla Kuruma Evresi

Azalan hızla kuruma evresi sırasında, kuruma hızının ve süresinin belirlenmesi sabit hızla kuruma evresine göre daha karmaşıktır. Yalnızca materyalin yüzeyinden konveksiyonla ısı ve kütle iletimi söz konusu değildir. Bu evrede, ürün içindeki ısı ve kütle difüzyonunun da dikkate alınması gerekmektedir [93].

Azalan hızla kuruma evresi sırasındaki kuruma olayını incelemek amacıyla teorik, yarı teorik ve deneysel yöntemlerle elde edilen çeşitli matematik modellerden yararlanmak mümkündür. Bu modellerin bazı yararlı ve sakıncalı yönlerinin olduğu kuşkusuzdur. Teorik modeller, her madde ve koşul için uygulanabilirler. Ancak, çözümü gereken eşitliklerin birçok parametre ve karmaşık yapı içermesi, bu tür modellerin kullanışlılığını azaltmaktadır. Yan teorik modeller, daha az karmaşık olmakla birlikte, içerdikleri parametrelerin yalnızca ele alınan ürünlerle ilgili olması yaygın kullanım alanı bulmalarını engellemektedir. Deneysel yollarla elde edilen verilere dayanarak kuruma hızının belirlenmesinde, karmaşık matematik eşitlikler yoktur. Ancak, elde edilen eşitlikler deneme yapılan materyal ve deneme koşulları için geçerlidir; başka koşullarda kullanılamazlar [93].

Azalan hızla kuruma evresiyle ilgili teorik ve yarı teorik kuruma modellerinin geliştirilmesi sırasında, işlemleri biraz daha kolaylaştırmak amacıyla, bazı ön kabuller yapılır. Bu kabullenmeler aşağıda belirtilen şekilde sıralanabilir:

- Ürün içindeki nem dağılımı homojendir.
- Kuruma madde içindeki nemin su ve buhar fazında difüzyonu sonucu oluşur.
- Difüzyon
  - nem konsantrasyonu farkı,
  - sıcaklık konsantrasyonu farkı ve
  - buhar basınçları konsantrasyonu farkı

gibi etkenlere bağlı olarak oluşur.

- ✓ Kurutma havasının özellikleri (sıcaklık, hız, bağıl nem) kuruma süresince değişmez
- ✓ Ürün ince bir tabaka şeklinde serilidir.

Luikov ve arkadaşları, herhangi bir materyalde suyun iletimi ve buharlaşarak ayrılmasını kontrol eden unsurları dikkate alarak kılcal borulu yapıya sahip, gözenekli materyaller için teorik bir model geliştirmişlerdir. Bu matematik model üç kısmi diferansiyel denklem takımından oluşmaktadır[93].

$$\frac{\partial M}{\partial t} = \nabla^2 K_{11} M + \nabla^2 K_{12} T + \nabla^2 K_{13} P \tag{3.5a}$$

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \nabla^2 K_{21} M + \nabla^2 K_{22} T + \nabla^2 K_{23} P \tag{3.5b}$$

$$\frac{\partial P}{\partial t} = \nabla^2 K_{31} M + \nabla^2 K_{32} T + \nabla^2 K_{33} P \tag{3.5c}$$

Yukarıdaki (3.5,a,b,c) eşitliklerinde yer alan M nemi, T sıcaklığı, P basıncı, t zamanı ve K ürün ve çevre ile ilgili doğal katsayıları belirtmektedir. Günümüzde, bu katsayıların tarım ürünleriyle ilgili olanlarının pek azı belirlenebilmiştir. Bu nedenle, yukarıdaki denklem takımlarını kullanılabilir duruma getirebilmek amacıyla bazı terimlerden vazgeçilip, sadeleştirme yapılır. İkinci bir sadeleştirme, sıcaklık konsantrasyonu farkından ötürü meydana gelen nem iletiminin ihmal edilmesiyle yapılabilir. Daha önce de belirtildiği gibi, nem konsantrasyonu farkına bağlı olarak meydana gelen nem iletimiyle karsılaştırıldığında, sıcaklık farkına bağlı iletim, dikkate alınmayabilecek ölçülerdedir Yukarıda sıralanan sadeleştirmeler sonucunda, azalan hız evresi sırasındaki kuruma hızı, yalnızca bir kısmi diferansiyel denklemlerle ifade edilebilir [93].

$$\frac{\partial \mathrm{M}}{\partial \mathrm{t}} = \nabla^2 \mathrm{K}_{11} \mathrm{M} \tag{3.6}$$

(3.6) numaralı eşitlikte “K” katsayısı yerine, difüzyon katsayısı “D” kullanılabilir. Bu durumda elde edilen denklem kartezyen ve küresel koordinat sistemlerine göre yazılırsa sırasıyla;

$$\frac{\partial \mathrm{M}}{\partial \mathrm{t}} = \frac{\partial\left(\mathrm{D}\frac{\partial \mathrm{M}}{\partial \mathrm{x}}\right)}{\partial \mathrm{x}} + \frac{\partial\left(\mathrm{D}\frac{\partial \mathrm{M}}{\partial \mathrm{y}}\right)}{\partial \mathrm{y}} + \frac{\partial\left(\mathrm{D}\frac{\partial \mathrm{M}}{\partial \mathrm{z}}\right)}{\partial \mathrm{z}} \tag{3.7}$$

$$\frac{\partial M}{\partial t} = \frac{1}{R^2} . \frac{\partial}{\partial r} . \left(R^2 . D . \frac{\partial M}{\partial r} \right) \tag{3.8}$$

elde edilir. Bu eşitlikte R, materyalin ele alınan boyutunu (örneğin, materyal küre şeklindeyse yarıçapını) belirtmektedir.

(3.8) numaralı eşitliğin, küre, sonsuz yassı levha ve sonsuz silindirik cisimlerin, herhangi bir "t" anındaki ortalama nem düzeyleri dikkate alınarak yapılan genel çözümü aşağıda belirtilmiştir.

$$\frac{M - M_e}{M_o - M_e} = \sum_{n=1}^{\infty} B_n . \exp\left(-\mu_n^2 . Fo_m\right) \tag{3.9}$$

(3.9) numaralı eşitlikte yer alan M_0, M ve M_e sırasıyla ürünün ilk nemini, gözlem anındaki (t) nemini ve denge nemi değerlerini belirtmektedir. B_n ve μ_n çeşitli geometrik şekiller için eşitlikte yer alması gereken ifadeleri belirtmektedir. "Fo_m" Fourier sayısını belirtmektedir. Fourier sayısı,

$$Fo_{mo} = Dt / R^2 \tag{3.10}$$

olduğundan, bu değer (3.9) numaralı eşitlikte yerine koyulup, eşitlik küre şekilli cisimler için yeniden düzenlenirse;

$$\frac{M - M_e}{M_o - M_e} = \frac{6}{\pi^2} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{1}{n^2} . exp\left[-n^2 . \pi^2 \frac{D.t}{R^2}\right] \tag{3.11}$$

seri açılımının ilk terimi alınıp ayrıca $\left[\pi^2 \frac{D}{R^2}\right]$ yerine (k) yazılarak, küre için basitleştirilmiş,

$$\frac{M - M_e}{M_o - M_e} = \frac{6}{\pi^2} . \exp\left(-kt\right) \tag{3.12}$$

eşitliği elde edilir.

Difüzyon katsayısı gerçekte sabit değildir, nem içeriği ile değişir. D değeri küçük nem içeriklerinde daha azdır ve kuruma yüzeyi yakınında çok küçük olabilir. Pratikte kurutulan materyalde ortalama bir D değeri deneysel olarak hesaplanabilir. Bu amaçla aşağıdaki eşitlik kullanılır.

$$t = \frac{4L^2}{\pi^2 .D} .\ln \frac{8\left(M_o - M_e\right)}{\pi^2 \left(M - M_e\right)} \tag{3.13}$$

Eğer yassı düz levha için $\ln \frac{8\left(M_o - M_e\right)}{\pi^2 \left(M - M_e\right)}$ ifadesine karşı zaman grafiği çizilirse bir doğru elde edilir ve bu doğrunun eğiminden D difüzyon katsayısı hesaplanır.

Difüzyon yavaş kuruyan materyallerin karakteristik davranışıdır. Katı yüzeyinden havaya su buharının kütle transferi direnci genellikle ihmal edilir ve bütün kuruma hızını katıdaki difüzyon kontrol eder. Böylece yüzeydeki nem içeriği denge değerindedir veya denge değeri çok yakındır. Sıcaklıkla difüzyon katsayısı arttığından, katıdaki sıcaklığın artmasıyla kuruma hızı artar.

Azalan hızla kuruma evresi sırasında materyalin içinde oluşan nem iletimi, Newton' un soğutma yasasına benzetilerek açıklanmaya çalışılır. Söz konusu yasa, cisim ile çevre arasındaki sıcaklık farkının çok büyük olmaması şartıyla, sıcaklığı değişmez kabul edilen bir ortam içine konulan bir cismin sıcaklığındaki değişim miktarının, cisim ve çevre sıcaklıkları arasındaki farkla orantılı olduğunu belirtmektedir. Bu yasa matematik olarak aşağıdaki eşitliklerle gösterilebilir .

$$\frac{dT}{dt} = -k\left(T - T_e\right) \tag{3.14}$$

Nem içeriği değişmez kabul edilen bir ortam içinde bulunan herhangi bir materyalin neminde meydana gelen değişim aşağıdaki gibi elde edilebilir.

$$\frac{dM}{dt} = -k\left(M - M_e\right) \tag{3.15}$$

Veya

$$\frac{dM}{M - M_e} = -kdt \tag{3.16}$$

Denklem 3.16' de ki diferansiyel eşitliğin çözümü aşağıdaki şekildedir,

$$MR = \frac{M - M_e}{M_o - M_e} = \exp\left(-kt\right) \tag{3.17}$$

3.4. Kalın Tabaka Kuruma Kuramı

Kurumakta olan ürünün oluşturduğu tabakanın kalınlığı, bir tane kalınlığını aştığında, ince tabaka formundaki kuruma için geliştirilen eşitlikler yetersiz kalır. Bunun baş nedeni, kurutma havası özelliklerinin, kalın ürün tabakasından geçerken sürekli olarak değişime uğramasıdır. Kalın tabaka formundaki ürün yığınının kurumasına ilişkin olarak geliştirilen yöntemler, ürün tabakasının hareketsiz ve hareketli olmasına göre farklılık gösterir [93].

3.5. Kurutma Modelleri

Kurutma modelleri basit ve karmaşık kurutma modelleri olmak üzere iki ana grupta toplamak mümkündür. Basit kurutma modelinde kurutma mekanizmalarından sadece bir tanesinin azalan kuruma hızı devresindeki kurutma hızını kontrol ettiği kabul edilir. Karmaşık modellerde ise iki veya daha fazla kurutma mekanizmalarının aynı anda meydana geldiği ve kurutma hızını beraberce etkiledikleri kabul edilir.

Basit modeller

- Difüzyon Modeli
- Kılcal Akım Modeli

Karmaşık modeller

- Peck Modeli
- Lykon Modeli
- Morgan Modeli

3.6. Gıdaların Kurutulması Sırasında Meydana Gelen Fiziksel Değişiklikler

Ürünlerin kurutulması esnasında ve sonrasında yaş haline göre bazı fiziksel değişiklikler meydana gelmektedir. Bu değişiklikler;

Kabuk bağlama: Kurutma koşullarının hatalı seçilmesine bağlı olarak oluşan bir durumdur. Kurumanın ilk devresinde yüksek sıcaklık kullanılmasıyla üst kısımda hızlı bir

kuruma gerçekleşir. Üst tabaka alt tabakalara baskı yapar. Ancak alt tabaka halen yaştır. Bundan dolayı büzüşmeye izin vermez. Bu durumda üst tabakada sert bir kabuk oluşur. Bunun sonucu olarak da kuruma hızında ani bir düşme gözlemlenir. Bu durum genelde şekerli gıdalarda çok fazla gözlemlenmektedir[91].

Kitle yoğunluğunda değişmeler: Herhangi bir materyalin birim hacminin ağırlığına kitle yoğunluğu denir. Kurutulmuş bir ürünün kitle yoğunluğu, onun kurutulmasında uygulanan koşulların bir belirtecidir. Ayrıca kitle yoğunluğu, kurutulmuş ürünün bir kalite ölçüsüdür. Ürünlerin kurutulması ile birlikte büzüşmeye bağlı olarak hacimleri değişmektedir. Kurutma koşullarına bağlı olarak bu hacim düşüşü değişiklik göstermektedir. Hacim düşüşü çok fazla olmayan ürünler –kitle yoğunluğu düşük ürünler- kurutulmamış ürünlere daha çok benzediğinden daha çok tercih edilmektedir [91].

Kurutulmuş ürünün rehidrasyon yeteneği: Kurutulmuş bir üründe aranan en önemli nitelik, bunun kullanılması sırasında verilen su ile eski haline dönüşebilme düzeyidir. Yani kurutulmuş bir ürün suda tutulunca, taze halinde içerdiği kadar su alarak eski haline ve şekline dönüşürse, mükemmel niteliklerde olduğu kabul edilir. Bu özellik dondurularak kurutulmuş ürünlerde önemli ölçüde sağlanabilirse de, geleneksel kurutma yöntemleriyle kurutulanlarda önemli ölçüde kaybedilmiş olur [91].

3.7. Gıdaların Kurutulması Sırasında Meydana Gelen Kimyasal ve Diğer Değişmeler

Kurutulan gıda ürünlerinde fiziksel değişme ile birlikte kimyasal değişikliklerde oluşur. Ürünün renginde, beslenme değerinde, lezzetinde ve vizkostesinde değişiklikler meydana gelmektedir. Bu değişiklikler ürüne özgü olduğu gibi kuruma hızını etkileyen sıcaklık hava hızı nemi gibi parametrelere göre de değişiklik göstermektedir.

En önemli olumsuzluk renk esmerleşmesidir. “Maillard Tepkimesi” adı verilen renk esmerleşmesinde şekerlerin aldehit ve proteinlerin amino grupları rol oynar. Daha çok enzimatik olmayan bu esmerleşme tepkimeleri sıcaklık dereceleri arttıkça ve tepkimeye giren öğelerin ortamdaki konsantrasyonları yükseldikçe hızlanmaktadır. %2 nemin altında esmerleşme tepkimeleri olmazken %15–20 arasında Maillard tepkimeleri en hızlı şekilde oluşur. Depolamada her 10°C sıcaklık artışının, esmerleşme tepkime hızının (ürünün su oranına bağlı olarak) 6–8 kat artışına sebep olduğu anlaşılmıştır. [94]

Kurutulan ürünlerde bir diğer olumsuz yön ise gerek kurutma işlemleri sırasında gerekse depolama esnasında ürünün beslenme değerinde bazı kayıplar olmasıdır. Bazı ürünlerde suda eriyen öğe ve vitaminlerde azalma görülür [94].

Diğer taraftan kurutma işlemi, ürünün mikroflorasını olumsuz yönde değiştirebilmektedir. Örneğin bazı patojenik mikroorganizmalar uzun süre canlı kalmakta, gıda zehirlenmesi yapan bazı mikroorganizmalar yaygın olarak bulunabilmektedir [94].

3.8. Kurutma Sistemleri

Tarım ürünlerinin kurutulmaları sırasında kullanılan kurutucular, ürünün özelliklerine uygun olmasının yanı sıra, kurutma işleminden beklenen özellikleri de sağlayacak yetenekte olmak zorundadır. Bu nedenle, birbirinden önemli farklılıklar gösteren çok çeşitli tiplerde kurutucular geliştirilmiştir. Tarım ürünlerinin kurutulması için, bu işleme gerek duyulan ilk günlerden günümüze kadar geçen süre içinde, güneş ışınlarının altına sermekten, dielektrik kurutma tekniklerine kadar geliştirilmiş birçok yöntem bulunmaktadır. Bazı çok uygulanan temel kurutma yöntemleri aşağıda belirtilen şekilde sıralanabilir [93].

Kontakt kurutma: Bu yöntemde, kurutma için gerekli ısı enerjisi, kurutulacak materyale, ısıtılmış yüzeylerden kondüksiyon yoluyla iletilir. Kurutulan ürüne iletilen ısı, sıcak yüzeye değen yaş materyalin ısıl kondüktivitesine ve sıcak yüzeyin ısı iletim katsayısına bağlıdır [93].

Konvektif kurutma: Bu yöntemde ısı, kurutucu ortamdan (genellikle sıcak hava kullanılır) yaş materyale konveksiyon yoluyla iletilir. Sıcak hava, kurutulan ürün tabakasının üzerinden, ya da içinden geçirilir. Bu yöntemin ısıl etkinliği kontakt kurutmaya göre daha düşüktür [93].

Işınım ile kurutma: Bu yöntemde kurutma için gerekli ısı enerjisi, yaş materyale, kırmızı ötesi bölgesinde yer alan ışınlarla iletilir. Bu ışınlar, içinden geçtikleri ortamı ısıtmaz; kendilerini absorbe eden cisimleri ısıtırlar. Kızılötesi ışınların, yaş materyalin yüzeyinden itibaren etkilediği derinlik oldukça az olduğundan, bu yöntem ince film şeklinde serili tabakaların kurutulmasında kullanılır [93].

Dielektrik kurutma: Bu yöntemde kurutma için gerekli olan ısı enerjisi yüksek frekanslı elektromanyetik alanda radyo dalgası bölgesinde mikrodalga ortamında olmak üzere yaş materyalin içinde oluşmaktadır [93].

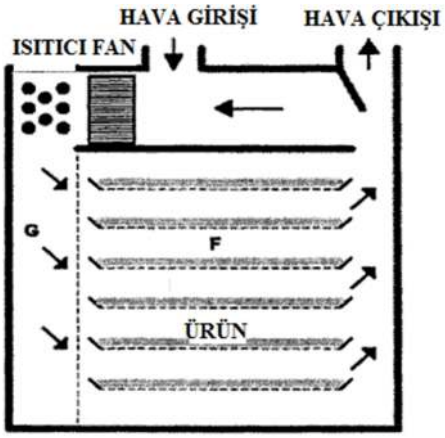
Donmalı kurutma: Dondurarak kurutma farmakolojik ürünler, serumlar, bakteri kültürleri, meyve suları, sebze, kahve ve çay özlerinin eldesin de, et ve süt üretiminde uygulanabilir. Malzeme önce dondurulur. Ardından kimyasal nem alıcı veya düşük sıcaklık yoğuşturucusu ile bağlantılı yüksek vakum uygulanan hacime alınır. Dondurulan malzemeye iletim veya kızılötesi radyasyon ile ısı geçişi sağlanır. Bu esnada uçucu element genellikle su süblimleşir ve yoğuşur, ya da nem alıcı madde tarafından absorplanır. Dondurarak kurutma genellikle -10 °C ile -40 °C arasında uygulanır. Dondurarak kurutma pahalı ve yavaş yürüyen bir işlemdir, ısıya duyarlı malzemeler için uygundur [95].

Ozmotik kurutma: Bu yöntemde, yarı geçirgen zarla kaplı olan bitki hücresi duvarının iç kısmı ile dış çevre arasında osmotik basınç farkı yaratılarak materyalin nemi azaltılmaya çalışılır. Kurutulacak materyal osmotik basıncı yüksek bir eriyiğin içine bandırılarak nemin azalması sağlanır. Ürünün içine bandırılacağı osmoaktif ortam çeşitli sıcaklık ve konsantrasyonlarda olmak üzere genellikle meyveler için şeker, sebzeler için tuz eriyiklerinden hazırlanır [93] .

3.9. Kurutucu Tipleri

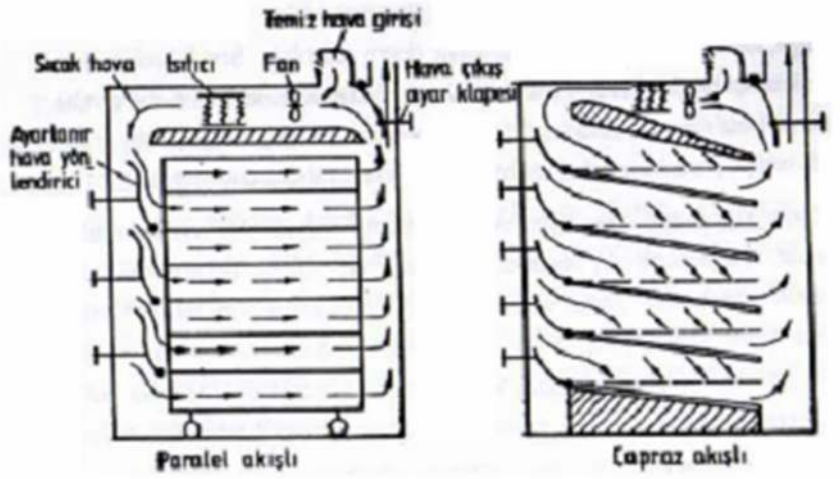
3.9.1 Kabin Tipi Kurutucular

Bu sistemlerde kurutulacak ürün delikli tepsilere serildikten sonra kabin içindeki raflara yerleştirilir. Raflar ve tepsiler kabin içindeki hava akımını engellemeyecek şekilde konumlandırılırlar. Raflar direk olarak kabin içine montajlanmış olabilirler. Ayrıca tekerlekli raflarda kullanılmaktadır. Araba kullanılmasının avantajı kabin içinde kurutulan ürünler hemen kabinden dışarı çıkarılır ve yerine yeni yaş ürünler kabin içine sokulur. Bu şekilde zamandan tasarruf edilmesi sağlanmış olur.



Şekil 3.5. Kabin kurutucu (94)

Kabin tipi kurutucular, kurutma havasının, kabin içinde dolaşımı sırasında tepsilere göre izlediği akış yönü dikkate alınarak paralel ve çapraz akışlı olmak üzere farklı tiplere ayrılabilirler (Şekil 3.6.) [93].

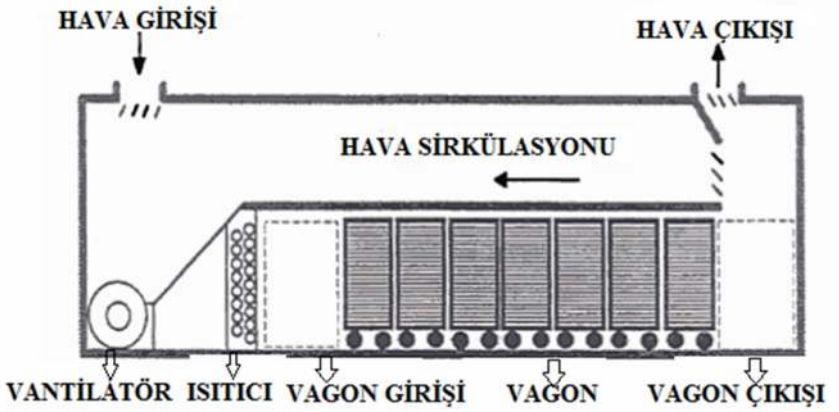


Şekil 3.6. Paralel çapraz akışlı kabin tipi kurutuculara ait şematik kesitler [93]

3.9.2 Tünel Tipi Kurutucular

Bu kurutucular da kurutma kabini, uzun bir tünel şeklinde yapılır. Tepsiler öncelikle arabalı raflara (vagon) yerleştirilir. Sonra bu vagonlar tünelin içine sırayla sokulur. Vagonlar kurutma esnasında belirli zaman peryotlarda ileri geri hareket ettirilir. Kurutma işlemi tamamlanan vagon tünelden çıkartılır. Vagonlarla tünelin iç yüzeyi arasında çok

fazla boşluk bırakılmamalıdır. Aksi takdirde, kurutma havası rafların arasından geçmeyip bu boşluklardan akar [93].



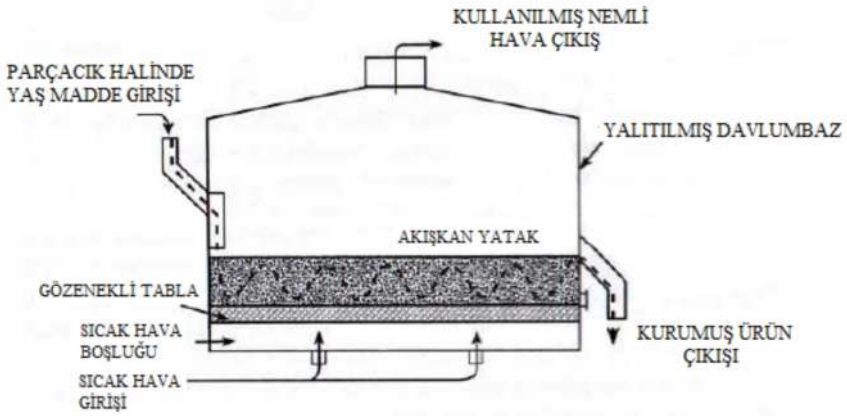
Şekil 3.7 Tünel kurutucu [94]

3.9.3 Bantlı Kurutucular

Tünel tipi kurutuculardaki vagonların yerini sürekli çalışan bir konveyör kullanılır. Bu konveyör genellikle paslanmaz çelikten yapılmış elek şeklindedir. Konveyöre alttan ve üstten sıcak hava verilerek kurutma işlemi yapılır. Konveyör kurutucular daha çok, bir sezon boyunca aynı ürünü büyük miktarda kurutmak için kullanılırlar [95].

3.9.4. Akışkan Yatak Kurutucular

Akışkan yatak sisteminde küçük taneciklere sahip ürün arasından sıcak kurutma havası geçirilerek ürünün kurutulması işlemidir. Sistemin çalışma prensibi şekil 3.8'de gösterilmiştir. Bu işlem esnasında sıcak havanın ürüne çarpması ile birlikte ürün havada kalması sağlanmaktadır. Bu sayede kurutma havası ile kurutulacak malzeme arasındaki temas en üst seviyede olacaktır. Bu şekilde ısı ve kütle transferi etkin şekilde gerçekleşecektir. Bu tip sistemlerde gaz hızı önemli bir parametredir. Bu nedenle dikkatli ayarlanmalıdır. Bu sistemlerde yükleme ve boşaltma otomatik kontrollü olarak gerçekleştirilmektedir [95].



Şekil 3.8. Akışkan yataklı kurutucu [95]

3.9.5. Diğer Kurutma Sistemleri

Domates suyu, salça, meyve suyu ve patates püresi gibi sıvı veya yarı sıvı ürünlerin kurutulmasında yukarıda anlatılan yöntemler ile kurutulması mümkün olmamaktadır. Bu durumda başka yöntemler kullanılabilmektedir. Bu yöntemler; püskürterek kurutucular, vakumlu kurutucular, puf kurutucular, köpük kurutuculardır [95].

3.10. Kurutmayı Etkileyen Faktörler

Kurutmayı etkileyen faktörler kurutma havasın özellikleri, materyalin özellikler, kurutucunun özellikleri ve çevresel koşullar olmak üzere dört bölümde incelemek mümkündür.

3.10.1.Kurutma Havasının Sıcaklığı

Kurutma işleminin başlangıç aşamasında yaş ve kuru termometre sıcaklıkları arasındaki fark arttıkça kurutma hız artmaktadır. Ancak ilerleyen aşamalarda bu artış doğru orantılı olmamaktadır.

Kurutma havasının sıcaklığının artması ile birlikte havanın su buharı tutma özelliğini artıracaktır. Buna bağlı olarak da materyalden daha fazla nemin uzaklaşmasını sağlayarak kurutma hızını artırır. Ancak kurutma havasının sıcaklığının çok fazla artırılması

materyalin kuruma esanasında özelliklerinin bozulmasına neden olacaktır. Dış kısımda erken kabuk bağlama, renk değişikliği, çatlama ve büzülme gibi kusurların ortaya çıkmasına neden olacaktır. Ayrıca sıcaklığın çok fazla artırılması işletme maliyetini de artıracaktır. Sıcaklığın düşük tutulması ise materyalin kalitesini artıracak ancak kuruma süresini uzatacaktır. Bu nedenle kurutma kalitesi ve kuruma süresi dikkate alınarak en uygun sıcaklık belirlenmelidir [95].

3.10.2. Kurutma Havasının Bağıl Nemi

Kurutma havasının nem miktarının çok fazla olması kurumanın süresinin uzamasına neden olacaktır. Nem içeriğinin az olması durumunda ise kuruma hızlı olacak ancak kurutmada önemli bir kusur olan kabuk bağlama gerçekleşecektir. Buna bağlı olarak da diğer kurutma kusurları ortaya çıkacaktır [95].

3.10.3.Kurutma Havasının Hızı

Nemli bir yüzeyden buharlaşma hızına etki eden en önemli özelliklerden bir tanesi de havanın hızıdır. Hızın yüksek olması buharlaşmanın ve ısı transferinin fazla olmasını sağlar . ayrıca kurutma havanın türbülanslı olması da buharlaşmayı artırmaktadır.

Havanın çok fazla hızlı olması nemin iç kısımlardan dışarıyı doğru hareketini bozmaktadır. Bunun sonucunda da materyalde çatlamalar ve sertleşmeler oluşmaktadır. Düşük hızlarda ise materyalden nemin uzaklaşmamaktadır. Bu nedenle kurutma havasının hızının uygun aralıklarda seçilmesi gerekmektedir[95].

3.10.4. Malzemenin Kurutma Esnasında İstifi

Malzeme kurutma esnasında havanın malzemeye tam temas edecek şekilde istiflenmesi gerekmektedir. Bu şekilde malzemenin daha erken kuruması sağlanır [95].

3.10.5. Malzemenin Cinsi Ve Kalınlığı

Malzemenin cinsine bağlı olarak kuruma sıcaklığı, nem değeri ve hava hızı belirlenmeledir. İnce malzemeler kalın malzemelere göre daha erken kurumaktadır.

Bu nedenle kurutulacak malzemelerde mümkün olduğu kadar ince malzeme seçilmesi uygundur. Yada malzemenin uygun bir şekilde parçalara ayrılarak kurutulması, kuruma hızını artıracaktır. Kalın kabuklu malzemelerde kabukların soyulması mümkün ise soyulmalıdır. Eğer soyma işlemi malzemeye zarar verecekse kabuk kısmından iç kısma doğru ince kesikler ile iç kısımdan nemin dışarı çıkması sağlanmalıdır[95].

3.10.6. Malzemedeki Nem Miktarı

Malzemedeki nem miktarı ile malzemenin ağırlığı arasında doğrusal bir orantı bulunmaktadır [95].

3.10.7. Buharlaşma Yüzeyinin Büyüklüğü

Buharlaşma yüzeyinin küçük olması hızı azaltan bir etkendir. Bu yüzden buharlaşma yüzeyinin artırılması kurutma süresini kısaltır[95].

3.10.8. Kurutucunun Isı Yalıtımı

Kurutucunun içindeki sıcaklığın ve nemin korunması için sistemin iyi bir şekilde yalıtılması gerekmektedir [95].

3.10.9. Kurutucunun Kapasitesi

Kurutucunun kapasitesinin büyük olması daha fazla enerji ihtiyacı doğurmaktadır [95].

3.11. Kurutucu Seçimi

Kurutucu seçimi yapılırken kurutulacak ürünün kalitesi ve işletmenin karı gibi durumlar göz önüne alınmalıdır. Buna bağlı olarak en uygun kurutucu seçimi yapılmalıdır.

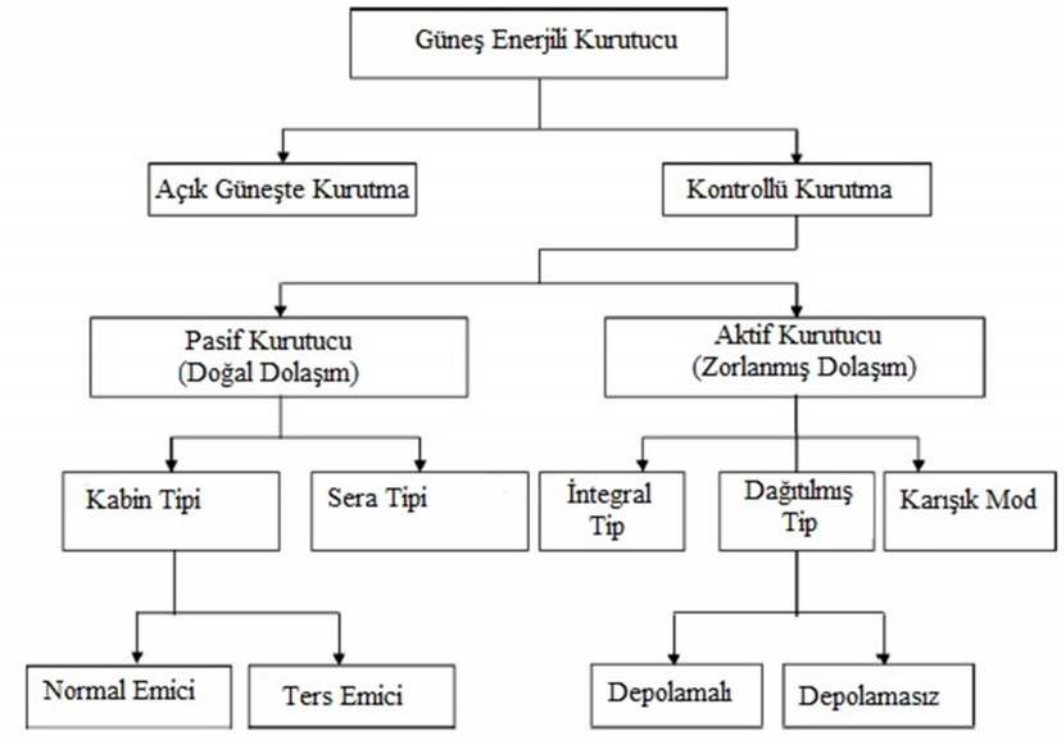
Kurutucuların seçiminde dikkat edilecek hususlar; [96]

a) Yıllık kurutulacak ürün miktarı

b) Tesisin kuruluş maliyeti.
c) Tesisin isletme masrafları.
d) İşlem sırasında materyalin verdiği fire.
e) Emniyetli çalışma.
f) Kurumuş ürünün kalitesinin uygunluğu.
g) Kurumuş ürünün dış görünüşünün isteğe uygunluğu.
h) Kurutucunun çeşitli kapasitelerde çalıştırılabilme esnekliği.
i) Çevre kirliliğine etkisi olup olmadığı.
j) Çalışma sırasında etkin kontrollerin yapılmasına olanak vermesi.
k) Tamir ve bakım kolaylığı.
l) Görünüş güzelliği.

3.12. Güneş Enerjili Kurutma Sistemleri

Güneş enerjili kurutma sistemlerinin sınıflandırılması Şekil 3.9'da gösterilmiştir. Kurutma sistemleri başlıca açık güneşte kurutma ve kontrollü kurutma olmak üzere iki kısımda incelemek mümkündür.



Şekil 3.9 Güneş enerjili kurutucuların sınıflandırılması [97]

3.12.1. Açık Güneşte Kurutma

Açık güneşte kurutuma sistem çok eski çağlardan beri uygulanmaktadır. Günümüzde de ülkemizde en fazla uygulanan yöntemdir. Bu yöntemde kurutulacak ürün açık bir alana serilerek direk güneş ışınımlarına maruz bırakılmaktadır. Bu şekilde üründen nemin uzaklaştırılması sağlanmaktadır. Bu yöntemin maliyet açısından olumlu yönü bulunduğu gibi olumsuzlukları da mevcuttur. Dış ortamda bırakıldığı için böcek ve diğer hayvanların saldırısı ve toz gibi partiküllerin ürüne yerleşmesi gibi olumsuzlukları vardır. Ayrıca bu ürünler direk güneş ışınımlarına maruz kaldıklarından dolayı ürünün kimyasal olarak da istenilen özellikleri sağlayamamaktadır. Bu tür kurutulmuş ürünlerin ihracat aşamasında da gönderilen ülkelerin standartlarını sağlayamadığından dolayı da ekonomik bir kayba neden olmaktadır. Açık ortamda kurutmadaki diğer bir olumsuzluk ise ani yağışlardır [91].

3.12. Kontrollü Kurutma

Bu tip kurutma sistemi sistemlerinde kurutucu kapalı bir odadan oluşmaktadır. Kurutma odasına yerleştirilen üründen nemi uzaklaştırmak için kurutma havası kullanılır. Kurutma havası doğal veya zorlanmış sirkülasyon ile hareket ettirilebilir. Üründen uzaklaşan nemi dışarı atmak için ise kurutucunun bir noktası dışarı açılmaktadır. Kontrollü kurutmada havanın hareketine göre aktif ve pasif sistemler olarak ikiye ayrılırlar [97].

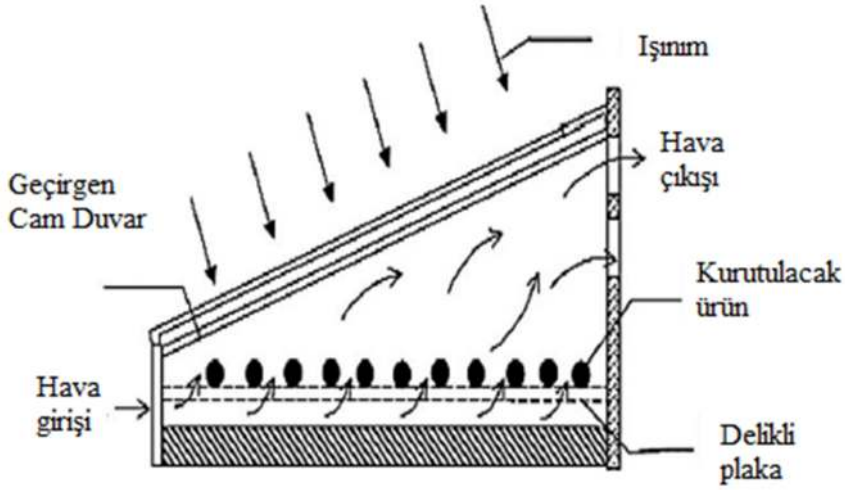
3.12.1 . Pasif Tip Kurutucular

Bu tip kurutuculardа hava hareketi doğal olarak sağlanmaktadır. Dış hava basıncına ve ısınan havanın hareketine göre içerdeki hava sürkülasyonu sağlanmaktadır. Bu sistemler kırsal kesimlerde kullanımı yaygındır. Bu sistemlerin üstünlüklerini şu şekilde sıralayabiliriz:

- Kurutma amaçlı kullanılacak alan açık güneşte kurutma sistemine göre daha küçüktür.
- Ayrıca açık sistemlerin dezavantajı olan küçük partiküllerin temasına böcek ve diğer hayvanların saldırılarına karşı korunaklıdır.
- Ani yağışlara karşı korunaklıdır.
- İlk kurulum maliyeti ve işletme maliyetleri düşüktür [91].

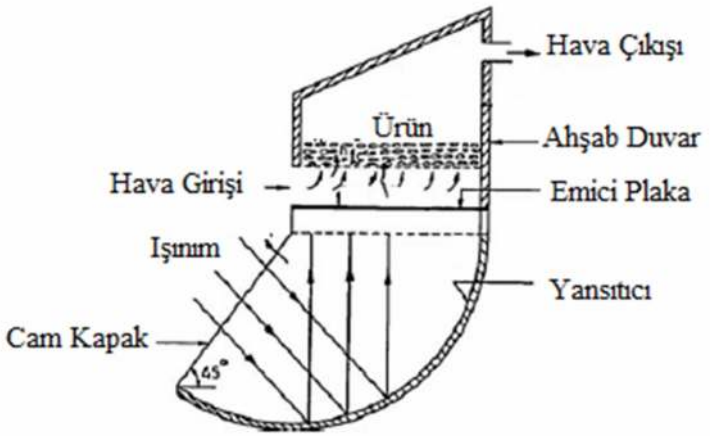
3.12.1.1 Kabin Tipi Kurutucular

Bu kurutucular genelde küçük miktarda ürünlerin kurutulması için kullanılmaktadır. Bu tip kurutuculardа normal emici plakalı ve ters emici plakalı olmak üzere iki kısımda incelemek mümkündür. Şekil 3.10'da kabin tipi normal emici plakalı bir kurutucu gösterilmiştir Alt kısmında bir hava girişi bulunmaktadır. Hava delikli plakadan geçerek sıcaklığını artırmaktadır. Üründen nemi aldıktan sonra yan taraflardaki deliklerden dışarı çıkmaktadır. Üst kısmı saydam camdan yapılmış bir kapak bulunmaktadır [97].



Şekil 3.10. Pasif kabin tip kurutucu [97]

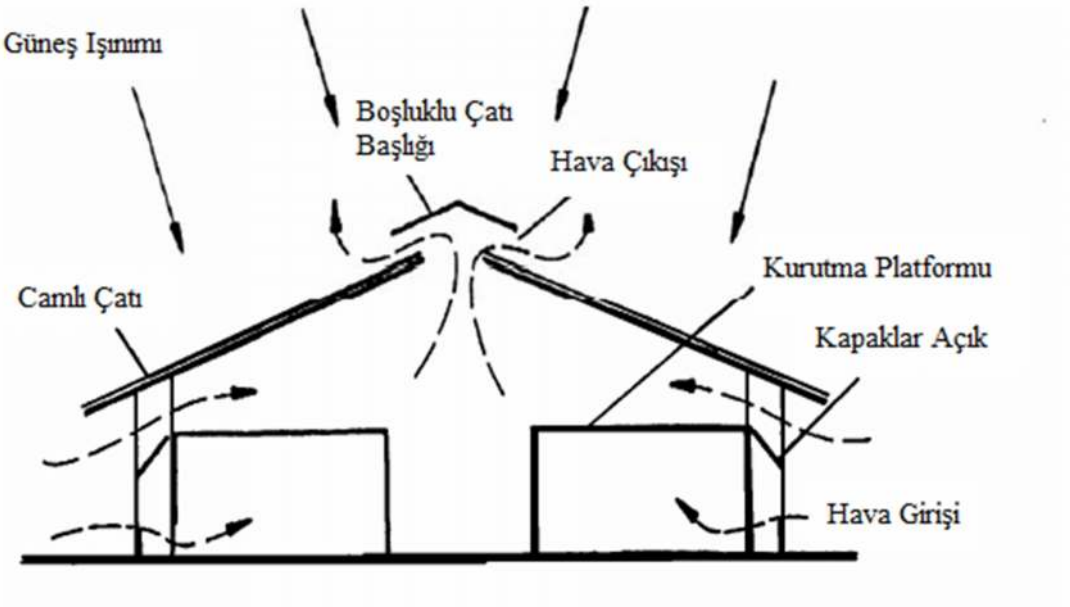
Şekil 3.11'de Ters emici plakalı kabin tipi bir kurutucu görülmektedir. Yansıtıcılar güneş ışınımını emici plakaya yansıtmaktadır. Soğuk hava güneş ışınımı ile ısıtılan plakaya temas ederek sıcaklığını artırmaktadır. Buradan da üründen nemi alarak üst kısımdan dışarıya atılmaktadır [97].



Şekil 3.11. Ters emici plakalı pasif kabin tip kurutucu [97]

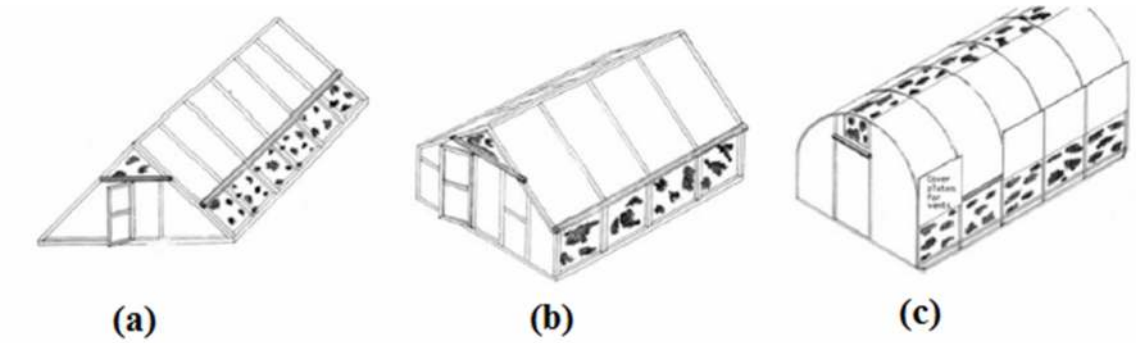
3.12.1.2 Sera Tipi Kurutucular

Bu tip kurutucular çatı tipi kurutucular olarak da bilinmektedir. Üst kısmı camdan yapılmış bir çatı mevcuttur. Çatının orta kısmında havanın eksoz edilmesi için bir boşluk mevcuttur. Kurutulacak ürünler kurutucudaki platformun üzerine serilir. Sonra dışarıdan gelen soğuk hava platformun içinden geçerek kurutulacak ürüne temas eder. Bu şekilde üründen nemi alarak üst kısımdaki boşluğa doğru hareket eden hava buradan dışarıya atılır. Burada da hava hareketi doğal olarak sağlanmaktadır [97].



Şekil 3.12 Çatı Tipi Bir Kurutucu [91]

Şekil 3.13 ‘de ise doğal sirkülasyonlu sera tipi kurutucular gösterilmiştir.



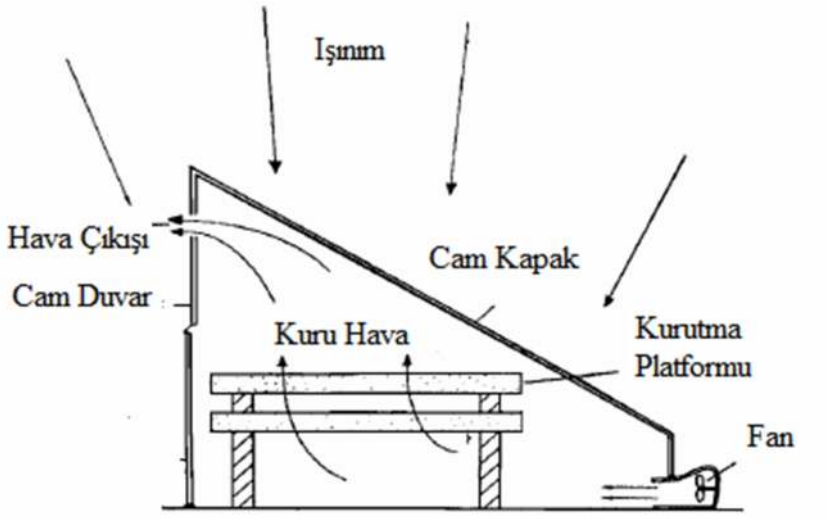
Şekil 3.13 Doğal sirkülasyonlu sera tipi kurutucular (a)çadır tipi (b)ev tipi (c)kubbe tip [98]

3.12.2 Aktif Tip Kurutucular

Aktif tip kurutucular hava hareketi fan ile sağlanan kurutuculardır. Bu yüzden bunlara zorlanmış sirkülasyonlu kurutucular da denilmektedir. Bu tip kurutuculardа kurutma havasının debisi istenilen miktara göre artırılıp azaltılabilmektedir. Bu tip sistemler pasif sistemlere göre daha hızlı kurutma sağlamaktadır. Ancak bu sistemlerde fanında kurutucunun ilk kurulmasında ve daha sonra işletme esnasında ek maliyet getirmektedir [98,97].

3.12.2.1 İntegral Tip Kurutucular

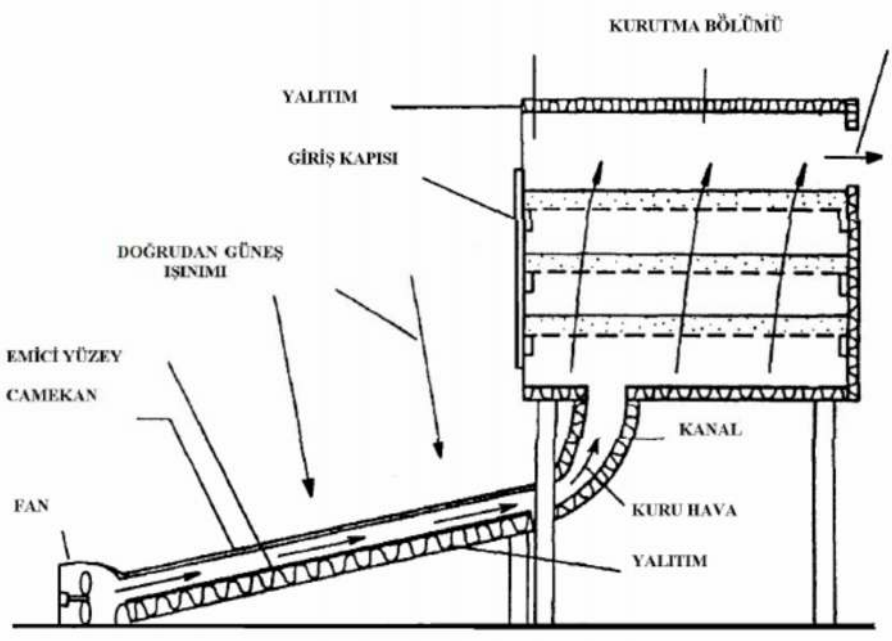
Bu tip kurutucular bir kurutma odasının çatısı veya duvarları güneş enerjili bir kolektör gibidir. Bu tür sistemlerde ayrıca bir kolektör kullanılmamaktadır. Bunlar kabin tipi bir kurutucuda veya sera tipi bir kurutucunda hava hareketinin fan ile sağlanan tipleri olarak da düşünülebilinir [97,98].



Şekil 3.14 Aktif sera tipi bir kurutucu [91]

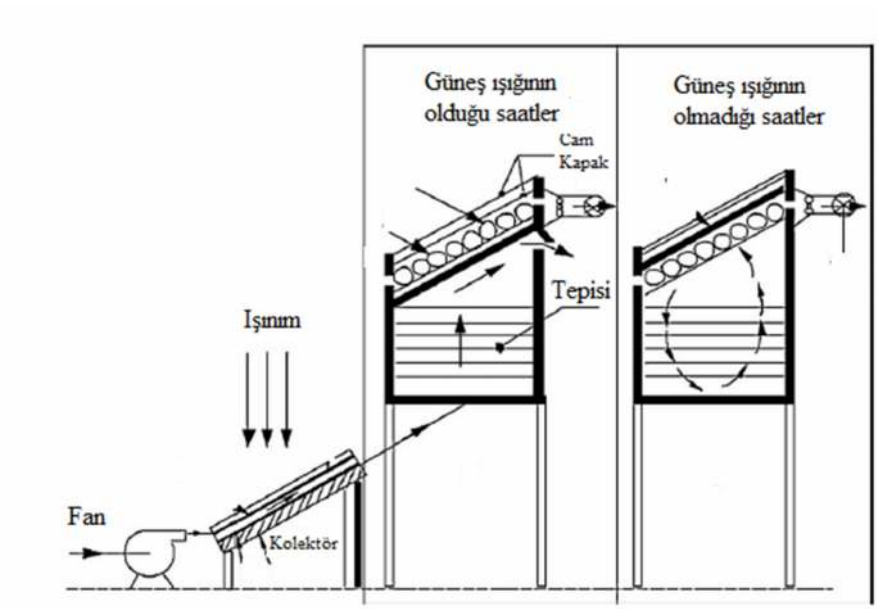
3.12.2.2 Dağıtılmış Tip Kurutucular

Bu tip kurutuculardа kurutma odası ve havalı kolektör ayrı iki kısımdır. Hava kolektörde ısıtıldıktan sonra kurutma odasına fan aracılığı ile üflenmektedir. Şekil 3.15 'de görüleceği gibi hava kurutma odasına girmeden önce kolektörden geçmektedir. Kurutma odası duvarları ve üst kısmı güneş ışınımlarından etkilenmeyecek şekilde yalıtılmıştır.



Şekil 3.15 Dağıtılmış tip bir kurutucu [93]

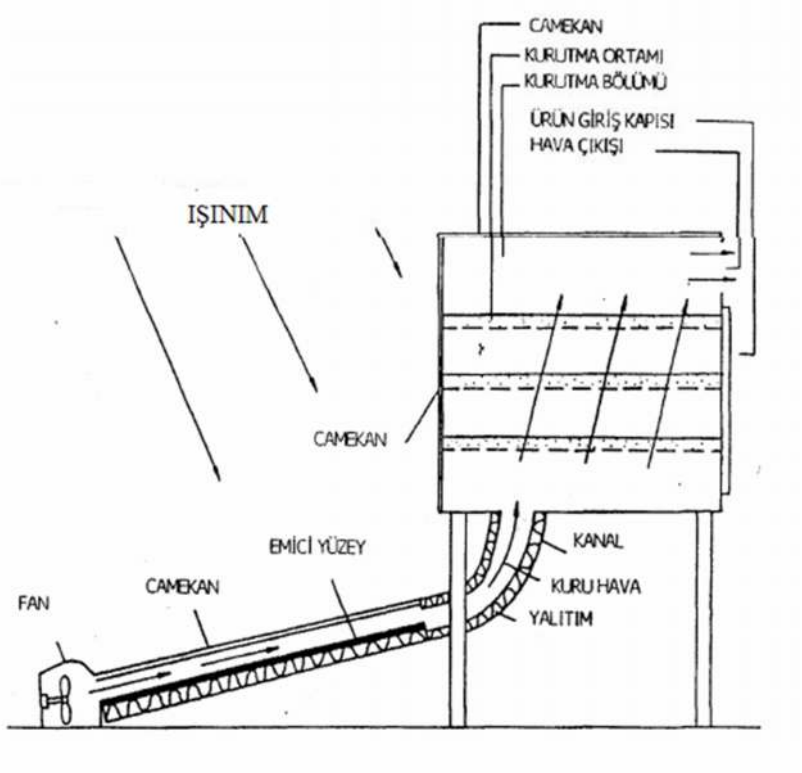
Bu tip kolektörler depolamalı ve depolamasız diye iki kısımda incelenebilir. Depolamalı tiplerde güneşin olduğu gündüz saatlerinde enerji ayrı bir yerde depolanarak akşam saatlerinde kullanılmaktadır. Bu şekilde kurutucu daha uzun süre çalışmaktadır. Depolama amacıyla faz değiştiren malzemeler kullanılabildiği gibi taş veya su dolu kaplarda kullanılabilmektedir (Şekil 3.16) [93].



Şekil 3.16. Dağıtılmış tip depolamalı bir kurutucu [93]

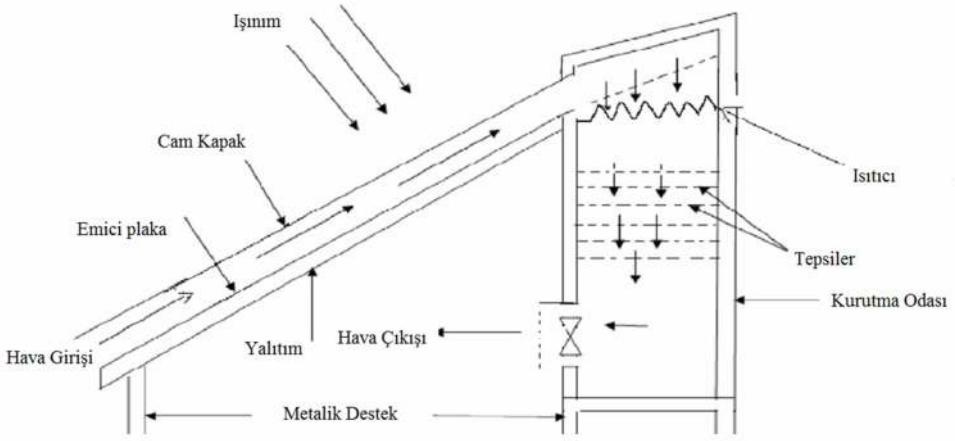
3.12.2.3 Karışık Tip Kurutucular

Bu tip kurutucular ise integral ve dağıtılmış tip kolektörlerin bileşiminden oluşmaktadır. Bu kurutuculardaki hava kolektörde ısıtıldığı gibi kolektörün yan duvarları ve üst kısmı kolektör görevi görecek şekilde camdan imal edilmektedir. Bu sistemlerde hava hem kolektörde hemde kurutuma odasında ısıtılmamaktadır (Şekil 3.17) [97,98].



Şekil 3.17. Karışık tip kurutucu [91]

Bu tip kurutucularla birlikte kullandıkları enerji bakımından sınıflandırma yaparsak direk güneş enerjisi kullanan sistemler ve hibrid sistemler olmak üzerede sınırlandırma yapabiliriz. Hibrid sistemlerde güneş ışınımından elde edilen enerji kurutuma havasını istenilen düzeye kadar ısıtmadığı durumda ek bir enerji kaynağı kullanılarak ısıtılan kurtucu tipleridir. Bu tür sistemlerde ek enerji kaynağı olarak genellikle elektrik kullanılmaktadır (Şekil 3.18) [97,98].



Şekil 3.18. Elektrik ısıtıcı destekli güneş enerjili kurutucu [99]

4. MATERYAL METOT

Bu çalışmada güneş enerjisi ile alabalığın kurutulması incelenmiştir. Yapılan çalışma üç aşamada tamamlanmıştır.

1-) Uygun kolektör tipinin belirlenmesi: Bu aşamada 5 farklı tip kolektörün 3 farklı debide deneyleri yapılmıştır. Deneyler sonucunda I. ve II. Kanun verimleri incelenmiştir. I. Kanun verimi en yüksek olan kolektör kurutma işleminde kullanılmıştır.

2-)Güneş enerjisi ile alabalığın kurutulması: Bu aşamada alabalık sadece güneş enerjisi kullanılarak kurutulmuştur. Ortam havası kolektörden geçirilerek sıcaklığının artırılması sağlanmıştır. Sonra bu hava kurutma amaçlı olarak kanal aracılığı ile kurutma odasına verilmiştir. 3 farklı hava hızında kurutma deneyleri yapılmıştır.

3-)Elektrik enerjisi destekli güneş enerjili kurutma: Bu aşamada kolektörden geçerek ısıtılan hava, kanaldan kurutma odasına gönderilirken elektrikli rezistanslar ile istenilen sıcaklığa kadar ısıtılmıştır. 3 farklı hava hızında ve 3 farklı sabit sıcaklıkta kurutma deneyleri yapılmıştır.

4.1. Deney Düzeneğinin Tanıtılması

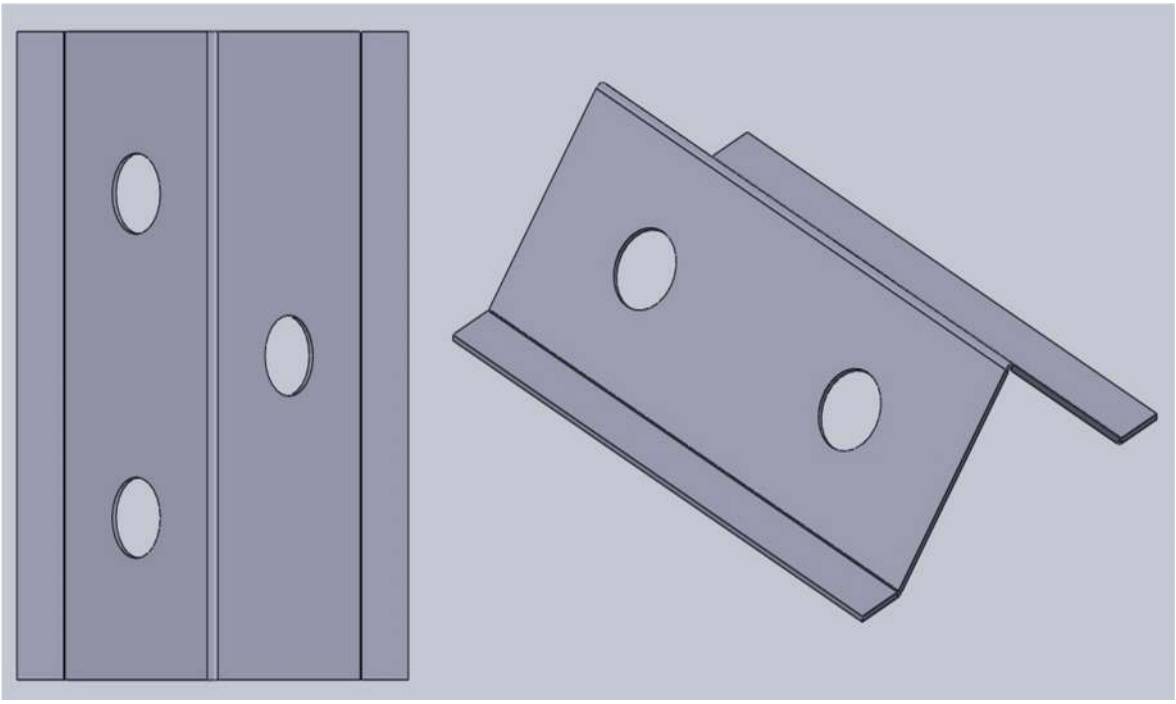
Kurutma işleminde kullanılan deney düzeneği 4 ana bölümden oluşmaktadır

- Güneş enerjili hava ısıtıcısı (Havalı kolektör)
- Kurutma odası
- Kanal
- Ölçme ve kontrol elemanları

4.1.1. Güneş Enerjili Hava Isıtıcısı

Kurutma havasının sıcaklığını artırmak için güneş enerjili havalı kolektör kullanılmıştır. Kullanılan kolektörler 900x1900x170 mm ölçülerine sahiptir. Alt ve yan kısımları 50 mm'lik cam yünü ile yalıtılmıştır. Üst kısım, kayıpları azaltmak için 5 mm'lik cam ile kapatılmıştır. Cam kapaktan kaçakların olmaması için cam fitili kullanılmıştır. Kolektörün iç kısmı siyah mat boya ile boyanmıştır.

Uygun kolektör tipinin belirlenmesi için 5 farklı tip kolektör tasarlanmıştır. Bu kolektörlerden I.Tip kolektör konvensiyonel tip kolektördür. Diğer tiplerde V tipi emici yüzey ve türbülans artırıcı elemanlar kullanılmıştır. Kullanılan V tipi eleman her bir yönü 80x200 mm ölçülerindedir. Bir yüzeyinde iki diğer yüzeyinde tek delik olmak üzere 23 mm çapında 3 delik açılmıştır (Şekil 4.1). Bu elemanlardan 27 tane kullanılmıştır. Bu elemanlar akış yönüne dik sıralı, çapraz ve akış yönüne paralel, çapraz olmak üzere dört farklı şekilde yerleştirilerek deneyler yapılmıştır (Şekil 4.2).

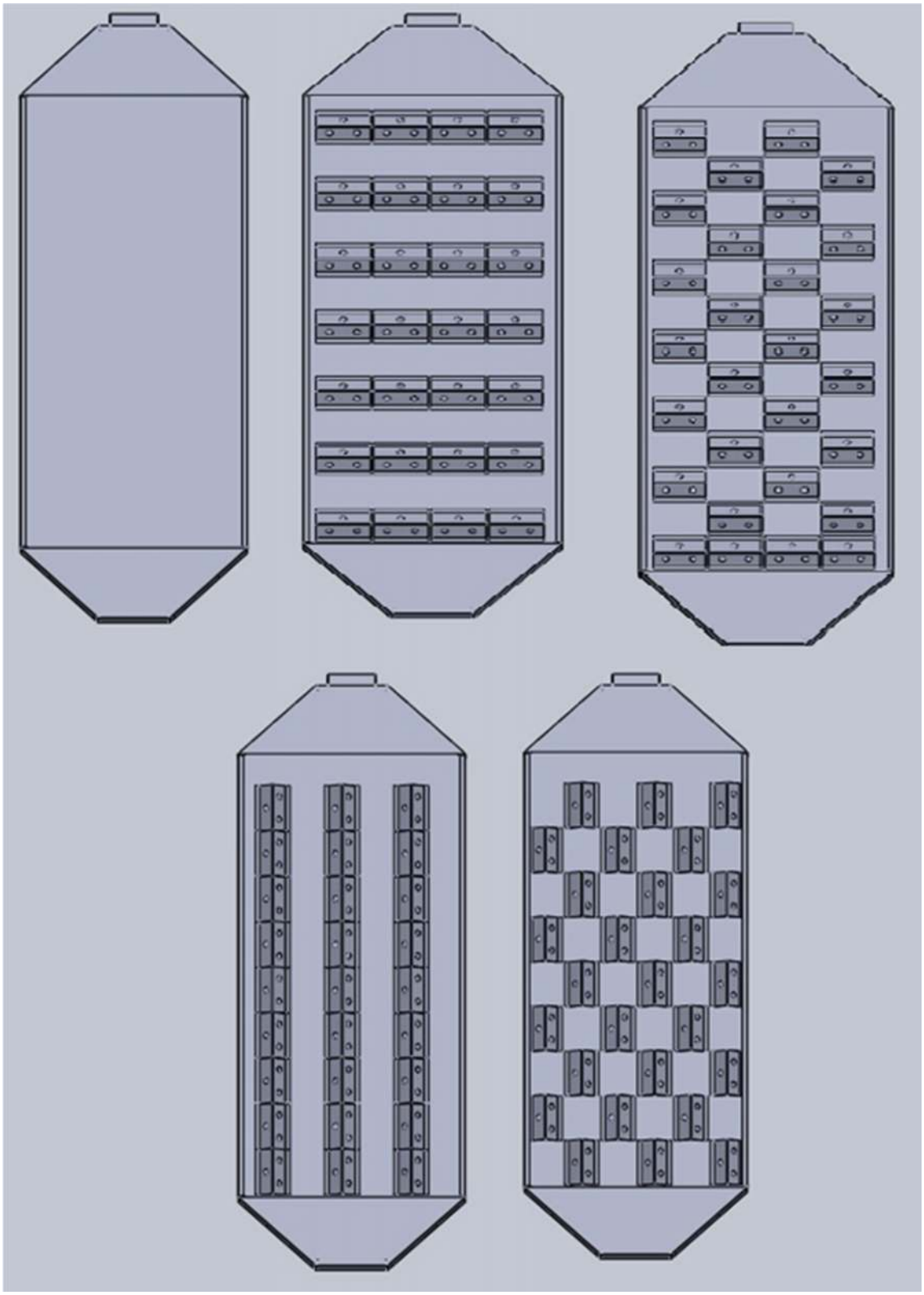


Şekil 4.1. V tipi Yüzey ve türbülans artırıcı eleman

Kolektörlerde hava hareketini sağlamak için 1800 d/d'lık 0,75 kW gücünde 1,8 kg/s hava debisine sahip radyal fan kullanılmıştır. Kullanılan fanlar kolektörlerin direk alt kısmına montajlanmıştır.

4.1.2. Kurutma Odası

Deneylerde kullanılan kurutma odası 800 mm çapında silindirik olarak imal edilmiştir. İmalatında 0,8 mm 'lik galvanizli sac kullanılmıştır. Yan kısımlarından ısı kaybını engellemek için 30 mm'lik cam yünü ile yalıtılmıştır. Kurutma odasına, hava giriş kanalı teğetsel olarak yerleştirilmiştir. Bu kanal 170 mm'lik çapa sahip silindirik bir borudur.



Şekil 4.2. Kollektör tipleri

Teğetsel olarak giriş yapılması ile kurutma odasındaki havanın dönerek ilerlemesi sağlanmıştır. Kurutma odasının çıkışında 600 mm'lik bir çıkış ağzı bırakılmıştır.

4.1.3. Hava Kanalı

Kolektördeki havanın kurutma odasına gidişini sağlamak amacıyla 200x200 mm boyutunda bir kanal kullanılmıştır. Bu kanal 0,8 mm ölçüsünde galvanizli sacdan imal edilmiştir. Kanal 10 mm boyutunda aoregel içerikli battaniye ile yalıtılmıştır. Deneysel çalışmalarda hava sıcaklığını sabitleyebilmek için kanalın orta kısmına elektrikli ve kanatçıklı U tipi ısıtıcılar yerleştirilmiştir. Bu ısıtıcılardan 1,5 kW'lık 4 adet kullanılmıştır. Isıtıcılar teflon malzeme üzerine monte edilmiş ve bu şekilde kanala yerleştirilmiştir.

4.1.4. Ölçme ve Kontrol Cihazları

Deneylerde kullanılan cihazlar ölçme cihazları ve kontrol cihazları olmak üzere iki başlık altında incelemek mümkündür.

4.1.4.1.Kontrol Cihazları

Kolektörlerde fanın istenilen debide hava üflemesini sağlamak için ABB ACS-150 Marka frekans kontrollü trifaze-trifaze inverter kullanılmıştır.

Deneylerin son aşamasında sıcaklığın sabitlenmesi gerekmektedir. Bu tür sistemler sürekli akışlı sistemler olduğundan dolayı sıcaklığı sabitleyebilmek için geri beslemeli kontrol sistemi kullanılması gerekmektedir. Bu amaçla Elimko marka E-210 sıcaklık kontrol cihazı kullanılmıştır. Bu cihaz ile rezistans ile kolektör arasından alınan sıcaklık değerine göre tristörler aracılığı ile rezistansların açılıp kapanma durumları ayarlamaktadır. Yapılan ölçümlerde, istenilen değerlere maksimum ± 0,6 ^{o}C farkla yaklaştığı belirlenmiştir. Maksimum farkın 60 ^{o}C sıcaklık ve 5 m/s hız için yapılan ölçümlerde 59,4 ^{o}C ile 60,5 ^{o}C arasında değiştiği gözlemlenmiştir. Diğer sıcaklık ve hız değerlerinde ise bu yaklaşım değerlerinin daha düşük olduğu görülmüştür.

4.1.4.2. Ölçme Cihazları ve Yöntemleri

Deneysel incelemede kullanılan ölçme cihazları sıcaklık, ışınım, elektrik sarfiyatı, rüzgar hızı, akışkan hızı, nem ölçümü ve kütle ölçümlerini gerçekleştiren cihazlardır.

4.1.4.2.1. Sıcaklık Ölçümü

Deneylerde sıcaklık ölçümü için Elimko marka E-680 model kanal seçicili 16 kanallı dijital termometre kullanılmıştır. Ara eleman olarak ise J Tipi demir-Constantan ısıl-çift kullanılmıştır. Kolektör giriş, çıkış, iç ortam, emici plaka, cam yüzeyi, çevre sıcaklığı, kurutucuya giriş ve çıkış, kurutucu iç ortam ve balığın merkez sıcaklığı olmak üzere 12 noktadan sıcaklık ölçümü yapılmıştır.

Sıcaklık ölçümü için kullanılan 0,5 mm kalınlıktaki ısıl çiftler uygun ölçülerde kesildikten sonra uç kısımları oksijen kaynağı aracılığı ile eritilerek birleştirilmiştir ve uçlar cihazdaki kanallara bağlanmıştır. Bu işlemde sonra cihazın katalogundaki işlem adımları izlenerek kalibrasyon yapılmıştır. Kalibrasyon işlemi için referans sıcaklığı 0 ^{o}C ‘dir. Bu amaçla buzlu su karışımı kullanılmıştır. Kalibrasyon işlemi bittikten sonra aynı uçlar 40 ^{o}C sıcak suyun ölçümü cam termometre ile aynı anda yapılarak kalibrasyon işlemi doğrulanmıştır.

Daha sonra ölçüm yapılacak noktalara uçlar yerleştirilmiştir. Bu uçlar ölçüm yapılacak yüzeye tam temas ettirildikten sonra ısıl iletkenliği düşük yapıştırıcı ile yapıştırılmıştır. Bu şekilde uçların yüzeyden ayrılması engellendiği gibi dış kısmının da yalıtılarak hatalı ölçümler alınması engellenmiştir.

4.1.4.2.2. Güneş Işınım Ölçümü

Deneylerde güneş ışınımını ölçmek için Kipp&Zonen marka CMP3 model solarimetre kullanılmıştır. Hass Solarimetre kolektörler ile aynı açıyı yapacak şekilde kolektörün üzerine yerleştirilmiştir.

4.1.4.2.3. Rüzgar Hızının Ölçümü

Rüzgar hızının ölçümü için Prova AVM-07 marka pervaneli tip anemometre kullanılmıştır. Rüzgar hızı kolektör deneylerinde 15 dakikalık zaman dilimlerinde kurutma deneylerinde ise 60 dakikalık zaman dilimlerinde ölçülmüştür. Rüzgar hızının ölçümü esnasında 120 dakikalık zaman dilimlerinde teleskopik problu anemometre ile eş zamanlı ölçüm yapılarak kalibrasyonu yapılmıştır. Bu şekilde hatalı ölçümlerin engellenmesi sağlanmıştır.

4.1.4.2.4. Kanal İç Hız Ölçümü

Kurutma odasına giriş hızını ve kolektörden çıkış hızlarını ölçmek için Cem DT-8880 marka teleskobik problu anemometre kullanılmıştır. Bu cihazın kalibrasyonu katalogda belirtildiği gibi yapılmıştır. Her ölçümden önce kalibrasyon işlemi yapılarak cihaz değerleri sıfırlandıktan sonra ölçümler yapılmıştır.

Kurutma odasına giriş yapan kanal daireseldir. Ölçüm yapılırken tek eksen üzerinden 5 mm'lik aralıklarla hız ölçümü alınmıştır. Daha sonra kanalın tam merkez noktasından ölçüm alınarak tüm hızların ortalama hızı kullanılmıştır. Hız değişimi hidrodinamik olarak tam gelişmiş akışa yakın değerdedir.

4.1.4.2.5. Nem Ölçümü

Ortam nem miktarını ölçmek için Cem DT-615 marka nem ölçüm cihazı kullanılmıştır. Nem ölçümü çevre nemi , kurutma odasına giriş ve çıkış nemleri % nem miktarı olarak ölçülmüştür.

4.1.4.2.6. Kütle Ölçümü

Kurutulmuş üründen uzaklaştırılan nem miktarını belirlemek için Esit Marka yük hücresi ve Esit Marka indikatör kullanılmıştır. Yük hücresi kurutucunun üst kısmına sabitlenmiştir. Askı ve diğer kullanılan ekipmanlar aracılığı ile bağlantıları sağlanmıştır.

Bu elemanların tartım özelliklerini bozmaması için ölçümlere başlanmadan kalibrasyon yapılmıştır. Daha sonra balıklar askıya asılarak ölçümler yapılmıştır.

Küçük parçaların ölçümünde yük hücresi yeteri hassasiyette olmadığı için kurutma odasının dışında hassas terazi ile yapılmıştır. Bu amaçla THB-600 marka ve model hassas terazi kullanılmıştır.

4.1.4.2.7. Elektrik Enerji Sarfiyatının Ölçümü

Deneylerin son aşamasında sıcaklığı sabitleyebilmek için elektrik enerjisi kullanılmıştır. Kurutma esnasında kullanılan elektrik miktarını belirleyebilmek için Unit UT-231 Marka model powermetre kullanılmıştır.

4.2. Deneyler

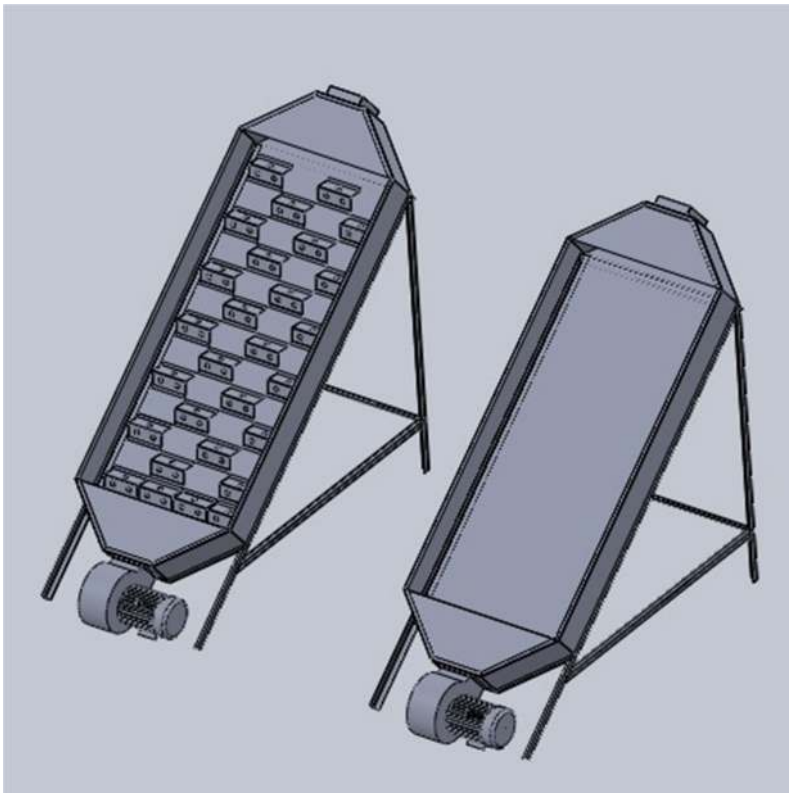
4.2.1. Kollektör Deneyi

Kurutma deneylerinden önce uygun kolektör tipinin belirlenmesi için 5 farklı tip kolektörün verimi incelenmiştir. Kolektör deneyleri yapılırken 2 kolektör kullanılmıştır.

Şekil 4.3 ve 4.4'de deney düzeneği gösterilmiştir. Birinci tip kolektör konvensiyonel tip (Tip-I) kolektördür. Bu kolektör referans kolektörü olarak kullanılmıştır. Diğer kolektörler ise yüzey alanı ve türbülans etkisi artırılmış kolektördür. Her bir hız için kolektör tipleri deneyleri yapılırken Tip-I referans olarak kullanılmıştır.

Her bir kolektör için invertördeki frekans değerine karşılık gelen hava debisi belirlenmiştir. Bunun için kolektörün çıkış kısmına 3,5 metre uzunluğunda bir boru bağlanmıştır. Borunun çıkış kısmından 20 cm önünden hız ölçümü yapılmıştır. Bu şekilde akışkanın hidrodinamik olarak tam gelişmesi sağlanmıştır. Elde edilen hız değerlerine bağlı olarak her bir kademe için debi belirlenmiştir.

Deneyler 0.02 , 0.04 ve 0.06 kg/s 'lik üç farklı debide her tip için yapılmıştır. 0.04 kg/s'lik debide her bir durum için deneyler iki defa tekrar edilmiştir. Ölçüm sonucunda alınan değerlere göre I. ve II. Kanun verimleri hesaplanmıştır.



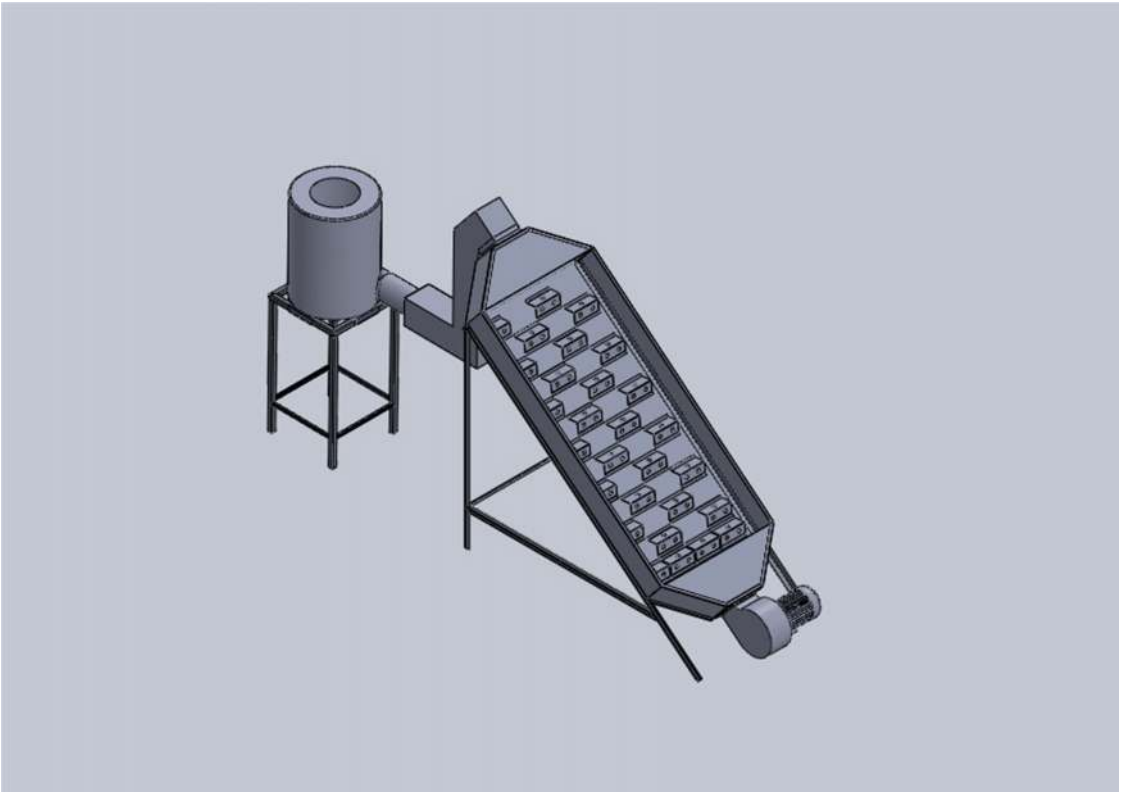
Şekil 4.3. Kolektör deney düzeneğinin şematik gösterimi

Şekil 4.4. Kolektör deney düzeneği

4.2.2. Kurutma Deneyi

Uygun kolektör tipi belirlendikten sonra kurutma deneylerine geçilmiştir. Kurutma deneylerinde öncelikle ısıtıcı olarak sadece havalı kolektörün kullanıldığı deney yapılmıştır. Deneylerde 2,3 ve 4 m/s'lik hızlarda tuzlu ve tuzsuz balığının kurutulması incelenmiştir. Şekil 4.5'de elektrikli ısıtıcının olmadığı güneş enerjili kurutma sisteminin şematik gösterimi verilmiştir. Ayrıca balığın farklı boyutlarda kesilerek de inceleme yapılmıştır. Parça boyutundaki balığın kaybettiği nem miktarını belirleyebilmek için hassas terazi kullanılmıştır. Bu nedenle balığın kısa süreli olarak kurutma odasından dışarı çıkarılması gerekmiştir. Bu balıkların sıcaklıklarını inceleyebilmek için numunelerden aynı boyutta olan bir tanesi kurutma odasından çıkartılmamıştır. Bu parçaların sıcaklıkları ısıl çift aracılığı ile okunmuştur. Kurutucudaki deneyler yapılırken aynı çevre koşulları içinde ve aynı ağırlıktaki numunelerde açık güneşte kurutulmuştur. Bu balıkların ise sadece ağırlık değişimleri kayıt edilmiştir.

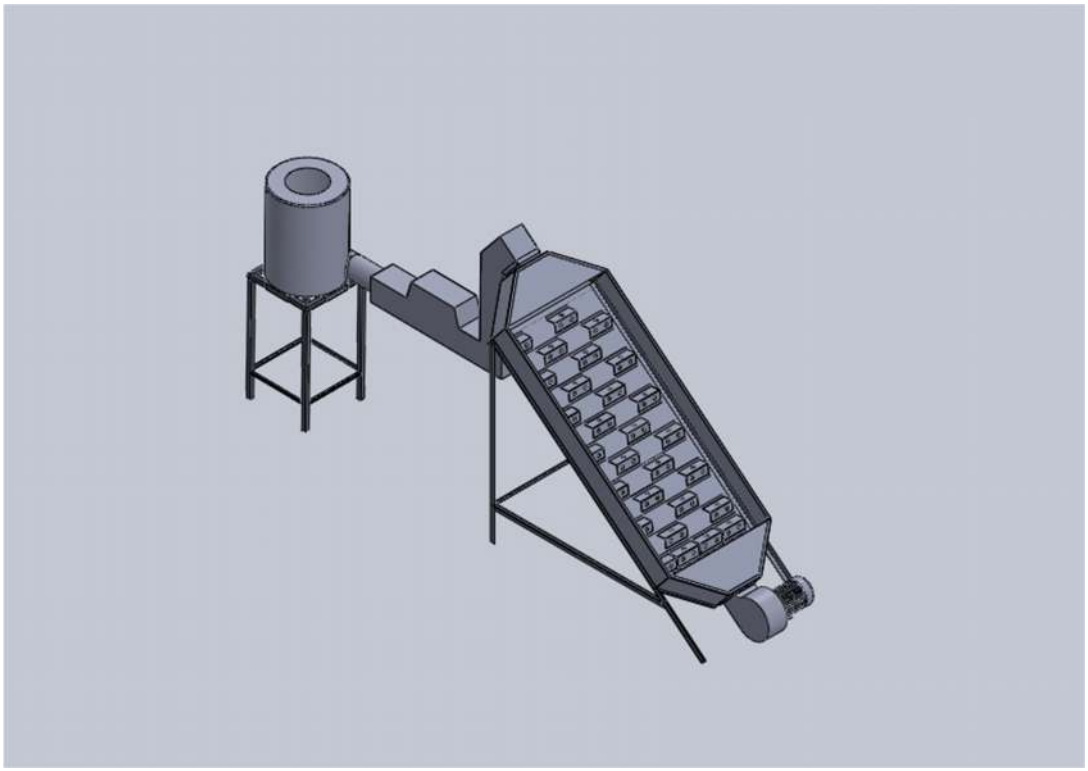
Son aşamada ise 3,4 ve 5 m/s'lik hızlarda 50,60 ve 70 ^{o}C sıcaklıkta dokuz farklı durum için deneyler yapılmıştır. Burada hızın ve sıcaklığın kuruma üzerindeki etkisini gözlemlemektir. Sıcaklıkları sabitleyebilmek için elektrikli ısıtıcı kullanılmıştır (Şekil 4.6). Kolektörden çıkan hava kanaldan geçerken elektrikli ısıtıcı ile istenilen sıcaklığa getirilmiştir. Sıcaklığı sabitlemek için kullanılan kontrol cihazımız PID kontrollü olarak çalışmaktadır. Şekil 4.7-8'de kullanılan deney düzeneğinin şematik gösterimi ve fotoğrafları verilmiştir.



Şekil 4.5. Güneş enerjili kurutma deney düzeneği (ısıtıcısız)

Şekil 4.6. Elektrikli ısıtıcı

Şekil 4.7. Kurutma deney düzeneği



Şekil 4.8. Güneş enerjili kurutma deney düzeneği (ısıtıcılı)

4.2.3. Kurutulacak Alabalığın Hazırlanması

Deneylerde kurutulan balık gökkuşağı alabalığıdır. Alabalıklar Elazığ ili Keban ilçesindeki alabalık üretim çiftliklerinden temin edilmiştir. Balıkların kurutma işlemine başlamadan önce ön işleme tabi tutulmuştur.

Deneylerde her birinin ağırlığı 250 (±10) gr olan gökkuşağı alabalıkları kullanılmıştır. Canlı olarak sudan çıkarılan balıklar 30 dakika su dışında ortam koşullarında bekletilmiştir. Daha sonra balığın baş kısmı kesilmiş ve iç organları çıkarılmıştır. Bu işlemlerden sonra balığın üst derisindeki pullar bıçak ile temizlenmiştir. Sonra balık karın kısmından tam olarak kesilerek düz dikdörtgen şekline getirilmiştir. Orta gövde kemiğinin içi ince bir tel ile temizlenmiştir. Balığın iç kısmı ince ve yumuşak bir fırça ile fırçalanmıştır. Bu kısımda kalan atıkların temizlenmesi için bol su ile yıkanmıştır. Üzerindeki fazla suyun yüzeyden uzaklaşması için 1 saat ortam sıcaklığında bekletilmiştir. Bu dinlendirme sürecinde fazla suyun uzaklaştırılması sağlandığı gibi aynı zamanda balığın ölüm sonrası sertliğine bağlı olarak kas yapısında meydana gelen değişimlerde ortadan kaldırılmıştır. Bu işlemler tamamlandıktan sonra her bir balığın ilk ağırlıkları tartılarak kayıt altına alınmıştır.

Ön işleme aşamaları tamamlandıktan sonra balığın tuzlanması işlemine geçilmiştir. Tuzlama işlemi ağırlıkça 1:1 oranında yapılmıştır. Plastik bir kabın alt kısmına kullanılacak tuzun %20'si döküldükten sonra balık bu tuzun üzerine bırakılmıştır. Sonra geri kalan tuz balığın üzerine dökülmüştür. Bu şekilde oda sıcaklığında 24 saat bekletilmiştir. Bekleme süresi sonunda kaptan çıkarılan balık yumuşak bir fırça ile fırçalanarak tuzun balığın üst kısmından tamamen uzaklaştırılması sağlanmıştır. Tuzlama işlemi tamamlandıktan sonra balık tartılarak kütlesi kayıt edilmiştir. Tuzlama öncesi ve sonrası tespit edilen kütle değişimi tuzlamaya bağlı olarak oluşan nem kayıp miktarıdır.

Tuzlama işlemi tamamlanmış olan balıklar kuyruklarından ip ve çengel kullanılarak askıya asılmıştır. Bu askı kurutma odasının içine yerleştirilerek kurutma işlemine başlanmıştır.

Aynı işlemler parça balıklar için de yapılmıştır. Parça balıklarda ince bir tel aracılığı ile asılmıştır. Balığın hazırlanma aşamaları Şekil 4.9'da gösterilmiştir.

Şekil 4.9 Balığın işleme aşamaları

4.2.4. Alabalığın Denge Nem Oranın Belirlenmesi

Kurutulan ürünlerin nem oranlarının tamamen sıfıra düşürülmesi mümkün değildir. Kurutulacak ürünler denge nemi seviyesine ulaştıktan sonra kütle kaybı olmamaktadır. Çalışmamızda denge nemini belirlemek için ilk kütlesi belirli olan kurtulmuş balıklardan 7 farklı örnek etüvde 90 ^{o}C sıcaklıkta 23 saat tutulmuştur. Etüvden çıkarılan numunenin bu durumdaki kütlesi belirlenmiştir. Daha sonra aynı numune aynı sıcaklıkta 2 saat daha tutulmuştur. Tekrar etüvden çıkarılarak ağırlığı belirlenmiştir. Son 2 saatlik etüvde tutma işleminde kütle değişimi maksimum 0,00022 gr olduğu tespit edilmiştir. Bu durum kurumanın durduğu ve tamamen kuru madde kaldığı anlamına gelmektedir. Bu 7 materyal için hesaplanan denge nem değerinin ortalama %17,742 olduğu tespit edilmiştir. Hesaplamalarda bu değer kullanılmıştır.

4.3. Hata Analizi

Uygulamada çalışmaları deneysel ve teorik olarak iki kısma ayırmak mümkündür. Deneysel çalışmalar maliyet bakımından daha pahalı ve teorik çalışmaya göre daha zordur. Ancak yapılan teorik çalışmaların deneysel çalışmalarla desteklenmesi çalışmanın doğruluğu açısından önemlidir. Teorik çalışmaların, deneysel çalışmalarla desteklenmesi durumunda geçerliliği artırılabilmektedir. Ancak deneysel çalışmalarında doğruluğu yapılan ölçümlerin doğruluğu ile orantılıdır. Bu doğruluğu etkileyen önemli etken ise deneysel çalışmalar sırasında ortaya çıkabilecek hatalardır. Bu hatalar ölçü aletlerinden kaynaklanan hatalar ve deneyi yapan kişiden kaynaklanan hatalardır. Yetenekli bir deneyci tarafından yapılan deneylerde kişiye bağlı olan hatanın kaldırılması mümkündür. Ölçü aletlerinden kaynaklanan hatalar ise direk olarak deneyde kullanılan araç ve gereçlerin yapısından kaynaklanmaktadır [96].

Ölçü aletlerinden kaynaklanan hataları üç ana grupta toplamak mümkündür. Birinci olarak deneyde kullanılan araç ve gereçlerin imalatından kaynaklanan hatalar. İkinci olarak aynı büyüklüğün tekrar olarak okunmasından kaynaklı hatalar, üçüncü olarak ta deney gereçlerinin rastgele elektronik salınımlarından ve sürtünme etkilerinden kaynaklı hatalardır [91].

Ölçülen büyüklüklerin hata değerleri üretici firmalar tarafından önerilmiş olan hata değerlerine bağlı olarak hesaplanmıştır. Ayrıca deneyde kullanılan araç ve gereçlerin

imalatları aşamasında hata olmadığı kabul edilmiştir. Her bir bağımsız değişken için ortaya çıkabilecek hata değerleri aşağıda hesaplanmıştır.

4.3.1. Sıcaklık Ölçümünde Yapılan Hatalar

Farklı noktalardan yapılan sıcaklık ölçümlerinden kaynaklı hatalar ;

(a_1) Termokouple çiftlerinden kaynaklanan hata = ± 0,1 ^oC

(b_1) Bağlantı elemanları ve noktalardan kaynaklanan hata = ± 0,1 ^oC

(c_1) Kollektör tabandaki sıcaklık ölçülmesinde yapılabilecek ortalama hata = ± 0,1 ^oC

(d_1) Kollektör ortam sıcaklık ölçülmesinde yapılabilecek ortalama hata = ± 0,1 ^oC

(e_1) Kollektör cam kapak sıcaklık ölçülmesinde yapılabilecek ortalama hata = ± 0,1 ^oC

(f_1) Kollektör çıkış sıcaklık ölçülmesinde yapılabilecek ortalama hata =± 0,1 ^oC

(g_1) Kurutma odası giriş sıcaklık ölçülmesinde yapılabilecek ortalama hata = ± 0,1 ^oC

(h_1) Kurutma odası içi sıcaklık ölçülmesinde yapılabilecek ortalama hata = ± 0,1 ^oC

(I_1) Kurutma odası çıkış sıcaklık ölçülmesinde yapılabilecek ortalama hata = ± 0,1 ^oC

(j_1) Balığın merkez sıcaklık ölçülmesinde yapılabilecek ortalama hata = ± 0,1 ^oC

(k_1) Çevre sıcaklık ölçülmesinde yapılabilecek ortalama hata = ± 0,1 ^oC

4.3.1.2. Zaman Ölçümünden Kaynaklanan Hata

Deneyler esnasında zaman değerleri dijital saat ile ölçülmüştür. Ölçülen zaman değerlerinde ortaya çıkan hatalar;

(a_2) Zaman ölçerin titreşiminden kaynaklanan hata = ± 0,0003 dk,

(b_2) Peryodik olarak sıcaklık değerinin alınmasında yapılan hata = ± 0,10 dk.

(c_2) Peryodik olarak tartım alınmasında yapılabilecek ortalama hata = ± 0,10 dk.

(d_2) Peryodik olarak rüzgar hızının ölçümünden yapılabilecek ortalama hata = ± 0,10 dk.

(e_2) Peryodik olarak ışınım ölçümünden yapılabilecek ortalama hata = ± 0,10 dk.

(f_2) Peryodik olarak nem miktarının ölçümünde yapılabilecek ortalama hata = ± 0,10 dk

4.3.1.3. Kanallardaki Hız Ölçümündeki Hata

Deneyler sırasında kurutma havasının hızı ve kollketörden geçen havanın hızı teleskobik problu bir anemometre ile ölçülmüştür. Bu ölçümlerde ortaya çıkabilecek hatalar

(a_3) Anemometrenin hassasiyetinden kaynaklanan hata = ± 0,01m/s

(b_3) Debi kaçaklarından kaynaklanan hata = ± 0,1m/s

4.3.1.4. Rüzgar Hızı Ölçümündeki Hata

Deneyler sırasında rüzgarın hızı pervane tipi dijital bir anemometre ile ölçülmüştür. Ölçümlerde meydana gelebilecek olan hatalar;

(a_4) Anemometrenin hassasiyetinden kaynaklanan hata = ± 0,01m/s

4.3.1.5. Kütle Kayıplarının Ölçümünden Kaynaklanan Hata

Kütle kayıplarını ölçerken dijital hassas terazi ve yük hücresi (Load Cell) kullanılmıştır.

(a_5) Yük hücresinden kaynaklanan hata = ± 0,01 gr

(b_5) İndikatörden kaynaklanan hata = ± 0,01 gr

(c_5) Okumaktan kaynaklanan hata = ± 0,01 gr

(d_5) Askının salınımından kaynaklanan hata = ± 0,01 gr

4.3.1.6. Bağıl Nem Ölçümünden Kaynaklı Hata

Deneyler sırasında ortam , kolektör çıkış, kurutma odası giriş, kurutma odasının içi ve kurutma odasının çıkış nem değerleri dijital bir termohigrometre ile ölçülmüştür. Ortaya çıkabilecek hata ;

(a_6) Nem tayin cihazının hassasiyetinden kaynaklanan hata = ± 0,1 RH

(b_6) Nem tayin cihazındaki değerin okunmasından kaynaklanan hata = ± 0,1 RH

4.3.1.7. Işınım Ölçümünden Kaynaklı Hata

Güneş ışınım miktarını ölçmek için kullanılan pyronomeyre kullanılmış . değerler ise aynı firma tarafında üretilen mikrovoltmetreden w/m^2 biriminde okunmuştur. Işınım değerinin ölçümünden ortaya çıkabilecek hata;

(a_7) Işınım ölçerin hassasiyetinden kaynaklanan hata = ± 1 W/m^2

(b_7) Işınım ölçerin indikatörünün hassasiyetinden kaynaklanan hata = ± 1 W/m^2

(c_7) Işınım ölçerden değerin okunmasından kaynaklanan hata= ± 1 W/m^2

4.3.1.8. Diğer Hatalar

Deneyler sırasına elde edilen deneysel verileri kullanarak yapılan hesaplamalarda bazı tablo değerlerinin okunması gerekmektedir. Bu değerlerin okunması sırasında yapılacak hatalarda hesap sonucu üzerinde etkilidir. Bu hatalar;

(a_7) Fiziksel Özelliklerin okunmasında ortaya çıkacak hata = ± %1-%2

Tablo 4.1. Deneyler sırasında meydana gelen hata miktarları

Parametre	**Denklem**	**Toplam Hata**
Kollektör taban sıcaklığın ölçülmesinde yapılabilecek toplam hata (W_{Tts})	$W_{Tts}=[(a_1)^2+(b_1)^2+(c_1)^2]^{½}$	±0,0173 ^oC
Kollektör ortam sıcaklığın ölçülmesinde yapılabilecek toplam hata (W_{Tos})	$W_{Tos}=[(a_1)^2+(b_1)^2+(d_1)^2]^{½}$	±0,0173 ^oC
Kollektör cam kapak sıcaklığın ölçülmesinde yapılabilecek toplam hata (W_{Tcs})	$W_{Tcs}=[(a_1)^2+(b_1)^2+(e_1)^2]^{½}$	±0,0173 ^oC
Kollektör çıkış sıcaklığın ölçülmesinde yapılabilecek toplam hata ($W_{Tçs}$)	$W_{Tçs}=[(a_1)^2+(b_1)^2+(f_1)^2]^{½}$	±0,0173 ^oC
Kurutma odası giriş sıcaklığın ölçülmesinde yapılabilecek toplam hata (W_{Tkog})	$W_{Tkog}=[(a_1)^2+(b_1)^2+(g_1)^2]^{½}$	±0,0173 ^oC
Kurutma odası içi sıcaklığın ölçülmesinde yapılabilecek toplam hata (W_{Tkoi})	$W_{Tkoi}=[(a_1)^2+(b_1)^2+(h_1)^2]^{½}$	±0,0173 ^oC
Kurutma odası çıkış sıcaklığın ölçülmesinde yapılabilecek toplam hata ($W_{Tkoç}$)	$W_{Tkoç}=[(a_1)^2+(b_1)^2+(I_1)^2]^{½}$	±0,0173 ^oC

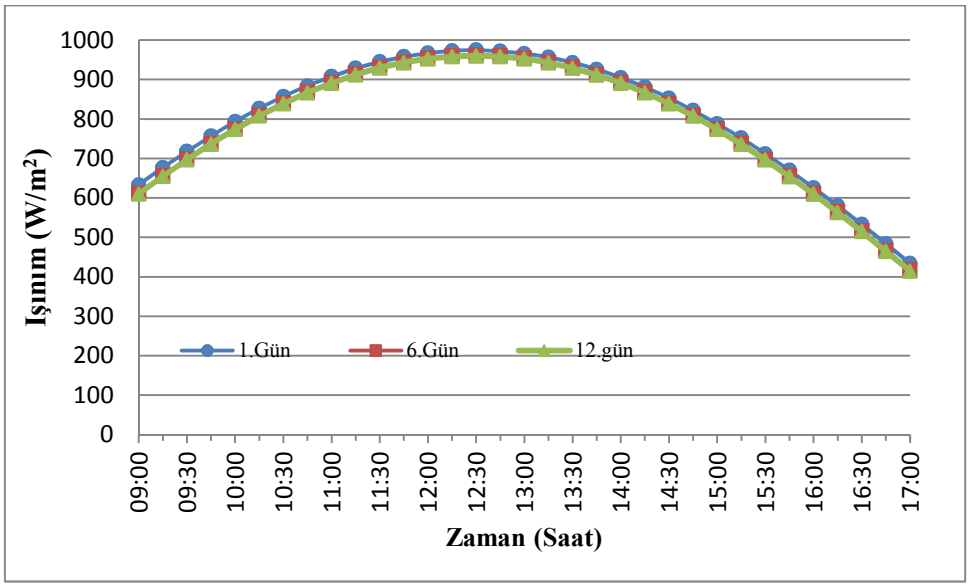
Parametre	**Denklem**	**Toplam Hata**
Balık merkez sıcaklığın ölçülmesinde yapılabilecek toplam hata (W_{Tbm})	$W_{Tbm}=[(a_1)^2+(b_1)^2+(j_1)^2]^{½}$	±0,0173 ^oC
Çevre sıcaklığın ölçülmesinde yapılabilecek toplam hata ($W_{Tç}$)	$W_{Tç}=[(a_1)^2+(b_1)^2+(k_1)^2]^{½}$	±0,0173 ^oC
Periyodik olarak sıcaklık ölçümünde ortaya çıkabilecek toplam zaman hatası (W_{ts})	$W_{ts}=[(a_2)^2+(b_2)^2]^{½}$	±0,1 dk
Periyodik olarak ağırlık ölçümünde ortaya çıkabilecek toplam zaman hatası (W_{ta})	$W_{ta}=[(a_2)^2+(c_2)^2]^{½}$	±0,1 dk
Periyodik olarak rüzgar ölçümünde ortaya çıkabilecek toplam zaman hatası (W_{tr})	$W_{tr}=[(a_2)^2+(d_2)^2]^{½}$	±0,1 dk
Periyodik olarak ışınım ölçümünde ortaya çıkabilecek toplam zaman hatası ($W_{tı}$)	$W_{tı}=[(a_2)^2+(e_2)^2]^{½}$	±0,1 dk
Periyodik olarak nem ölçümünde ortaya çıkabilecek toplam zaman hatası (W_{tn})	$W_{tn}=[(a_2)^2+(f_2)^2]^{½}$	±0,1 dk
Kanallardaki hız ölçümünden kaynaklanabilecek toplam hata (W_{kv})	$W_{kv}=[(a_3)^2+(b_3)^2]^{½}$	±0,1 m/s
Rüzgar hız ölçümünden kaynaklanabilecek toplam hata (W_{rv})	$W_{rv}=[(a_4)^2]^{½}$	±0,1 m/s
Kütle değişimlerinin ölçülmesinde yapılabilecek toplam hata (W_A)	$W_A=[(a_5)^2+(b_5)^2+(c)^2+(d_5)^2]^{½}$	±0,02 gr
Bağıl nem ölçülmesinde yapılabilecek toplam hata (W_{Bn})	$W_{ts}=[(a_6)^2+(b_6)^2]^{½}$	±0,14 RH
Işınım ölçülmesinde yapılabilecek toplam hata (W_{Bn})	$W_{Tts}=[(a_7)^2+(b_7)^2+(c_7)^2]^{½}$	±1,73 W/m^2
Fiziksel Özelliklerin okunmasında ortaya çıkacak hata ($W_{Fö}$)	$W_{Fö}=[(a_8)^2]^{½}$	± %1-%2

5. BULGULAR VE İRDELEME

5.1. Kolektör Verilerinin Analizi

Deneysel çalışmamızda kurutma havasını ısıtmak amacıyla güneş kolektörleri kullanılmıştır. Kurutma işlemine başlamadan önce verimi yüksek olan kolektör belirlenmiştir. Bu amaçla 5 tip kolektör verimi üç farklı hava debisinde incelenmiştir. Hava debiler 0,02 kg/s , 0,04 kg/s ve 0,06 kg/s 'dir. Deneyler 11.07.2012 ile 22.07.2012 tarihleri arasında yapılmıştır. Bu tarihler arasında ışınım değerleri ve rüzgâr hızları yaklaşık olarak aynıdır.

Şekil 5.1'de deneylerin yapıldığı 12 güne ait ortalama ışınım değerleri verilmiştir. Deneylerin ilk gününde ışınım sabah 09:00'da 633 W/m^2 , 13:00'da 975 W/m^2 ve 17:00'da 434 W/m^2 olarak ölçülmüştür. Deneylerin 12. Gününde ise sabah 09:00'da 610 W/m^2 , 13:00'da 960 W/m^2 ve 17:00'da 415 W/m^2 olarak ölçülmüştür.

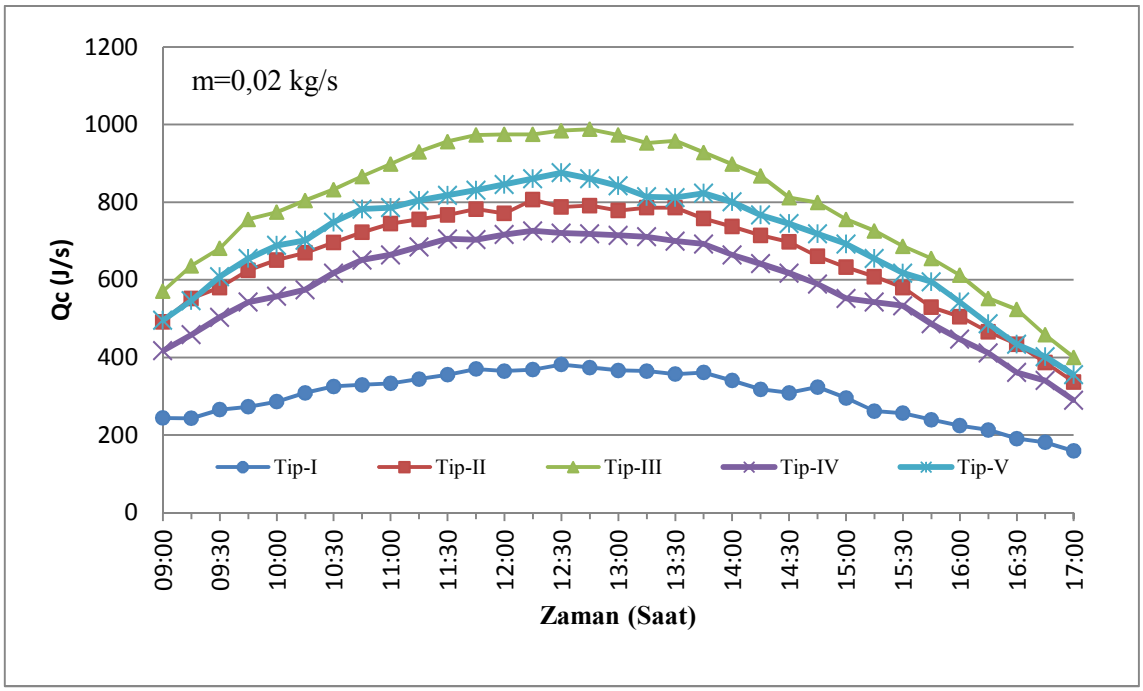


Şekil 5.1. Işınım değerlerinin günün saatlerine göre değişimi

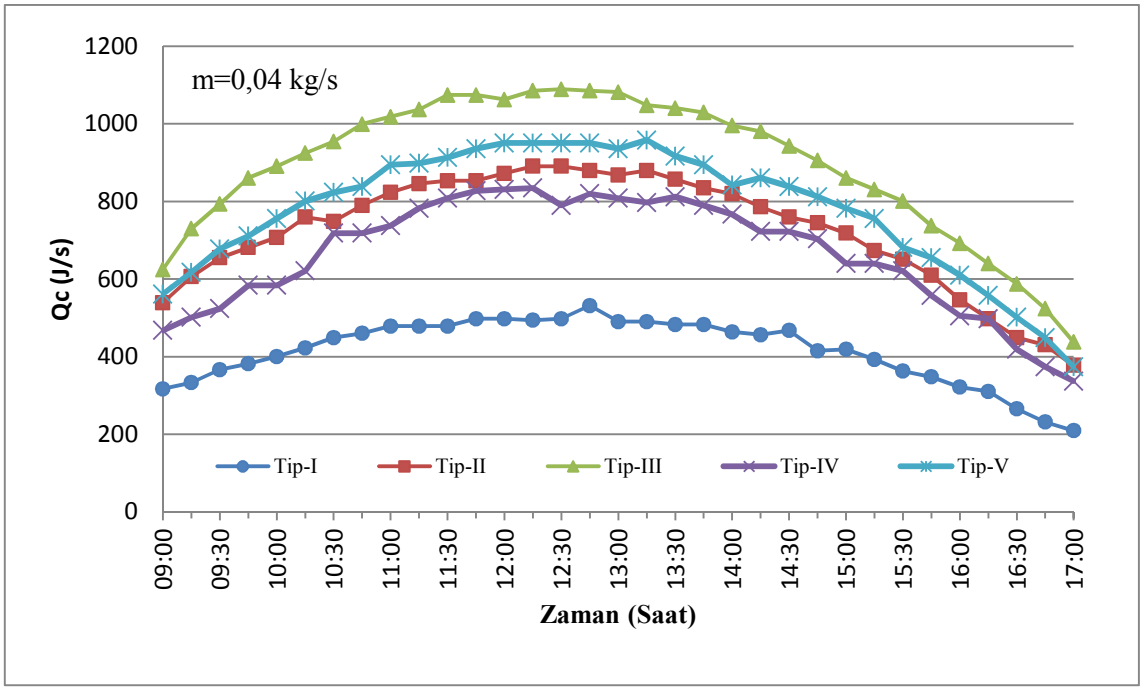
Eşitlik (2.1) kullanılarak her bir kolektör için farklı debilerdeki faydalı ısı miktarları hesaplanmıştır. Şekil 5.2-5.4'de her bir debi için faydalı ısı miktarlarının zamanla değişimi gösterilmiştir. En yüksek faydalı ısı Tip-III 'de m=0,06 kg/s'de elde edilmiştir. Bu durum için faydalı ısı 483 J/s ile 1180 J/s arasında değişmekte olup ortalama 990 J/s'dir.

En düşük faydalı ısı ise Tip-I'de m=0,02 kg/s'lik debide gözlemlenmiştir. Bu durum için ise faydalı ısı 160 J/s ile 382 J/s arasında olduğu ve ortalamasının 311 J/s'ye olduğu tespit edilmiştir. Şekil 5.5 ise Tip-III için farklı debi sayılarında faydalı ısının zamanla değişimi gösterilmiştir. Şekilde görüleceği gibi debinin artması ile faydalı ısı miktarı da artmaktadır.

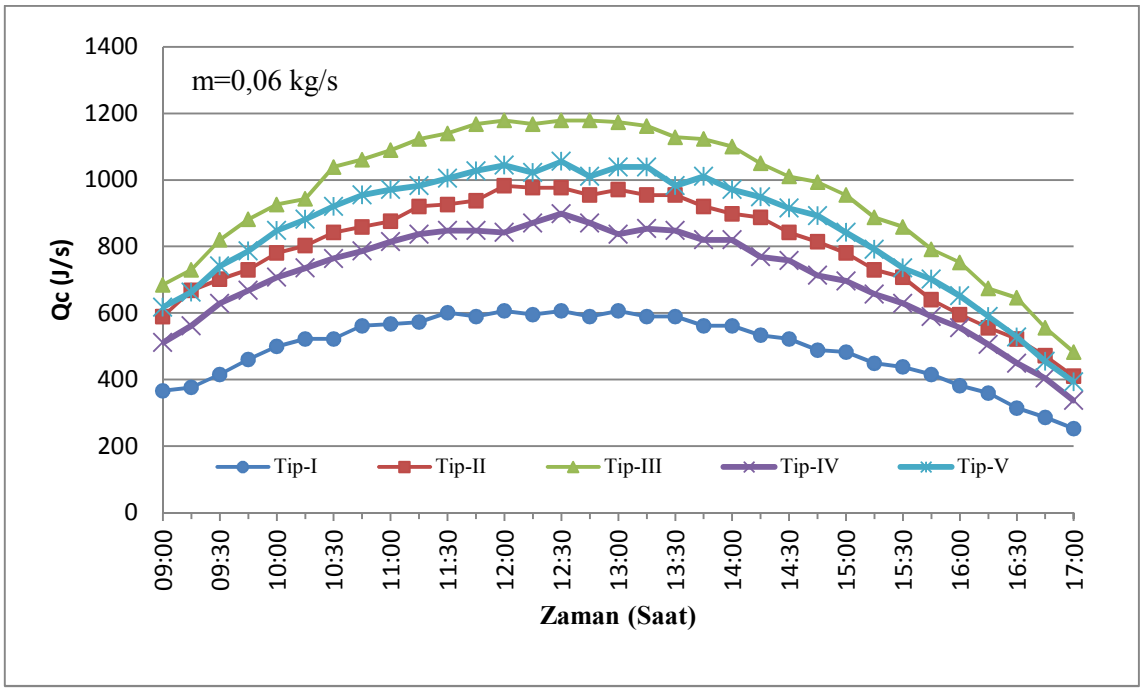
Faydalı ısı miktarının V tipi eleman ile türbülans etkisi artırılmış kolektörlerde daha fazla olmasının neden emici yüzey alanın konvensiyonel tip kolektörden daha büyük olmasıdır. Bu alan konvensiyonel tip kolektörde yaklaşık 1,71 m^2 iken diğer tip kolektörlerde yaklaşık 2 m^2 kadardır. Ayrıca V tipi eleman yerleştirilmiş kolektörde daha fazla türbülans olması ile birlikte akışkanın daha uzun sürede türbülanslı olarak kolektörde kalması sağlanmıştır. Faydalı ısının debinin artması ile birlikte artmasının nedeni ise emici yüzeye daha fazla akışkanın temas etmesidir. Bu şekilde emici plaka ile daha fazla akışkan molekülü temas halinde olacak ve daha fazla bir ısı transferi gerçekleşecektir. Ancak daha fazla kütlesel debi kolektör çıkış sıcaklığının düşmesine neden olacaktır.



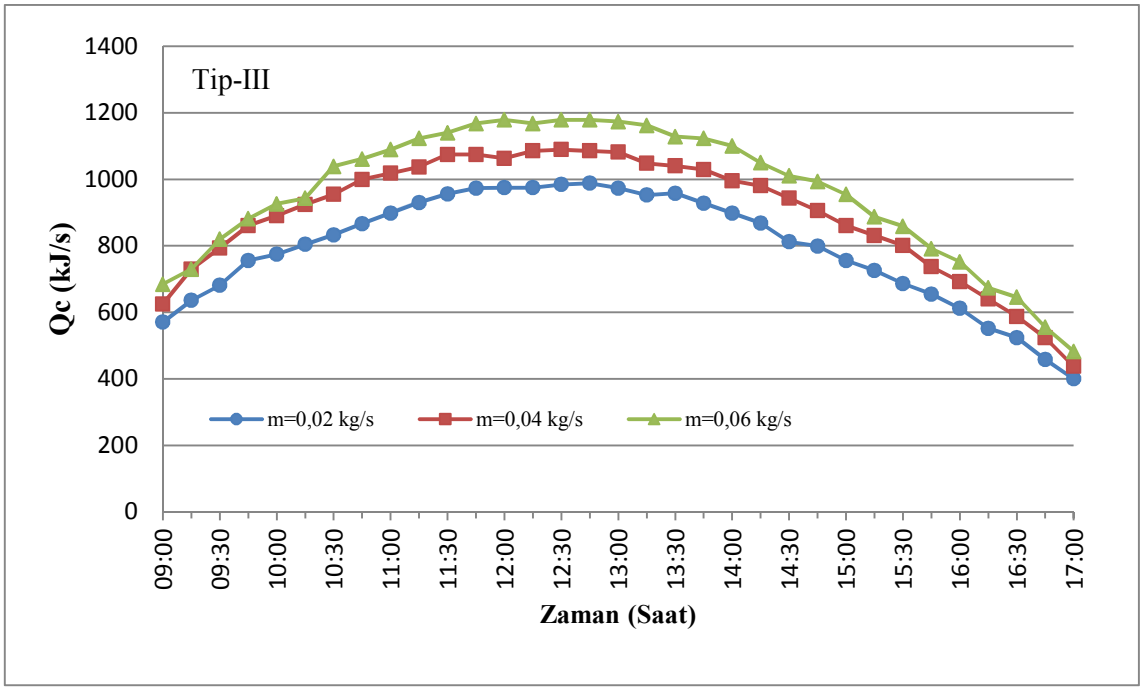
Şekil 5.2. m=0,02 kg/s debi için faydalı ısının zamanla değişimi



Şekil 5.3 m=0,04 kg/s debi için faydalı ısının zamanla değişimi



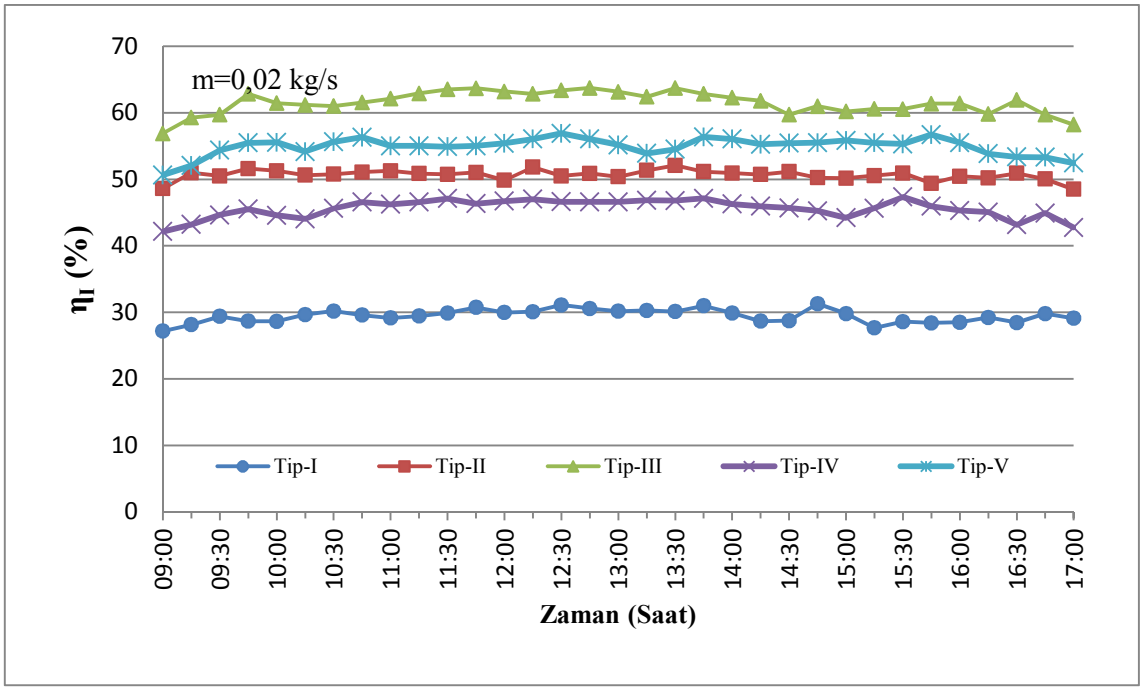
Şekil 5.4 m=0,06 kg/s debi için faydalı ısının zamanla değişimi



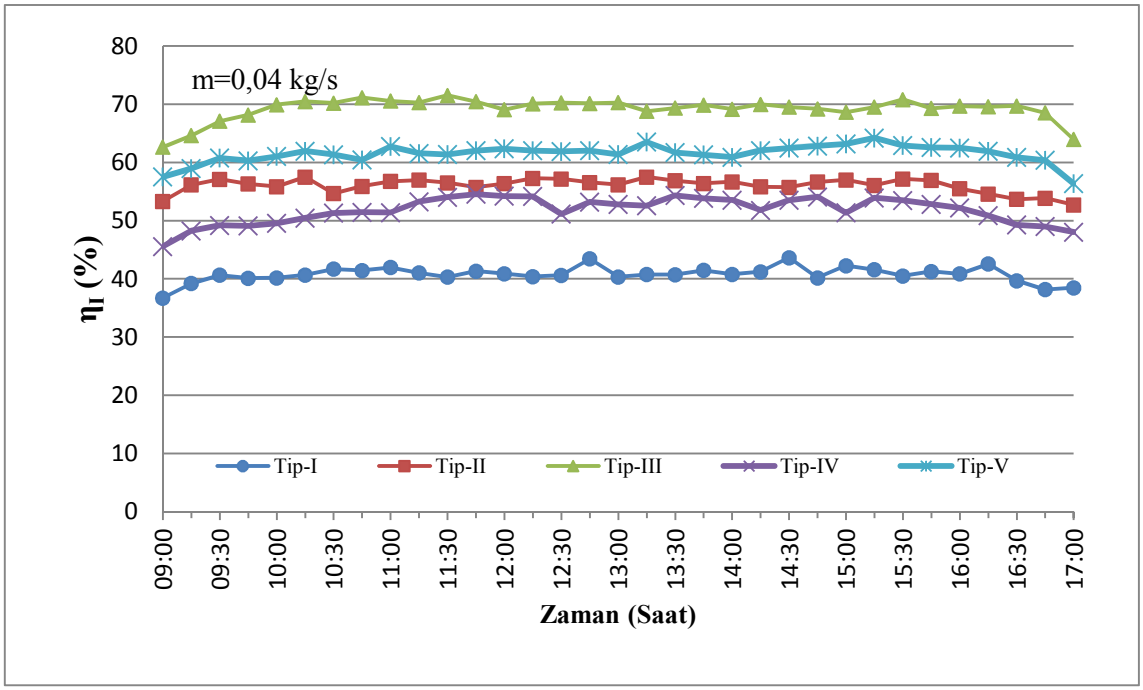
Şekil 5.5 Tip-III için faydalı ısının zamanla değişimi

Eşitlik 1.2 kullanılarak her bir kolektör için I. Kasa verimi incelenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre Şekil 5.6-5.8 'de her bir debi için enerji veriminin zamanla değişimi gösterilmiştir. I. Kasa verimi en yüksek Tip-III'de m=0,06 kg /s debide ortlama %77,1 olarak hesaplanmıştır. En düşük ise Tip-I'de m=0,02 kg/s debide ortalama %30,38 olarak hesaplanmıştır. Şekil 5.9'da ise Tip-III için farklı debilerde verimin zamanla değişimi gösterilmiştir. Debi miktarının artması ile I. Kanun verimi de artmaktadır.

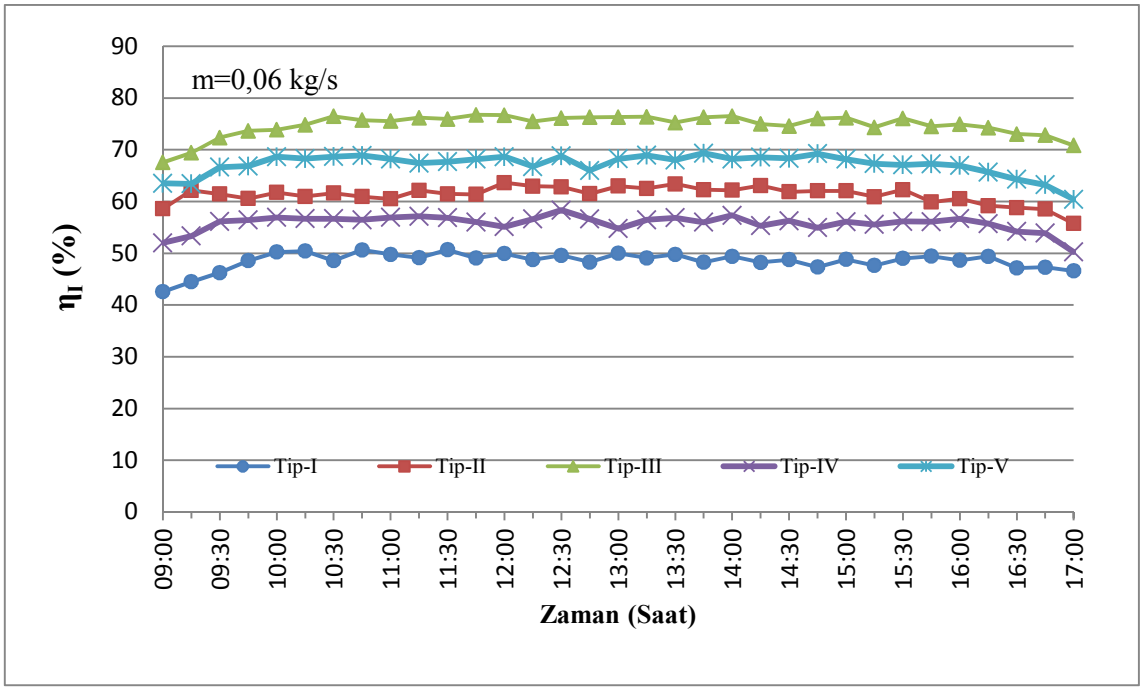
I. Kanun verimi en düşük konvensiyonel tip kolektörde olduğu gözlemlenmiştir. Bunun nedeni faydalı ısı miktarının en düşük bu kolektörde olmasıdır. Yine faydalı ısı da olduğu gibi debinin artması ile birlikte I. Kanun verimi de artmaktadır. Bunun da nedeni faydalı ısı miktarının debi ile artmasıdır.



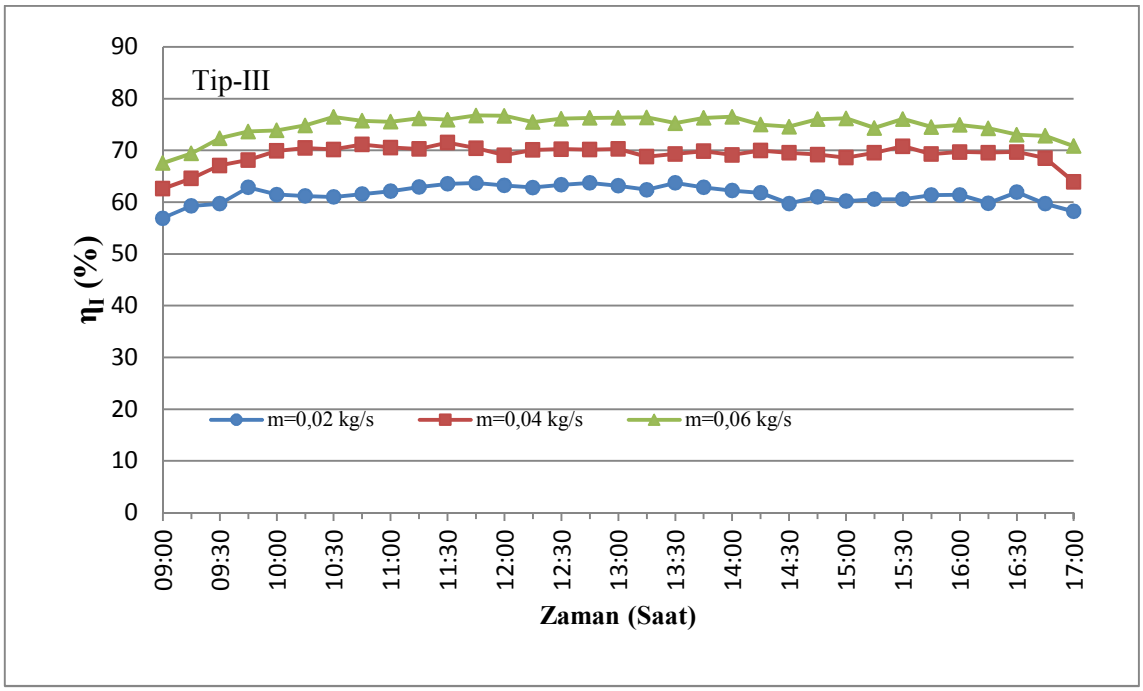
Şekil 5.6 m=0,02 kg/s debi için I.kanun veriminin zamanla değişimi



Şekil 5.7 m=0,04 kg/s debi için I.kanun veriminin zamanla değişimi



Şekil 5.8 m=0,06 kg/s debi için I.kanun veriminin zamanla değişimi

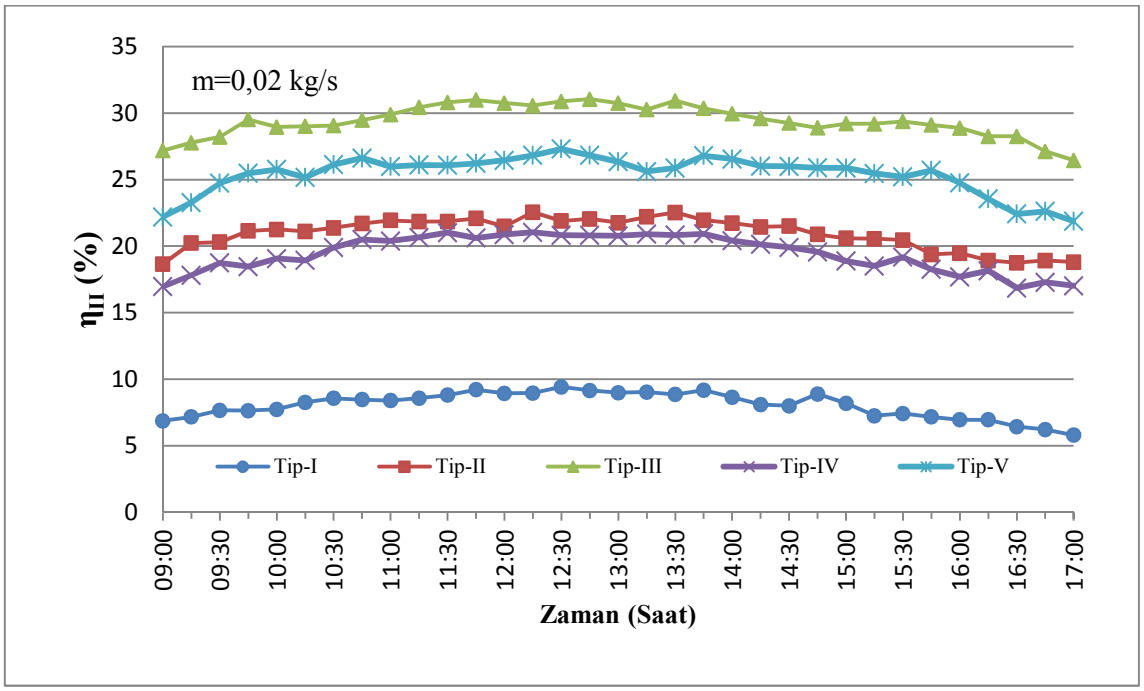


Şekil 5.9 Tip-III için I.kanun veriminin zamanla değişimi

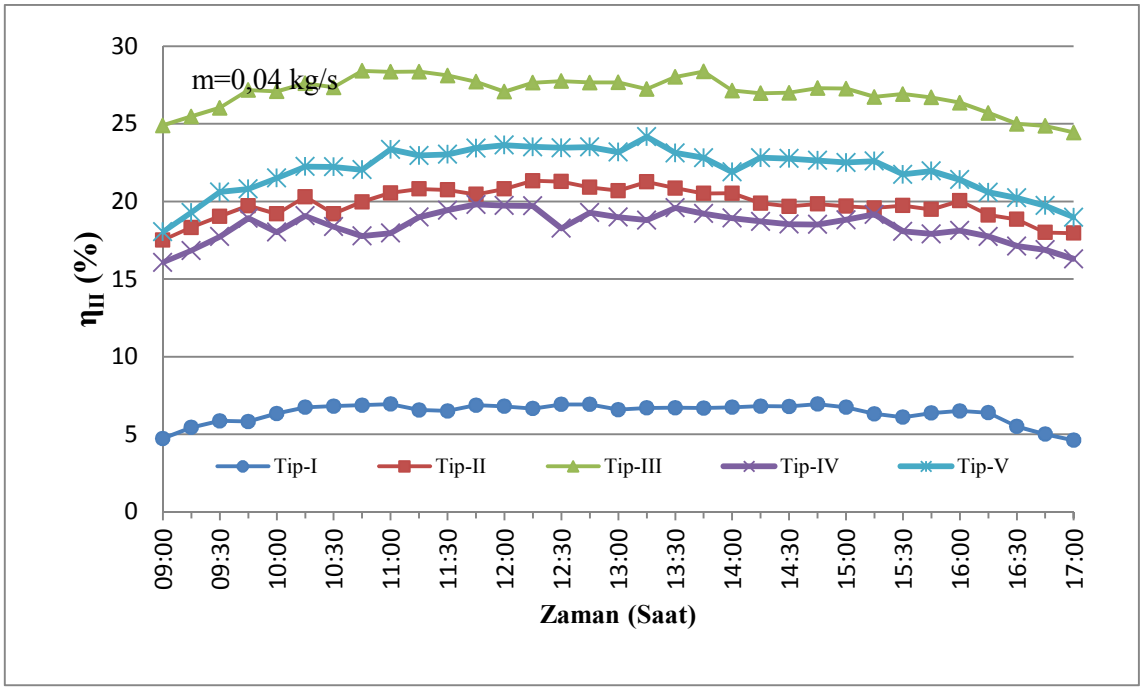
Eşitlik 1.16 kullanılarak II. Kanun verimi hesaplanmıştır. Güneş enerjili havalı kolektörler ısı değiştirgeci olarak kabul edilmektedir. Bu nedenle denklemde yer alan Ts kaynak sıcaklığı olarak emici plakanın sıcaklığı kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre Şekil 5.10-5.12 'de her bir debi için enerji veriminin zamanla değişimi gösterilmiştir.

II. Kanun verimi en yüksek Tip-III'de m=0,02 kg /s debide %30,32 olarak hesaplanmıştır. En düşük ise Tip-I'de m=0,06 kg/s debide ortalama %4,83 olarak hesaplanmıştır. Şekil 5.13'da ise Tip-III için farklı debilerde II. Kanun veriminin zamanla değişimi gösterilmiştir.

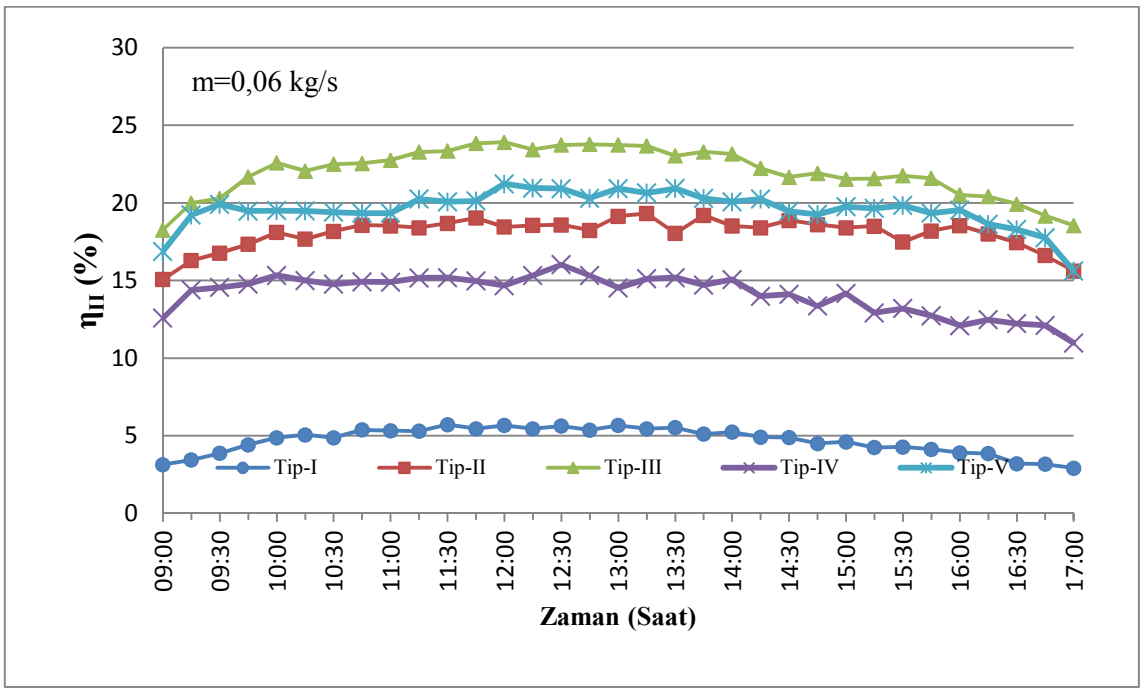
II. Kanun veriminin en düşük olduğu kolektör Tip-I'dir. Bu kolektörde ısı transfer miktarının az olması ile birlikte II. Kanun verimi de düşük çıkmıştır. Aynı zamanda II. Kanun verimi bir sistemde elde edilen enerjinin kalitesinin göstergedir. Bu yüzden bu sistemden elde edilen II. Kanun veriminin değişimi akışkanın debisi ile ters orantılıdır. Akışkanın debisinin artırılması ile dönüştürülen enerjinin kalitesinin bozulduğu ve buna bağlı olarak da II. Kanun veriminde bir düşüş olduğu gözlemlenmiştir.



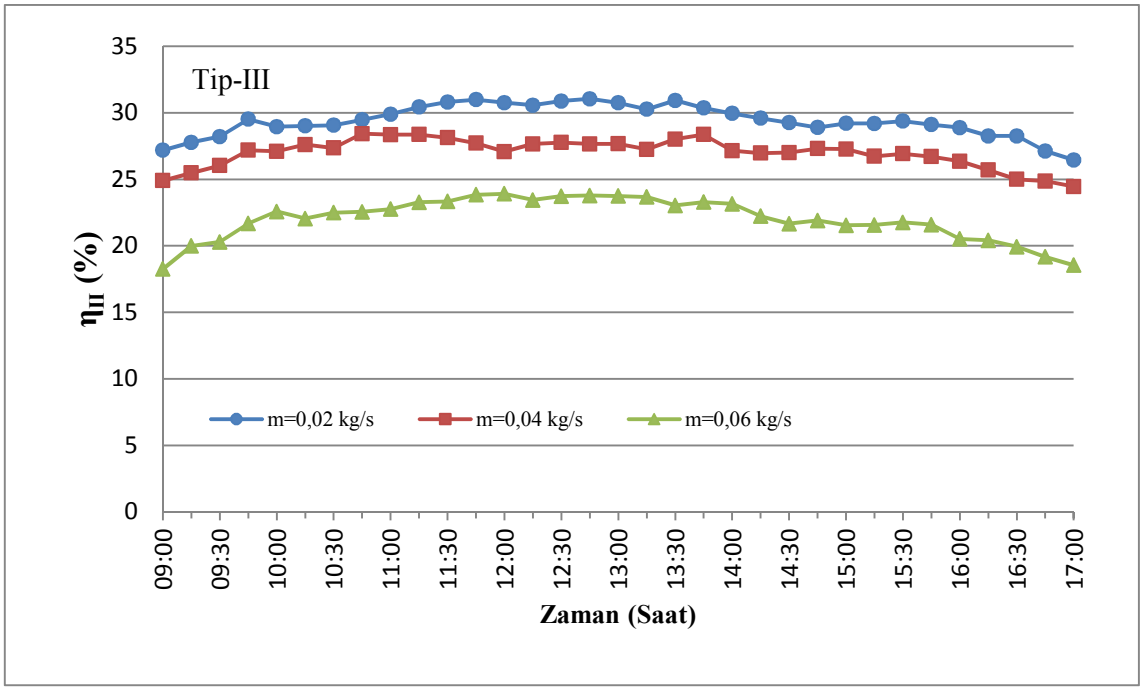
Şekil 5.10 m=0,02 kg/s debi için II.kanun veriminin zamanla değişimi



Şekil 5.11 m=0,04 kg/s debi için II.kanun veriminin zamanla değişimi

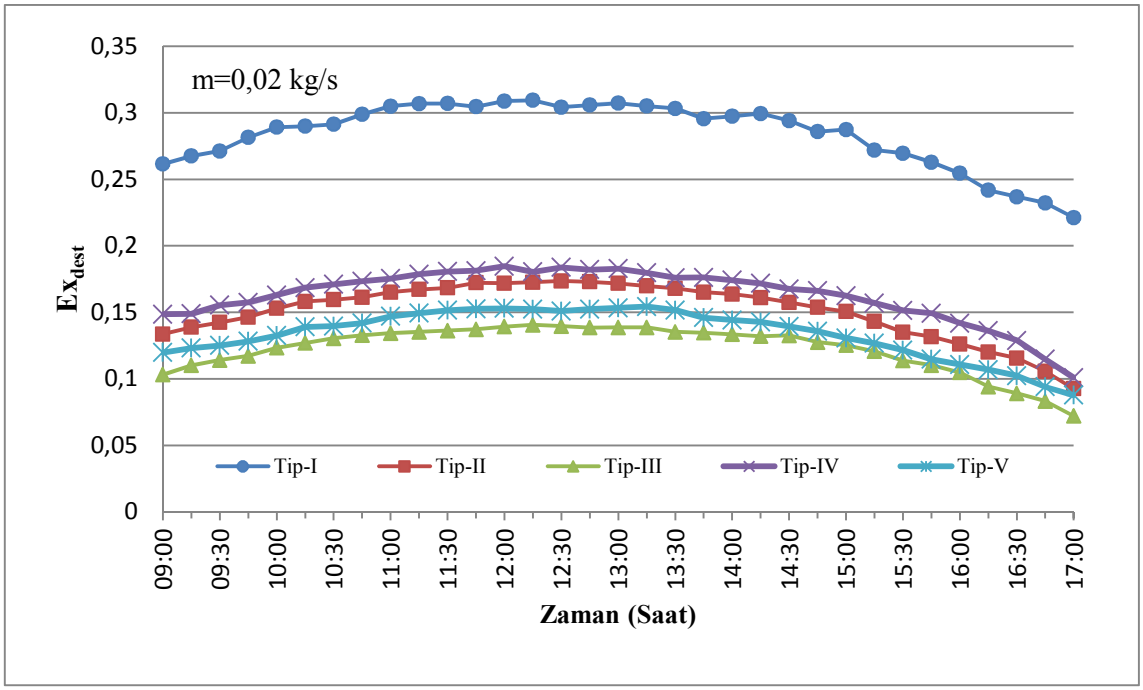


Şekil 5.12 m=0,06 kg/s debi için II.kanun veriminin zamanla değişimi

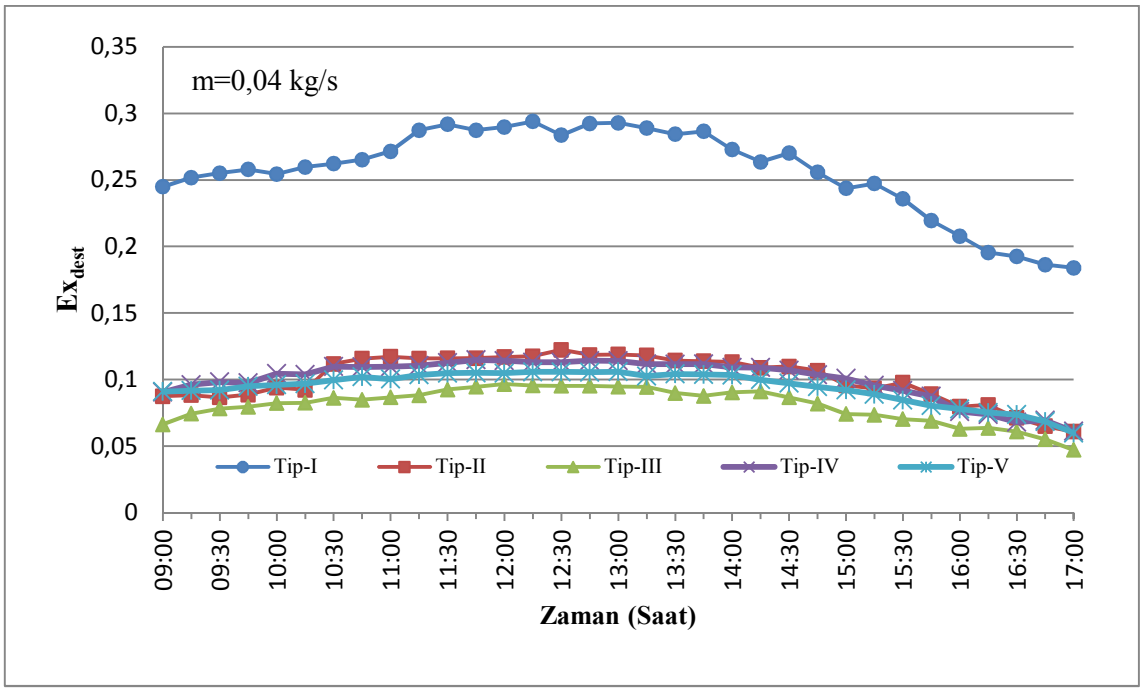


Şekil 5.13 Tip-III için II.kanun veriminin zamanla değişimi

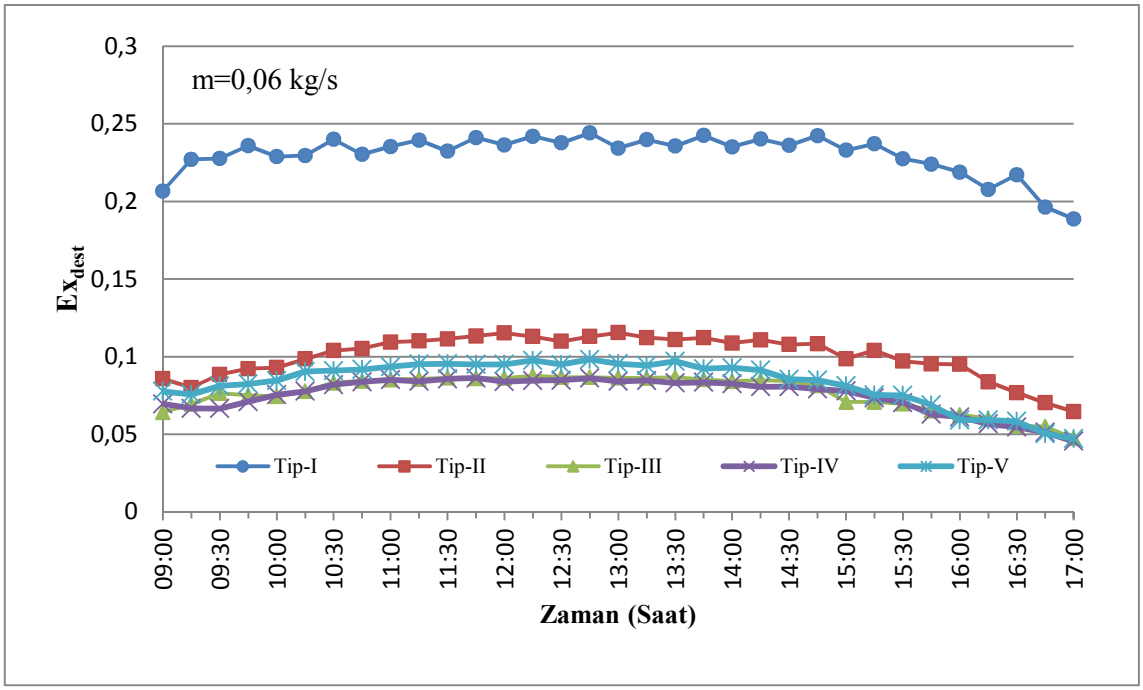
Eşitlik 1.15 kullanılarak Boyutsuz Ekserji oranı hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlara göre Şekil 5.14-5.16 'de her bir debi için enerji veriminin zamanla değişimi gösterilmiştir. Boyutsuz ekserji oranı en düşük Tip-III'de m=0,06 kg /s debide 0,084476 olarak hesaplanmıştır. En yüksek ise Tip-I'de m=0,02 kg/s debide ortalama 0,292775 olarak hesaplanmıştır. Şekil 5.17'da ise Tip-III için farklı debilerde boyutsuz ekserji oranının zamanla değişimi gösterilmiştir.



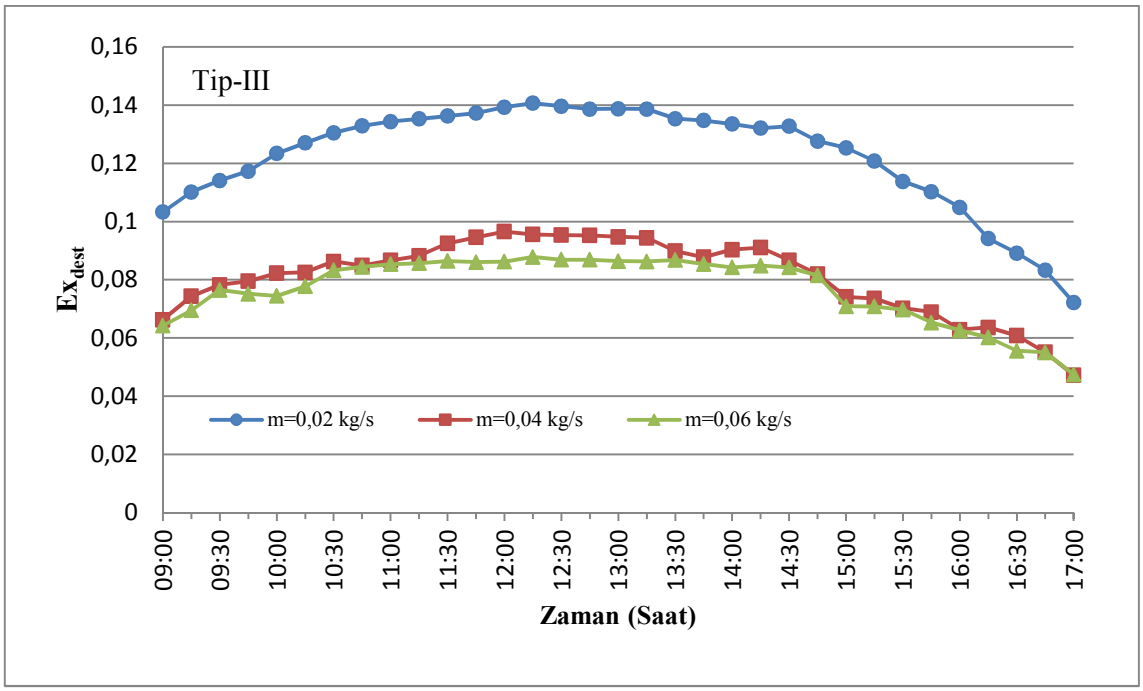
Şekil 5.14 m=0,02 kg/s için boyutsuz ekserji oranın zamanla değişimi



Şekil 5.15 m=0,04 kg/s için boyutsuz ekserji oranın zamanla değişimi

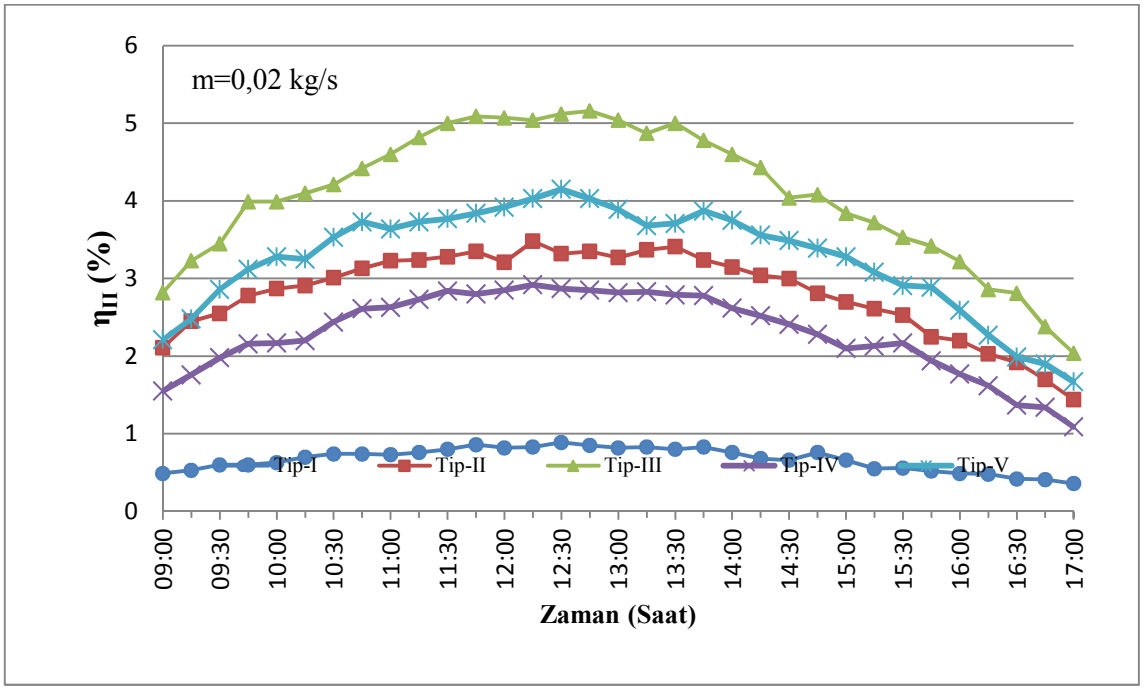


Şekil 5.16 m=0,06 kg/s için boyutsuz ekserji oranın zamanla değişimi

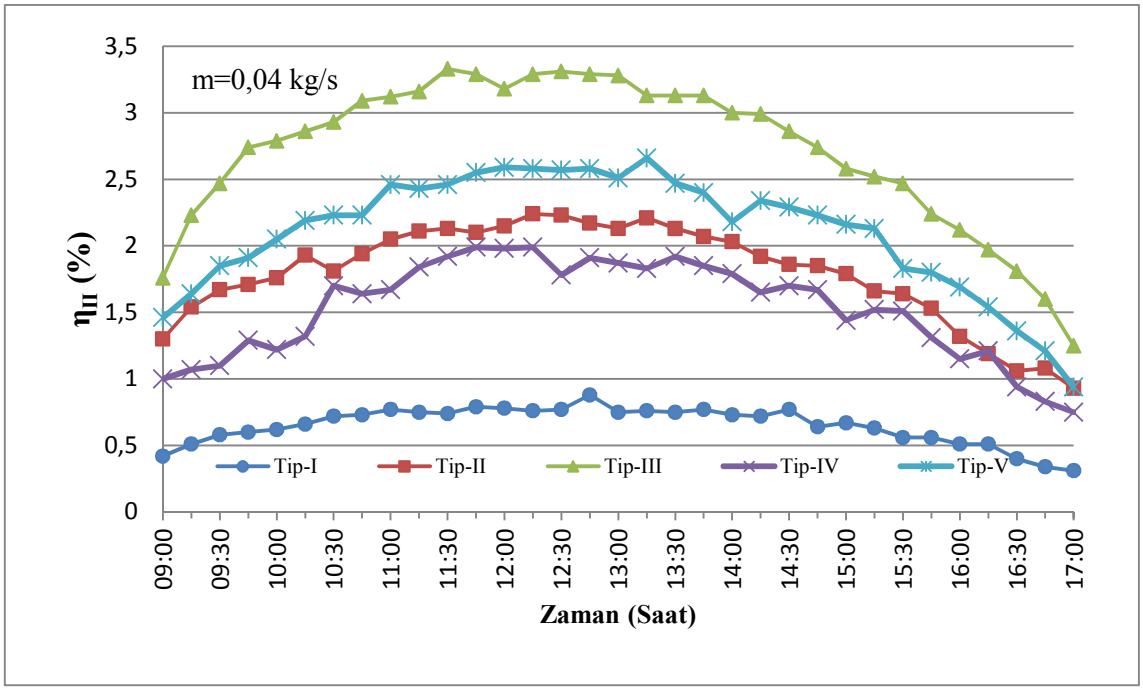


Şekil 5.17 Tip-III için boyutsuz ekserji oranın zamanla değişimi

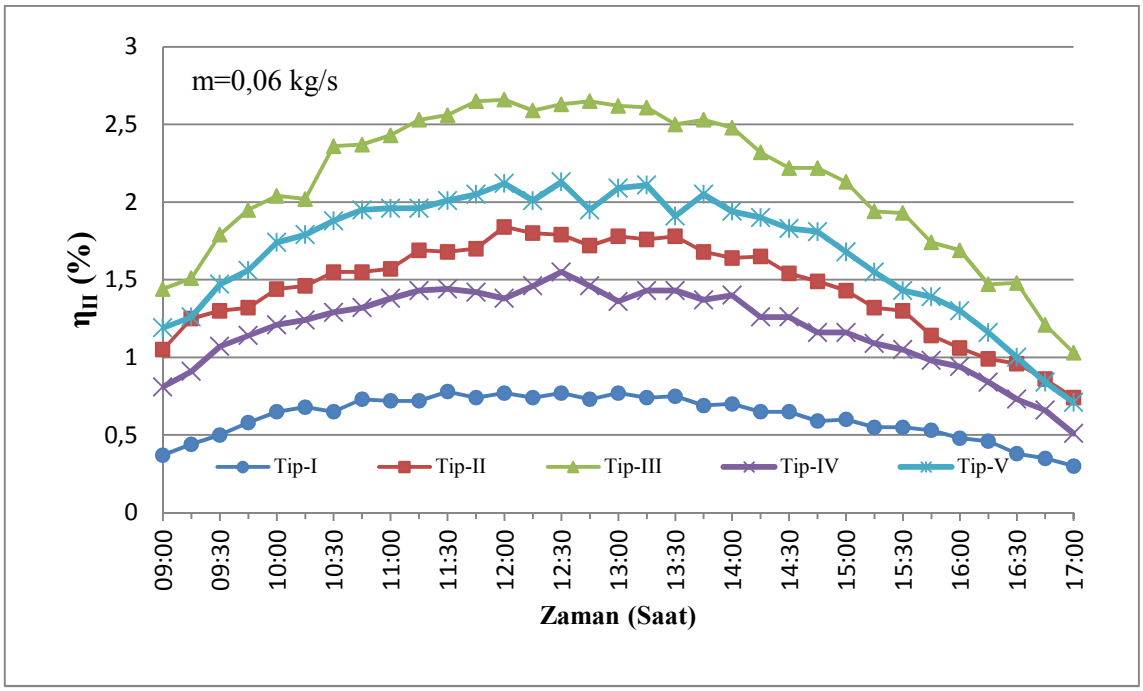
Havalı kolektörleri evren içindeki bir sistem olarak kabul edersek bu durumda kaynak sıcaklığı olarak güneşin sıcaklığının kabul edilmesi gerekmektedir. Bu durum için II. Kanun verimi ve boyutsuz ekserji oranları yeniden hesaplanarak grafiklere aktarılmıştır. Şekil 5.18-5.20 her bir debi için enerji veriminin zamanla değişimi gösterilmiştir. II. Kanun verimi en yüksek Tip-III'de m=0,02 kg /s debide % 4,57 olarak hesaplanmıştır. En düşük ise Tip-I'de m=0,06 kg/s debide ortalama % 0,6346 olarak hesaplanmıştır. Şekil 5.21'da ise Tip-III için farklı debilerde II. Kanun veriminin zamanla değişimi gösterilmiştir.



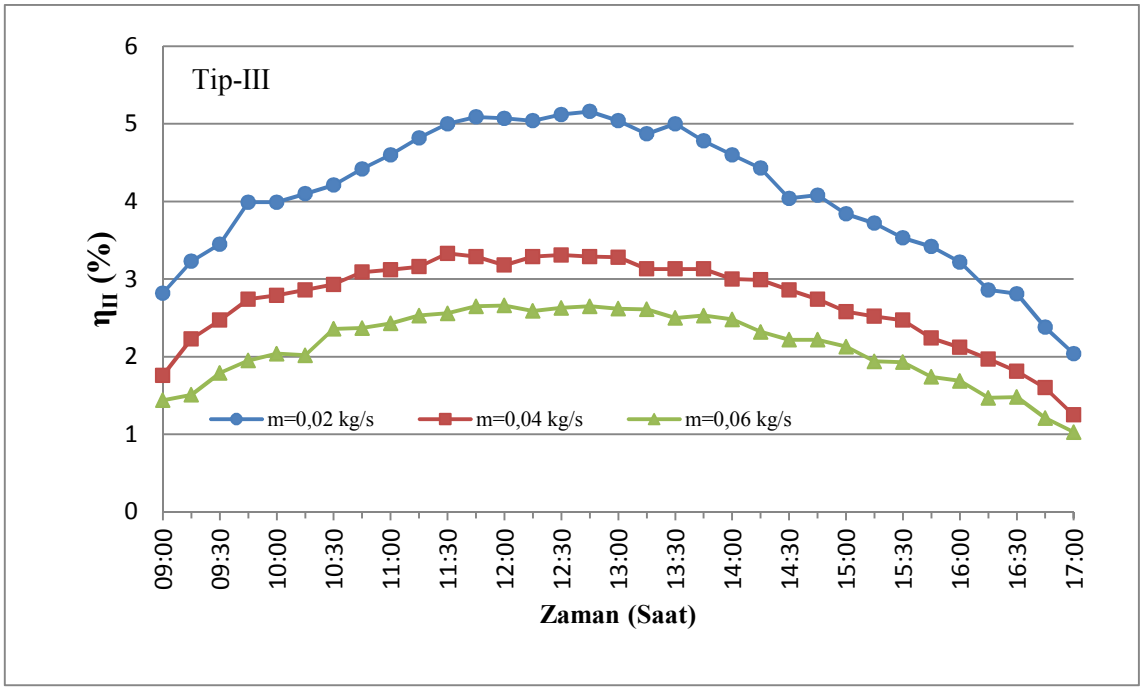
Şekil 5.18 m=0,02 kg/s debi için II.kanun veriminin zamanla değişimi



Şekil 5.19 m=0,04 kg/s debi için II.kanun veriminin zamanla değişimi

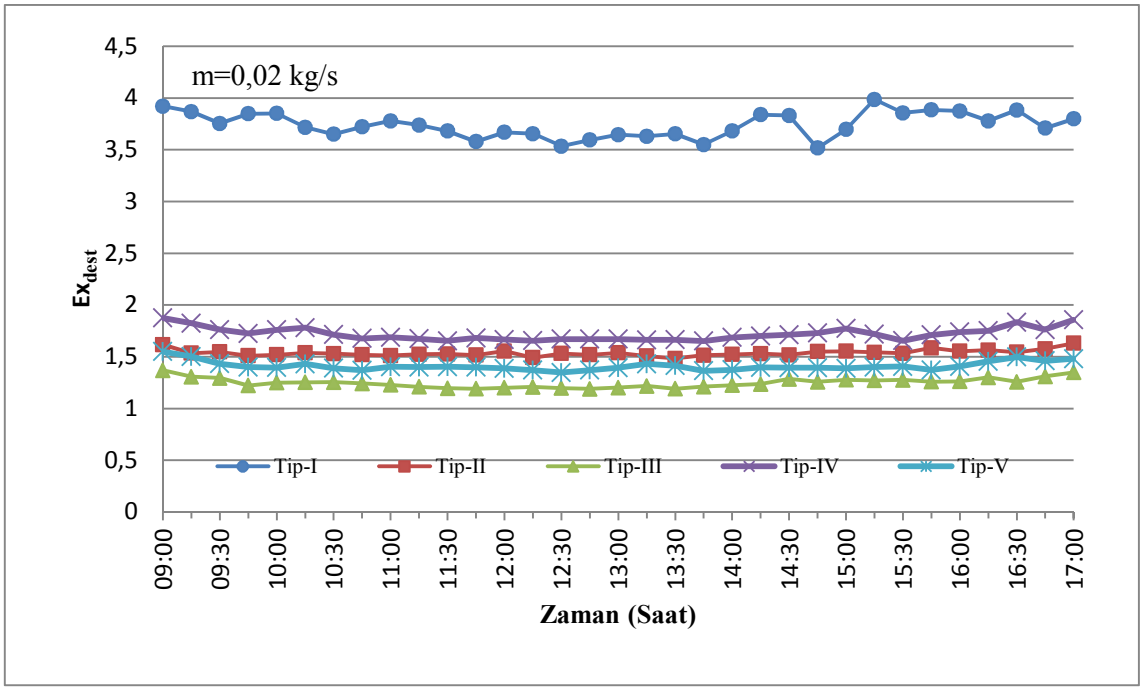


Şekil 5.20 m=0,06 kg/s debi için II.kanun veriminin zamanla değişimi

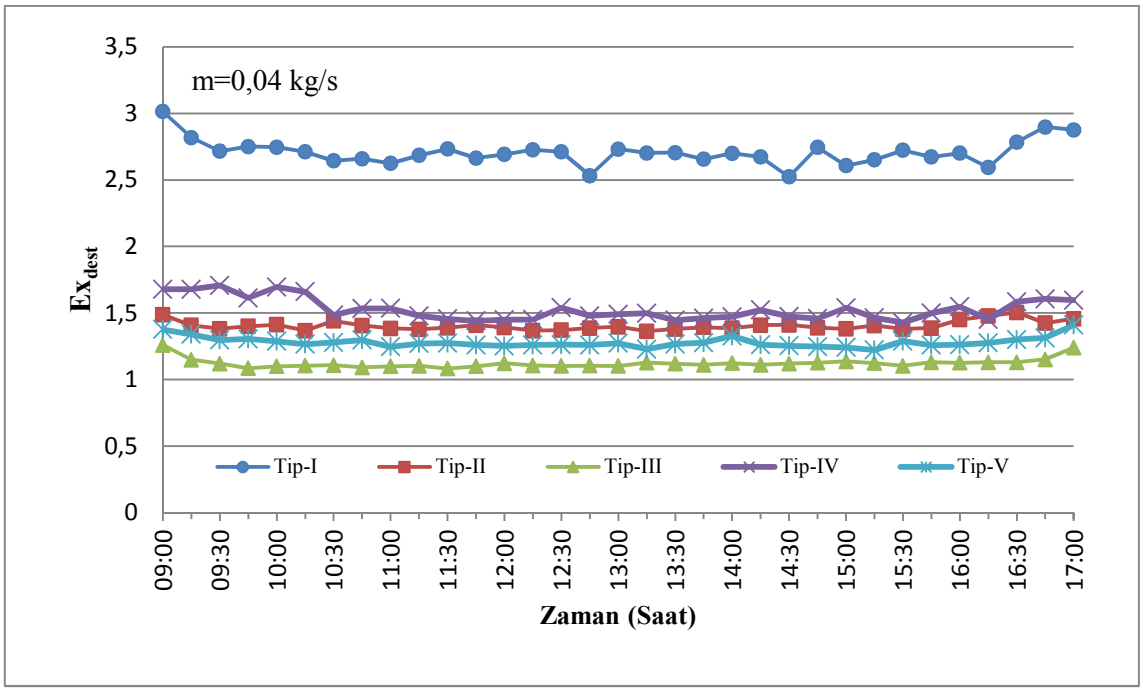


Şekil 5.21 Tip-III için II.kanun veriminin zamanla değişimi

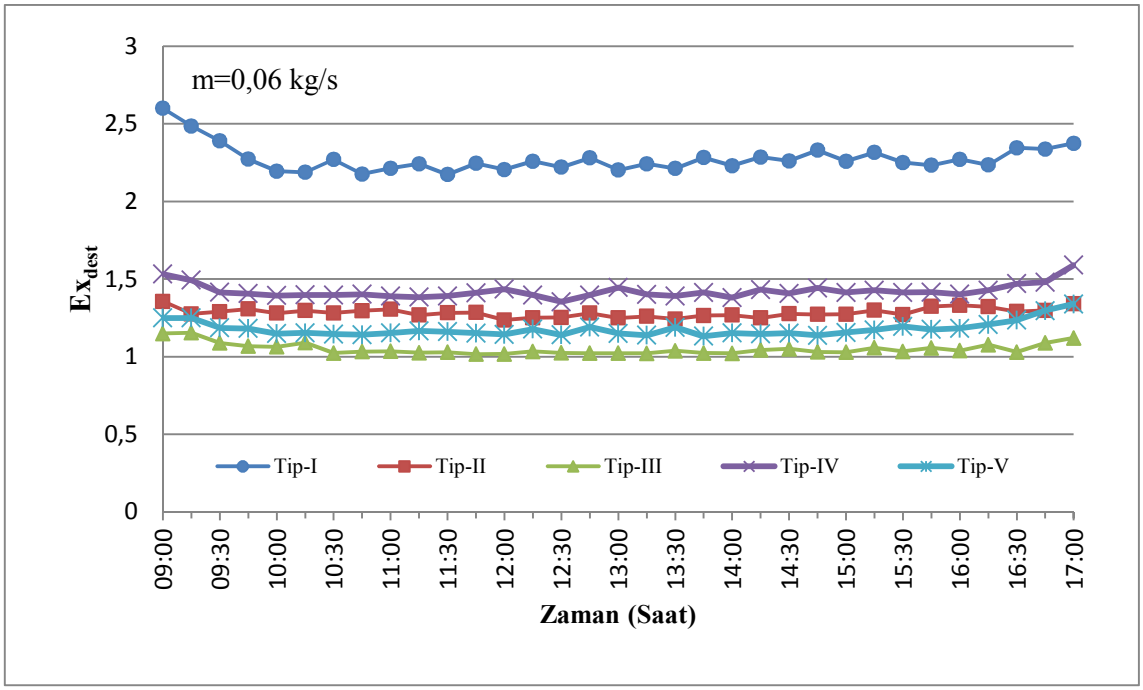
Şekil 5.22-5.24'de her bir debi için Boyutsuz ekserji oranın zamanla değişimi gösterilmiştir. Boyutsuz ekserji oranı en düşük Tip-III'de m=0,06 kg /s debide 1,177638 olarak hesaplanmıştır. En yüksek ise Tip-I'de m=0,02 kg/s debide ortalama 3,855156 olarak hesaplanmıştır. Şekil 5.13'da ise Tip-III için farklı debilerde Boyutsuz ekserji oranının zamanla değişimi gösterilmiştir.



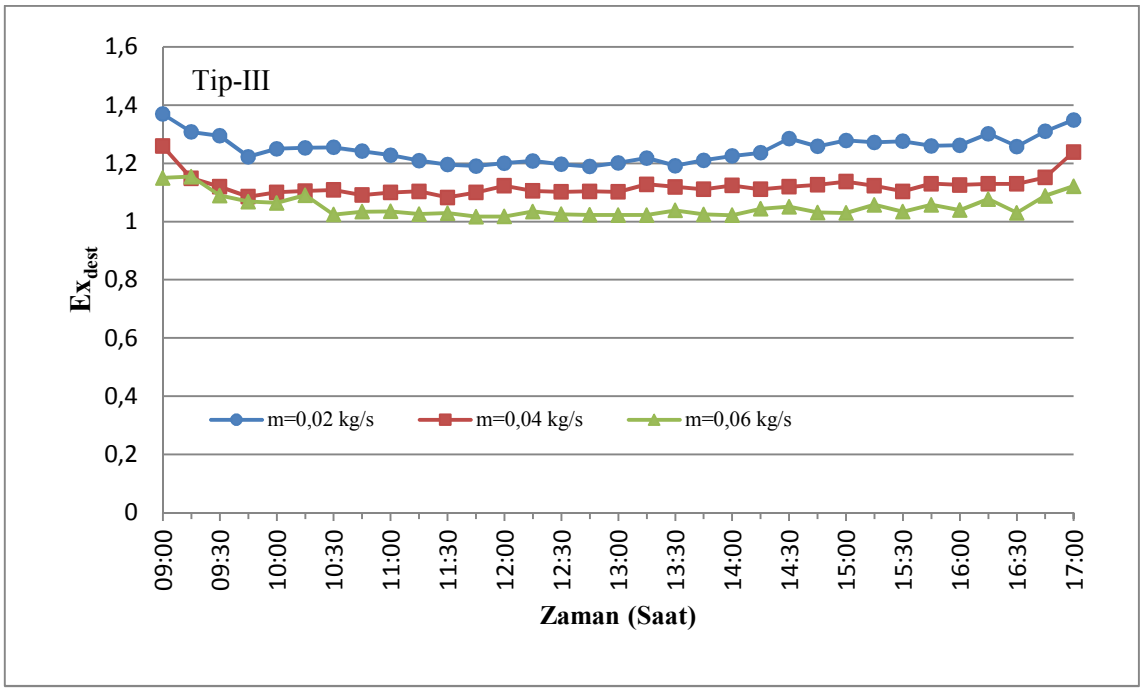
Şekil 5.22 m=0,02 kg/s için boyutsuz ekserji oranın zamanla değişimi



Şekil 5.23 m=0,04 kg/s için Boyutsuz ekserji oranın zamanla değişimi

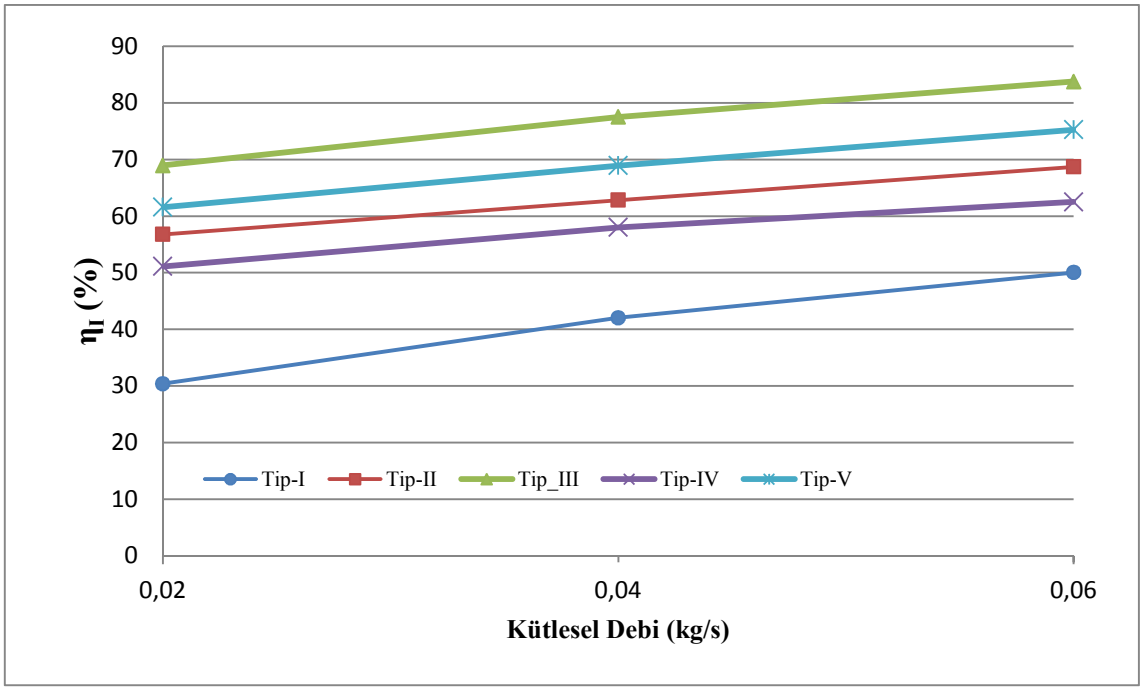


Şekil 5.24 m=0,06 kg/s için Boyutsuz ekserji oranın zamanla değişimi

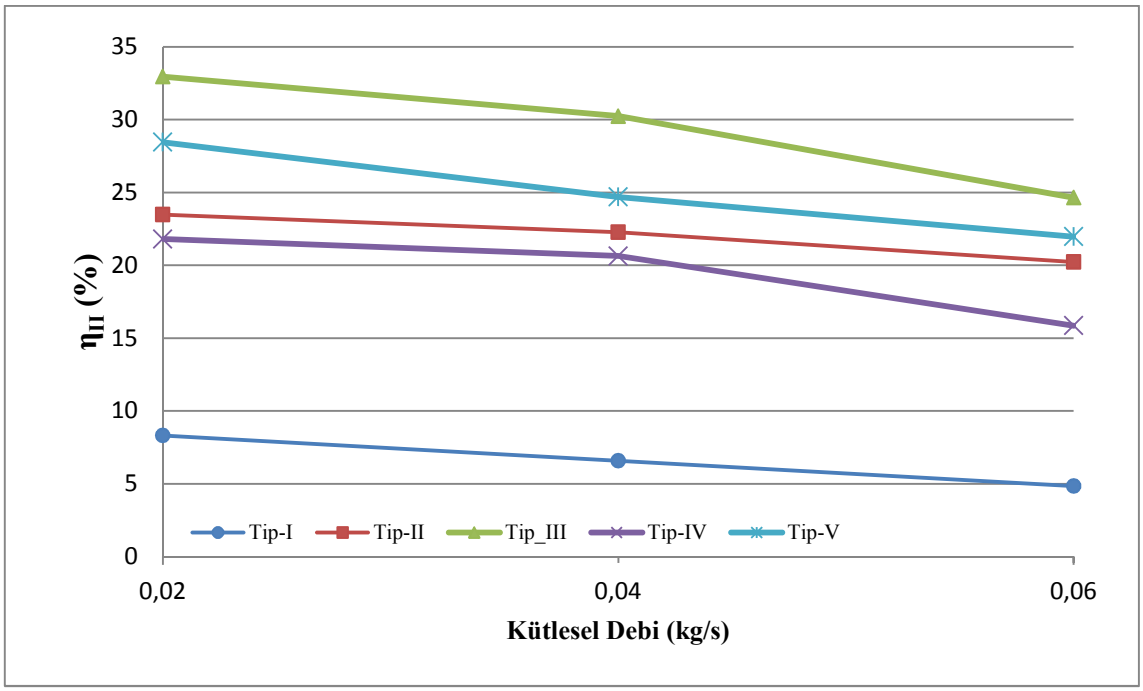


Şekil 5.25 Tip-III için Boyutsuz ekserji oranın zamanla değişimi

Şekil 5.26 'da I.Kanun veriminin debi ile değişimi gösterilmiştir. Debi arttıkça verim artmaktadır. Şekil 5.27'de ise II.Kanun veriminin debi ile değişimi verilmiştir. II.Kanun verimi ise debi ile ters orantılıdır.



Şekil 5.26 I. Kanun veriminin debi ile değişimi



Şekil 5.27 II.Kanun verimin debi ile değişimi

5.2. Kurutma İşlemi İle İlgili Deney Sonuçları

Kurutma deneyleri 2 aşamada yapılmıştır. İlk olarak güneş enerjisi ile kurutma işlemi yapılmıştır. 2 m/s, 3 m/s ve 4 m/s hava hızında deneyler yapılmıştır. Kurutma işlemleri yapılırken balıkların tuzlu ve tuzsuz olarak iki durum için incelemeleri de yapılmıştır. Ayrıca balığın boyutlarının kuruma üzerindeki etkisi de incelenmek için farklı boyutlarda kesilmiş balıklar kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlar açık ortamda yapılan kurutma işlemi ile karşılaştırılmıştır.

Deney aşamasında ürünün kütlesel değişimi ölçülmüştür. Bu kütle değişimine göre nem değişimi aşağıdaki denklem ile hesaplanmıştır.

$$N(yb) = \frac{M_s}{M_s + M_k} \tag{5.1}$$

$$N(\text{kb}) = \frac{M_s}{M_k} \tag{5.2}$$

Burada N nem içeriğini, yb yaş bazı, kb kuru bazı, M_s üründeki su kütlesini (gr), M_k üründeki kuru madde miktarını (gr) göstermektedir.

Kuruma hızı, nem içeriğinin değişiminin zamana göre türevi alınarak tespit edilir. Aşağıdaki şekilde hesaplanır.

$$\frac{dM}{dt} = \frac{M_t - M_{\Delta t}}{\Delta t} \tag{5.3}$$

Burada dM/dt kuruma hızını (gr/dk) , Δt zaman aralığını (dk), M_t t anındaki kütleyi (gr), M Δt Δt süre sonraki kütleyi (gr) göstermektedir.

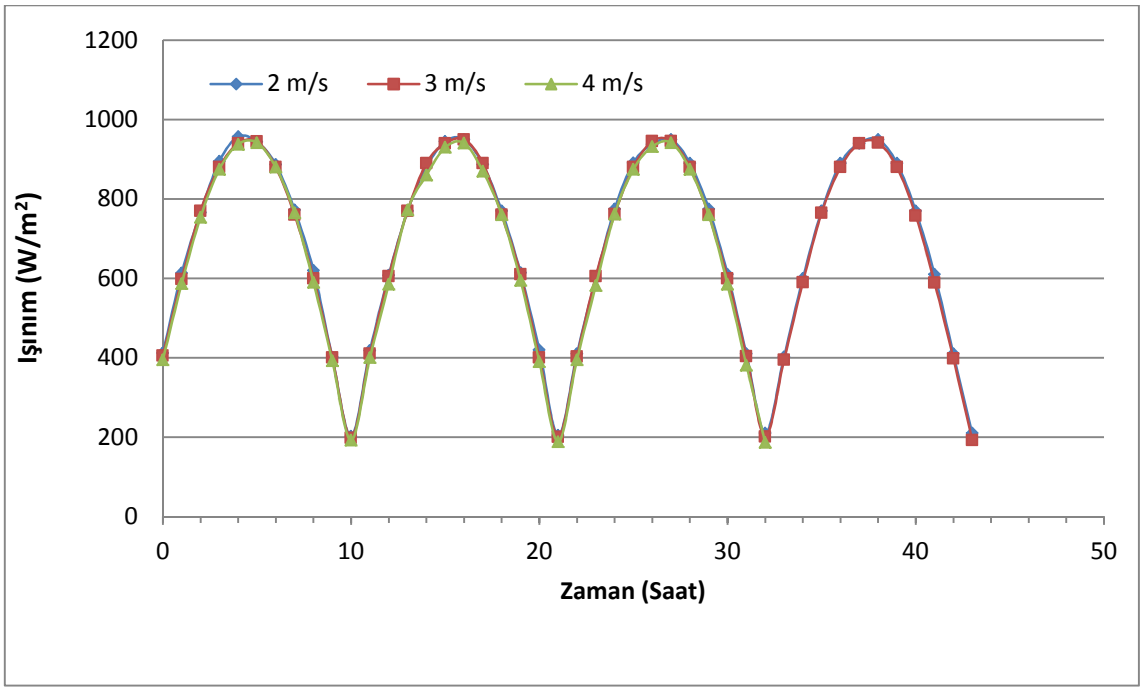
Boyutsuz nem oranı (MR) aşağıdaki şekilde hesaplanabilir.

$$MR = \frac{M_t - M_e}{M_{ilk} - M_e} \tag{5.4}$$

Burada MR boyutsuz nem oranını, M_t t anındaki kütleyi (gr), M_e kurutulmuş ürünün kütlesini (gr), M_{ilk} ürünün ilk kütlesini (gr) göstermektedir.

5.2.1. Güneş Enerjili Kurutma Deneyleri

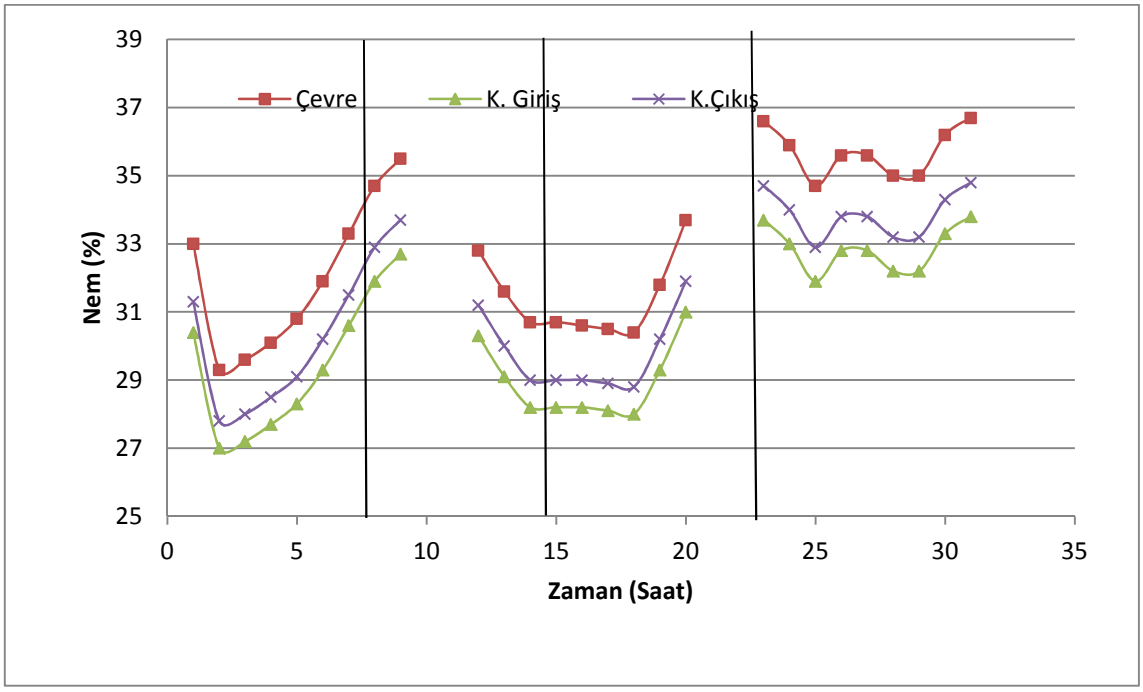
Şekil 5.29'da deneylerin yapıldığı günlere ait Güneş ışınım miktarının zamanla değişim grafiği verilmiştir. Deneyler Sabah 08:00'da başlamış akşam 18:00'da sonlandırılmıştır. Sabah 08:00 'da ışınım miktarı ortalama 390-410 W/m^2 'iken 18:00'da 187-210 W/m^2 olmuştur. Günlük maksimum ışınım miktarı ise 942 ile 950 W/m^2 arasında değişmektedir.



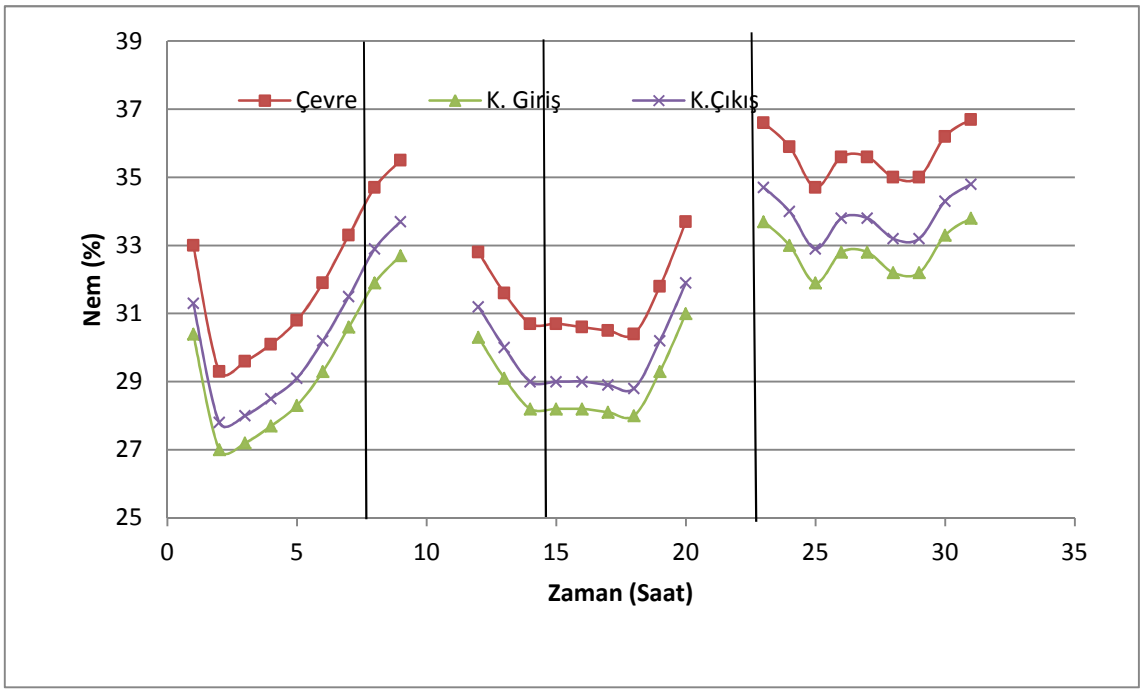
Şekil 5.29. Işınım değerlerinin zamana göre değişimi

Şekil 5.30-32'de havanın nem miktarının kurutma zamanı ile değişim grafikleri verilmiştir. Çevre nem miktarı sabah saatlerinde yüksek iken öğle saatlerine doğru düşmektedir. Akşam saatlerine doğru ise tekrardan bir artış göstermektedir. Kurutma havası kolektörden çıkar iken nem miktarı düşürmektedir. Bu düşme miktarı hız ile ters orantılıdır. Kollektör çıkışındaki nem değeri, çevre neminin 2 m/s'lik hızda ortalama %15,8 , 3 m/s'lik hızda ortalama %11,9 ve 4 m/s'lik hızda ortalama % 8,1 kadar düşmektedir. Hızın artması ile kolektör çıkış sıcaklığının düşmesi ve hava moleküllerinin kolektör yüzeyine temas miktarının azalmasına neden olduğu düşünülmektedir. Kurutucudan çıkarken ise nem miktarını artırmaktadır. Bunun nedeni hem kurutulacak materyalden uzaklaşan nemin havaya karışması hem de kurutucu akışkanın sıcaklığındaki düşmesi olduğu düşünülmektedir.

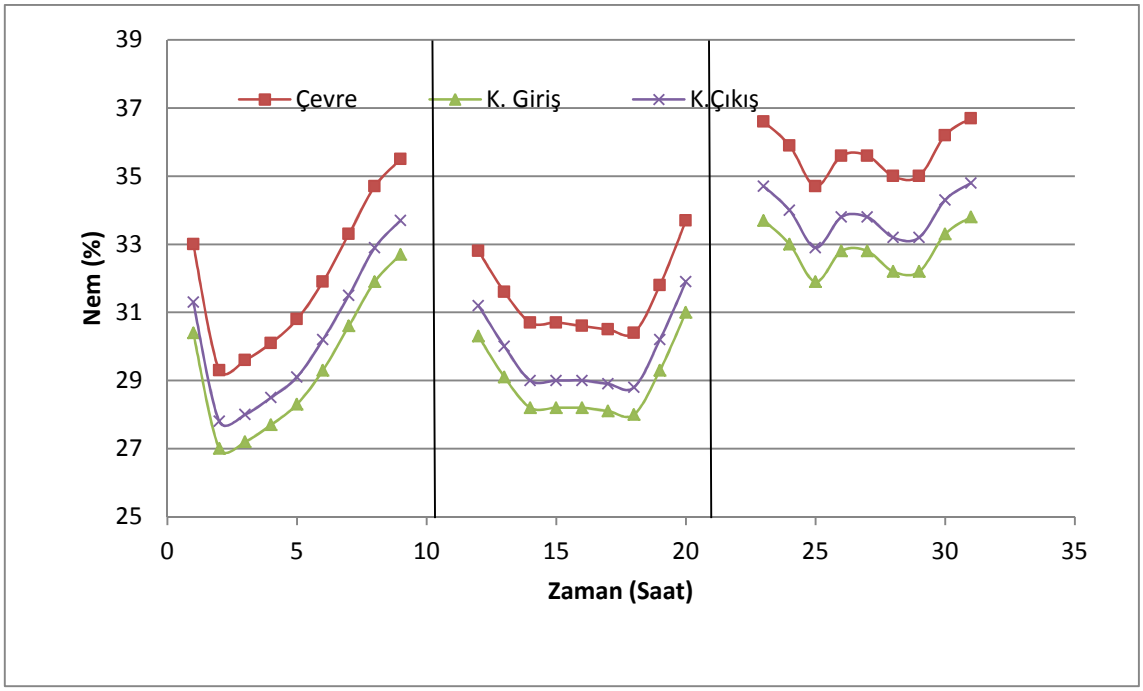
Ayrıca deneylerin yapıldığı ortamın durumu da çevre nem miktarını etkilemektedir. Ortamın ağaçlı olup olmaması, binaların konumu, bölgede açık su kaynağının bulunup bulunmamasının da nem üzerinde etkisi bulunmaktadır.



Şekil 5.30 Havanın nem miktarının zamanla değişimi (V=2 m/s)



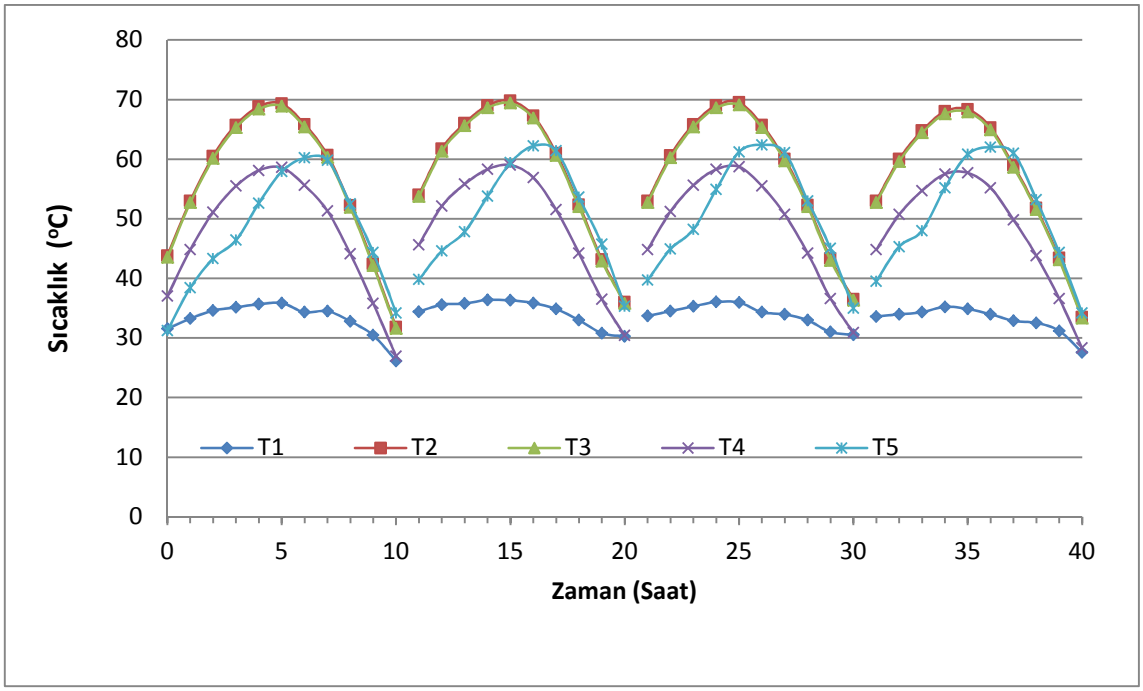
Şekil 5.31 Havanın nem miktarının zamanla değişimi (V=3 m/s)



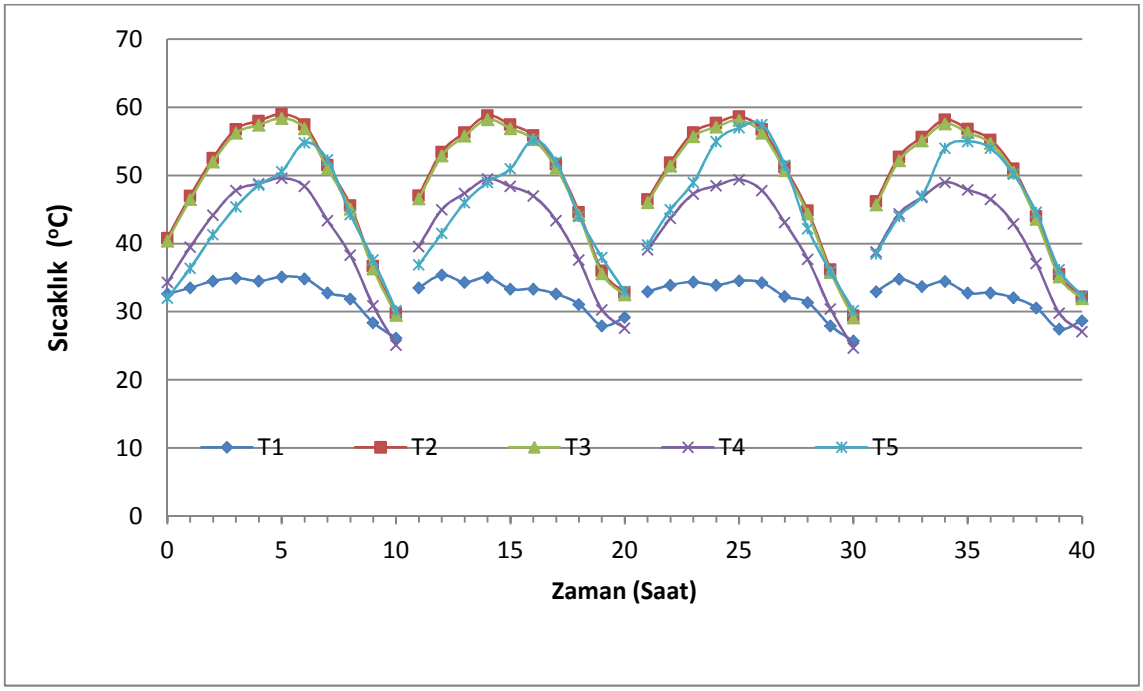
Şekil 5.32 Havanın Nem miktarının zamanla değişimi (V=4 m/s)

Şekil 5.33-35' de sıcaklıkların zamanla değişim grafikleri gösterilmiştir. T_1, T_2, T_3, T_4, T_5 sıcaklıkları sırasıyla çevre, kolektör çıkış sıcaklığı, kurutucu giriş sıcaklığı, kurutucu çıkış sıcaklığı ve balığın iç sıcaklığını göstermektedir. Kolektör çıkış sıcaklığı ve kurutucu giriş sıcaklıkları arasındaki fark çok düşüktür. Bu düşüş kurutucu ile kolektör arasındaki kanaldaki ısı kaybından kaynaklanmaktadır. Bu düşüş miktarı maksimum 0,5 ^{o}C'dir. Kurutucu çıkış sıcaklığı ile giriş sıcaklıkları arasındaki fark ise 2 m/s'lık hızda maksimum 10,8 ^{o}C, 3 m/s'lik hızda maksimum 8,8 ^{o}C ve 4 m/s'lik hızda maksimum 7,8 ^{o}C'dir.

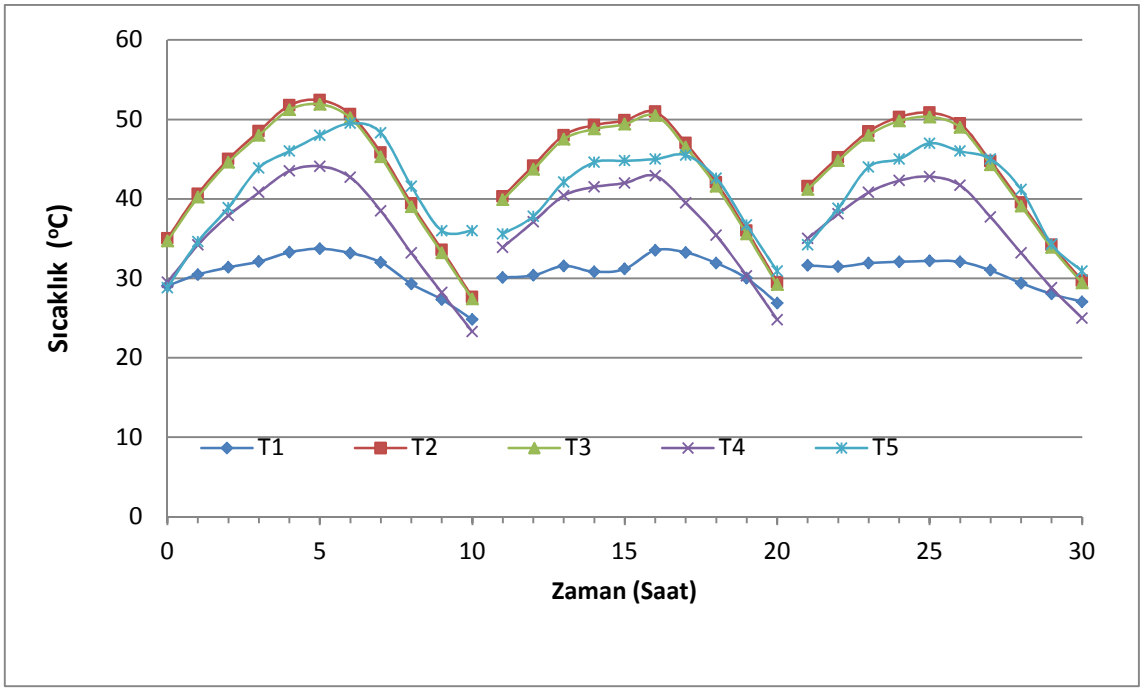
Balığın iç sıcaklık değişimi kurutma havasının sıcaklığı ile doğru orantılı artmaktadır. Kurutma havasının sıcaklığının artması ise balığın iç sıcaklığını yükseltmektedir. Bu artış miktarı kurutma havasına göre aynı orantıda olmaktadır. Ancak azalış aynı orantıda değildir. Ölçüm zamanına göre bazen balığın iç sıcaklığı kurutucu giriş sıcaklığından fazla olmaktadır. Bunun nedeni kurutma havasının sıcaklığının artışı ışınım miktar ile doğru orantılı artarken iç sıcaklık artış hızı balığın kalınlığından dolayı daha düşük bir eğimle (hızla) gerçekleşmektedir.



Şekil 5.33 Sıcaklıkların zamanla değişimi (V=2 m/s)

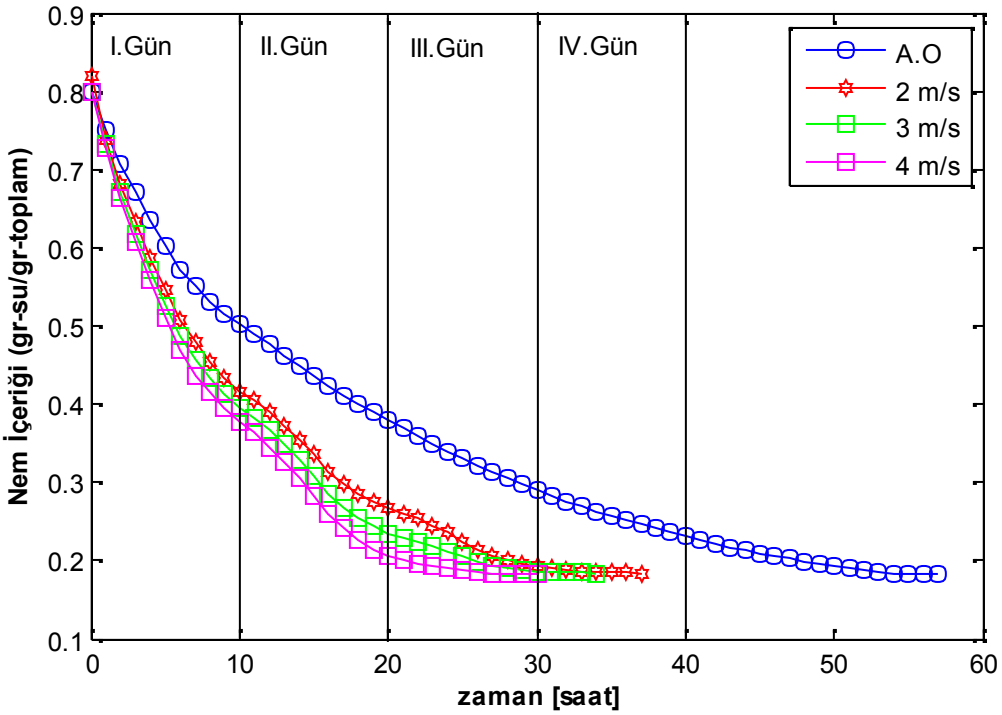


Şekil 5.34 Sıcaklıkların zamanla değişimi (V=3 m/s)



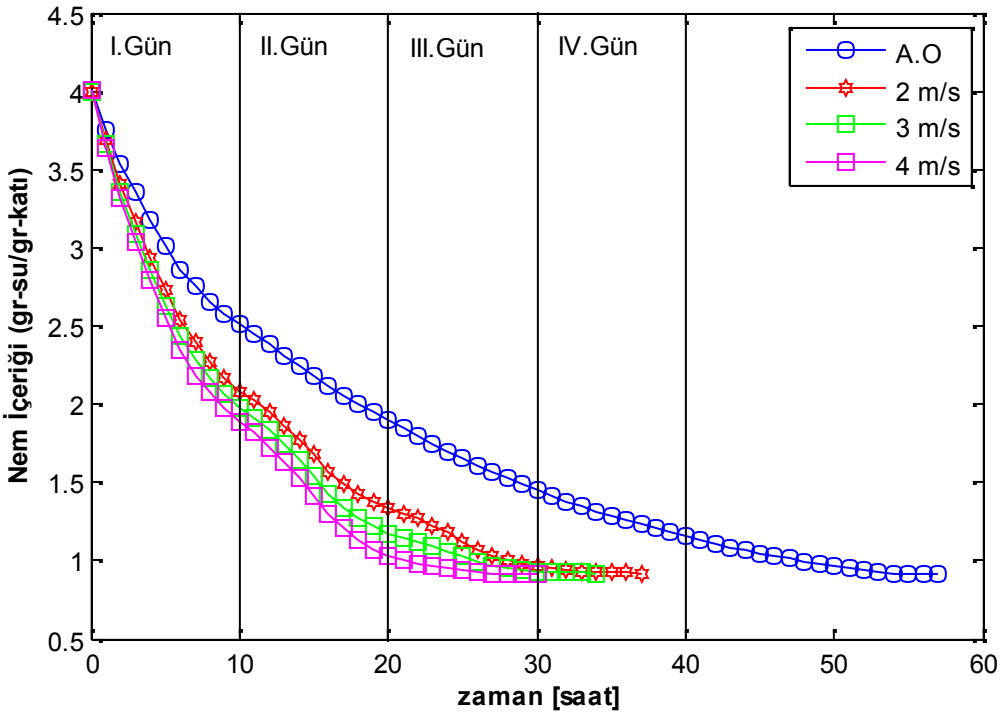
Şekil 5.35 Sıcaklıkların zamanla değişimi (V=4 m/s)

Şekil 5.36'da tuzlanmamış balığın açık ortamda ve kurutucudaki farklı hızlarda nem miktarının (y.b) zaman göre değişimi verilmiştir. Tuzlanmamış balığın yaş baza göre nem miktarı yaklaşık %80 civarındadır. Kurutma işlemi bu nem miktarından başlatılmış olup denge nem miktarı olan yaklaşık %18'e kadar düşürülmüştür. Kütle değişim miktarı 10^{-2} gram olduğunda deneyler durdurulmuştur. Bu miktar yaklaşık %18 nem miktarına denk gelmektedir. Bu değer balık için denge nem miktarı olarak kabul edilmiştir. Açık ortamda kurutma işlemi 3420 dakika sürmüştür. 2 m/s'de 2220 dk , 3 m/s'de 2040 dk ve 4 m/s'de 1800 dk 'da kurutma işlemi tamamlanmıştır. 4 m/s'lik bir hızda kurutma işleminin güneşte kurutma işlemine göre kurutma süresinde %52'lik bir azalmaya neden olduğu tespit edilmiştir. Hızın 2 m/s'den 4 m/s'ye çıkarılması ile kurutma süresinde %20'lik bir azalma olmuştur. Kurutma havasının hızı artması ile havanın sıcaklığı düşmektedir. Buna bağlı olarak da kurutma süreleri ve nem miktarındaki azalma eğrileri birbirlerine yakın olduğu gözlemlenmiştir. Bu durum kurutma havasının sıcaklığının kurutma üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğunu göstermektedir.



Şekil 5.36. Tuzsuz numune için nem miktarının (y.b) kuruma zamanına göre değişimi

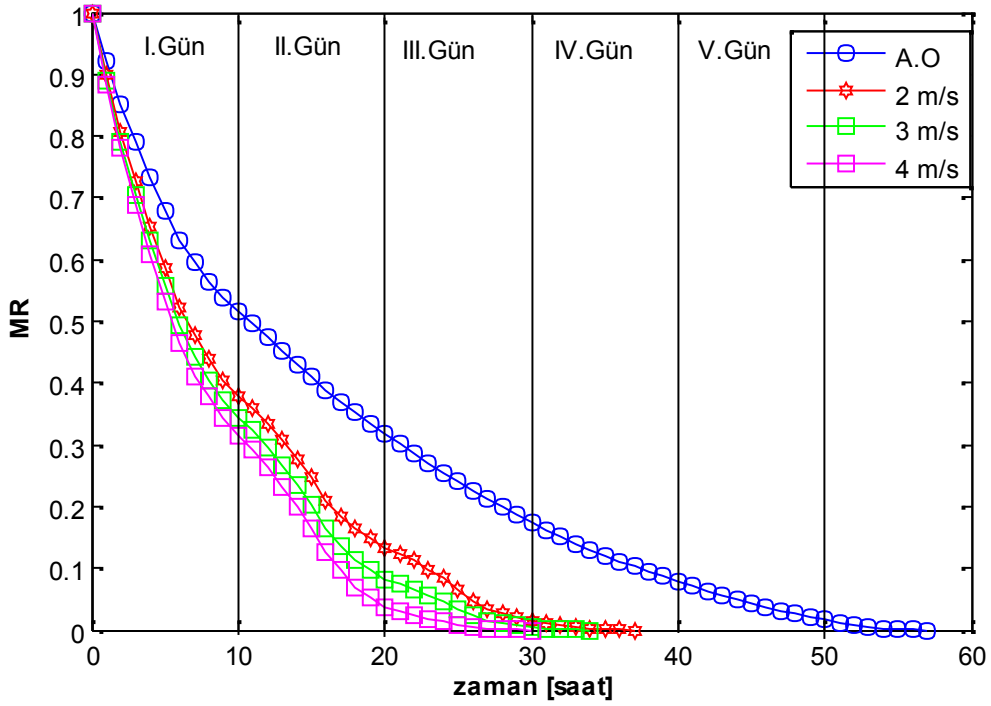
Şekil 5.37'de tuzsuz balığın nem miktarının (k.b) kuruma süresine göre değişimi gösterilmiştir. Başlangıçta nem miktarı katı maddenin 4 katı iken kurutma tamamlandığında 0,91 katına düşmüştür.



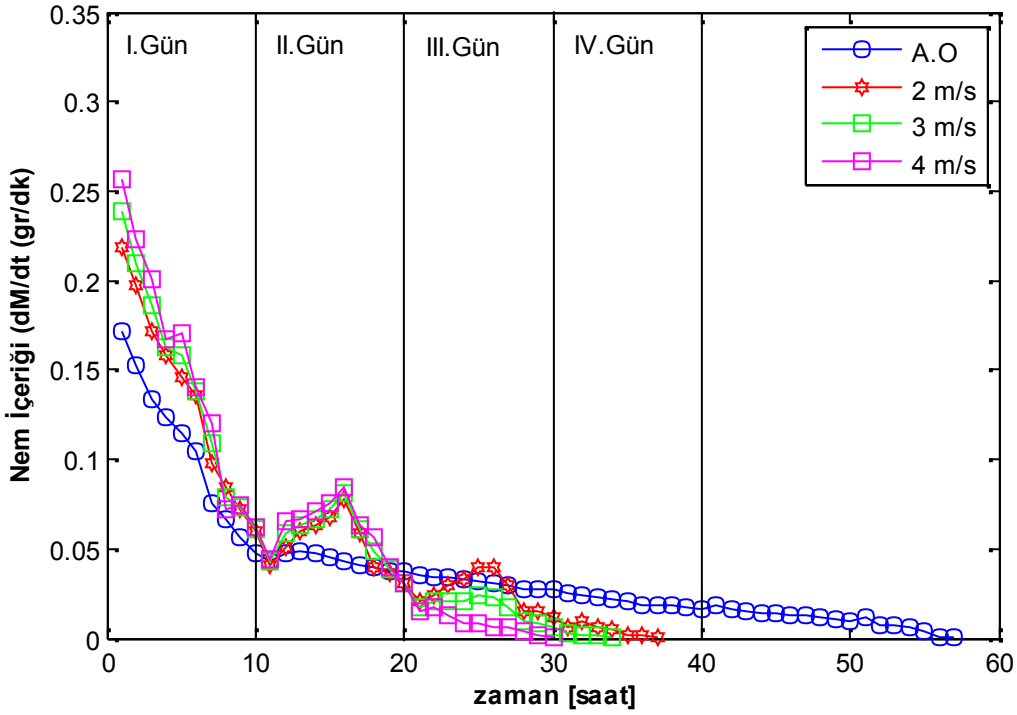
Şekil 5.37. Tuzsuz numune için nem miktarının (k.b) kuruma zamanına göre değişimi

Şekil 5.38'de tuzlanmamış balığın boyutsuz nem oranın zamana göre değişimi gösterilmektedir. Şekil 5,39'da ise kuruma hızının kuruma zamanın göre değişimi gösterilmektedir. Kuruma hızı başlangıçta açık güneşte 0,1717 gr/dk olduğu tespit edilmiştir. Kuruma havasının hızı arttıkça kuruma hızının başlangıç miktarı da artmaktadır. 2 m/s'de 0,2184 gr/dk , 3 m/s'de 0,239 gr/dk ve 4 m/s'de ise 0,2561 gr/dk olduğu tespit edilmiştir. Kuruma hızı 2. günden sonra kuruma havasının sıcaklığına bağlı olarak artmaktadır. Bu evrede saat 14:00 ölçümüne kadar artmakta daha sonra ise düşmektedir. Kurumanın son aşamalarına doğru ise bu şekilde bir artış gözlemlenmemektedir. Bu artışın nedeni gün içerisinde kurutma işlemi başlatıldığın da balığın iç sıcaklığının düşük olması ve ilerleyen zamanlarda bu sıcaklığı artırarak kararlı hal noktasına yaklaşmasıdır. Düşme nedeni ise nem miktarının azalmasına bağlı olarak kurutma hızının da düşmesi şeklinde açıklanabilir. Nem miktarının etkisi ise Şekil 5.40'da daha açık bir şekilde gösterilmiştir. Şekil 5.40'da kuruma hızının boyutsuz nem oranı ile değişimi gösterilmiştir. Nem miktarının artması ile birlikte kurutuma hızı artmaktadır. Bu artış açık ortamda kurutulan balıkta doğrusal bir eğimle artmaktadır. Ancak kurutucu da yapılan kurutma işlemi için bu artış doğrusal olmamaktadır. Burada sıcaklığın arttığı yerde kurutma hızının arttığı

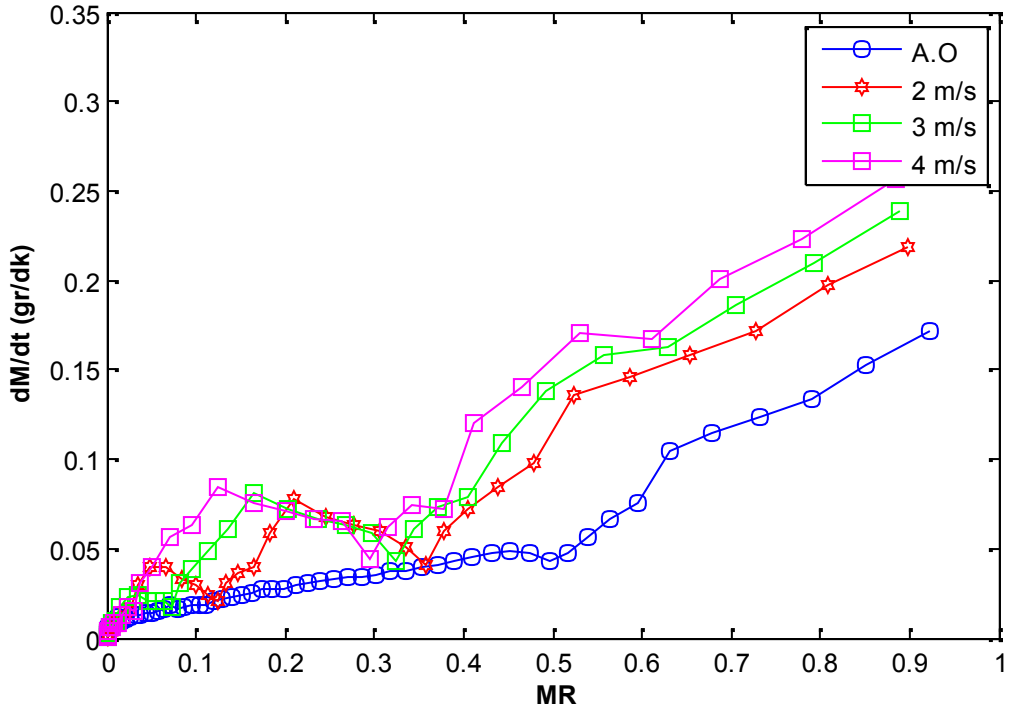
gözlemlenmektedir. Ancak sıcaklığın etkisi altında olan artış miktarı da nem miktarının artması ile artan bir eğilim göstermektedir.



Şekil 5.38 Tuzsuz numune için boyutsuz nem oranın kuruma zamanına göre değişimi



Şekil 5.39 Tuzsuz numune için kuruma zamanın kuruma hızına göre değişimi

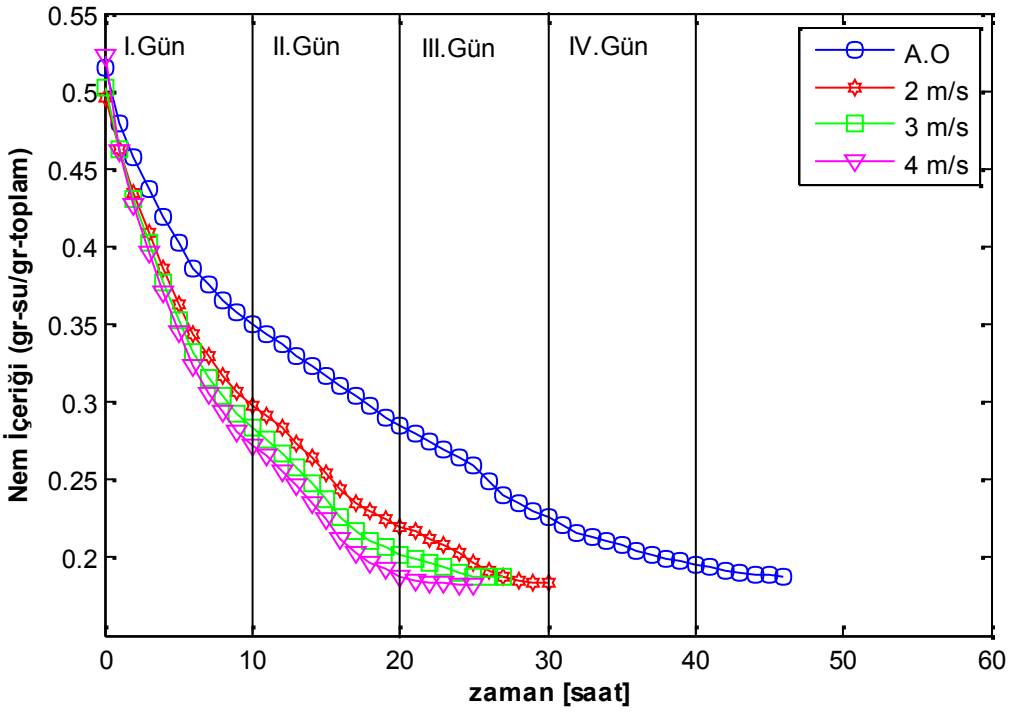


Şekil 5.40 Tuzsuz numune için kuruma hızının boyutsuz nem oranına göre değişimi

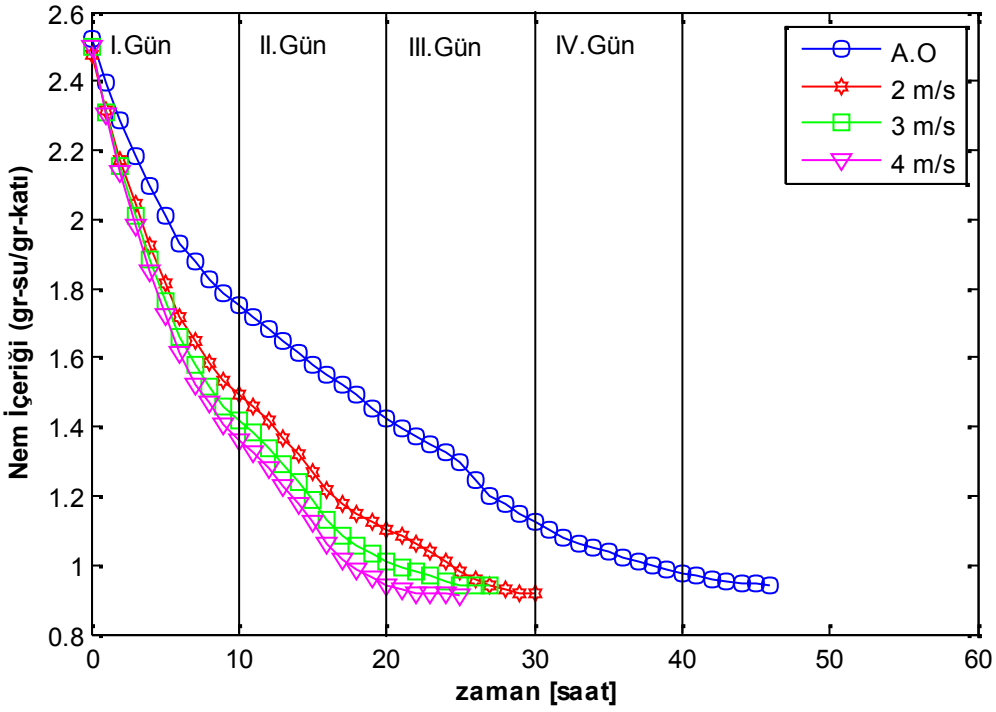
Şekil 5.41'de tuzlu balık için nem miktarının kuruma zamanına göre değişimi gösterilmiştir. Balık tuzlama işleminden sonra nem miktarı (y.b) yaklaşık % 50 olmuştur. Kurutucudaki kurutma işlemi bu nem miktarında başlatılıp %18'de durdurulmuştur. Tuzlu balığın açık güneşte kurutulması 2760 dk, 2 m/s hava hızında 1800 dk , 3 m/s hızında 1620 dk. ve 4 m/s 'lik hızda ise 1500 dk. sürmüştür. 4 m/s'lik hava hızında kuruma işlemi açık güneşe göre %46 daha erken tamamlanmıştır. Şekil 5,42'de tuzlu balığın kuru baza göre nem miktarının zamanla değişimi gösterilmiştir. Kuru baza göre nem miktarı 2,5'dir. Şekil 5,43'te ise boyutsuz nem oranının kuruma zamanına göre değişimi gösterilmiştir. Boyutsuz nem oranı da tuzlanmış balık için yaklaşık %51 civarındadır. Yani %49'luk kısmı tuzlama işlemi ile balıktan uzaklaştırılmıştır.

Şekil 5.44'de ise kuruma hızının kuruma süresi ile değişimi gösterilmektedir. Kuruma hızı açık güneşte yapılan kurutma işleminde başlangıç değeri 0,089 gr/dk'dır. 2 m/s kurutma havası hızında 0,1138 gr/dk, 3 m/s hızında 0,1316 gr/dk ve 4 m/s'lik hızda ise 0,1355 gr/sn olduğu tespit edilmiştir. Şekil 5,45'de ise kuruma hızının boyutsuz nem oranı

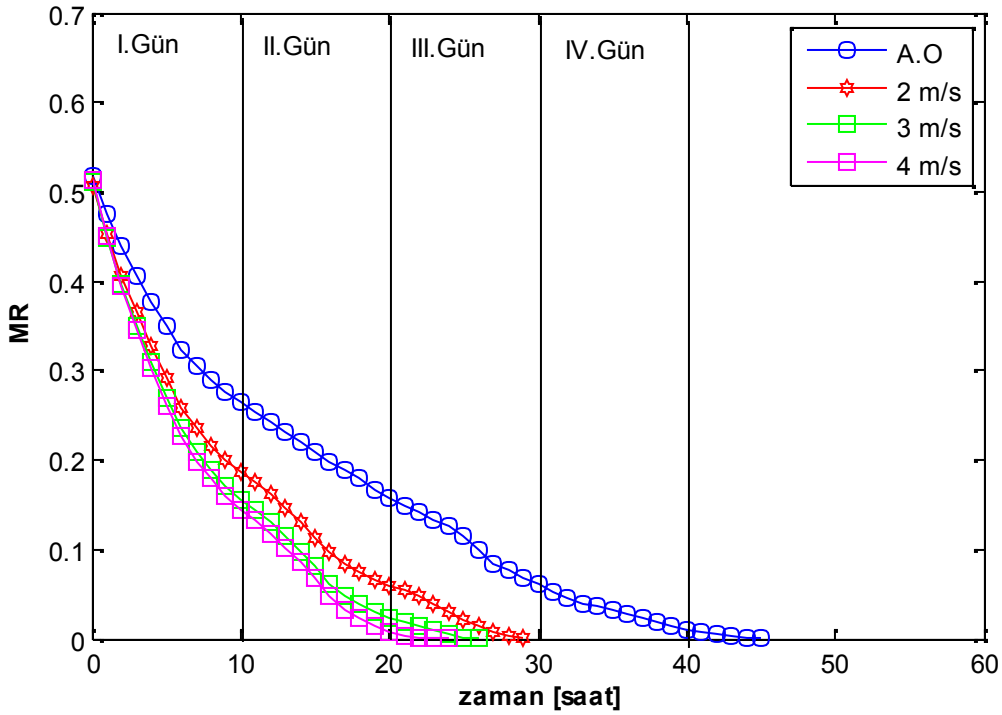
ile değişimi gösterilmektedir. Tuzlanmamış balıkta olduğu gibi nem miktarı ile kurutma hızı artmaktadır. Eğriler benzer şekilde değişim göstermektedir.



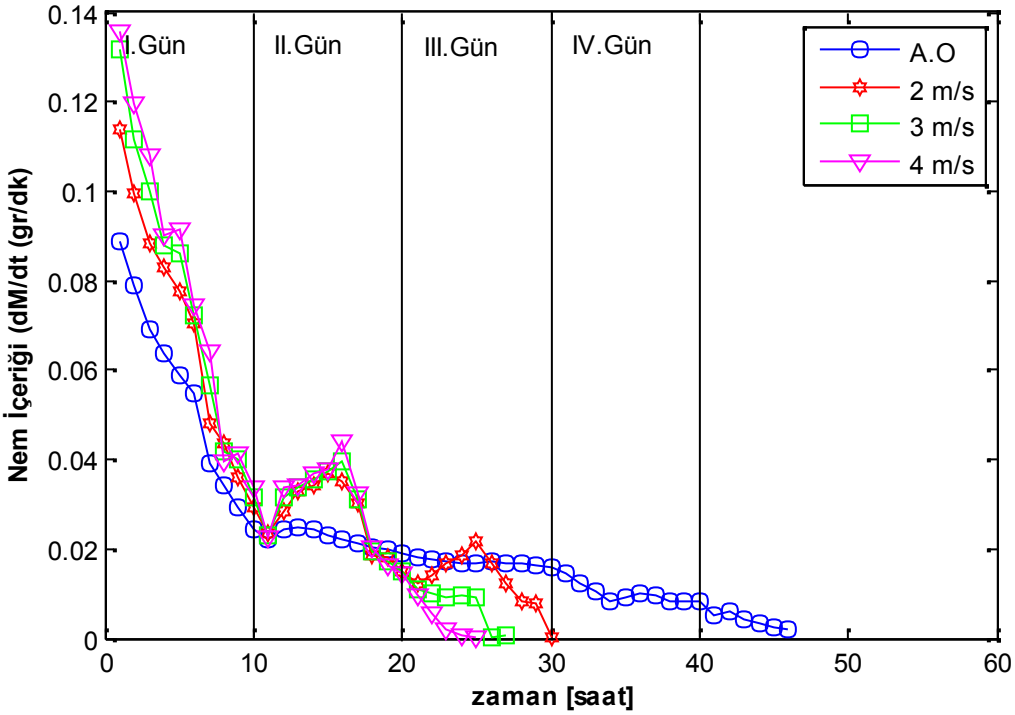
Şekil 5.41. Tuzlu numune için nem miktarının (y.b) kuruma zamanına göre değişimi



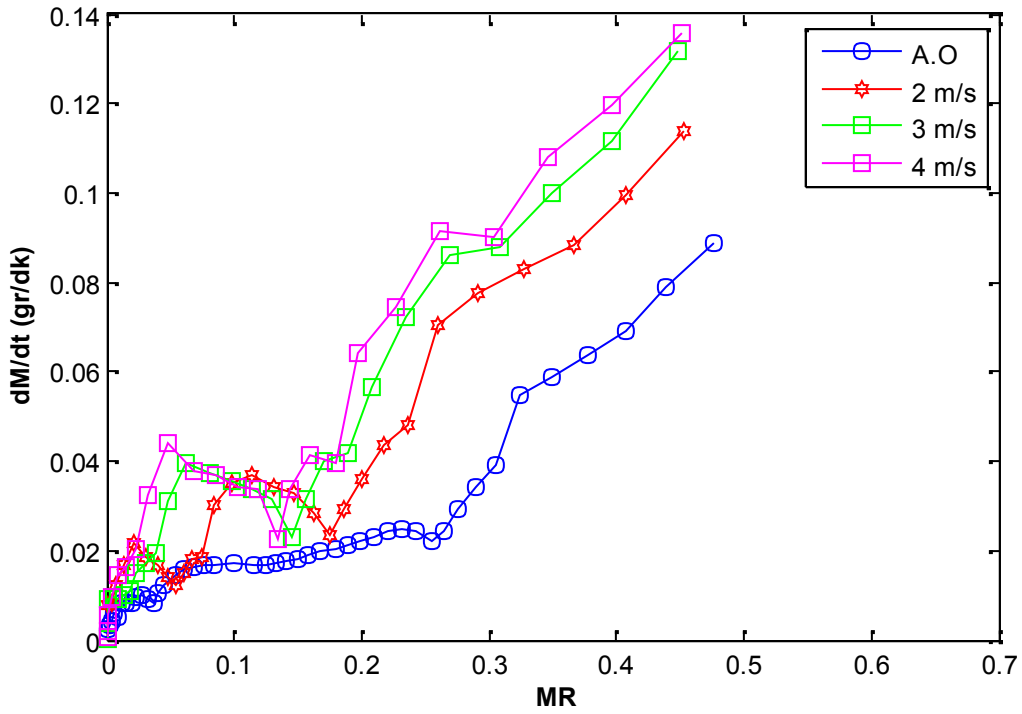
Şekil 5.42. Tuzlu numune için nem miktarının (k.b) kuruma zamanına göre değişimi



Şekil 5.43 Tuzlu numune için boyutsuz nem oranın kuruma zamanına göre değişimi



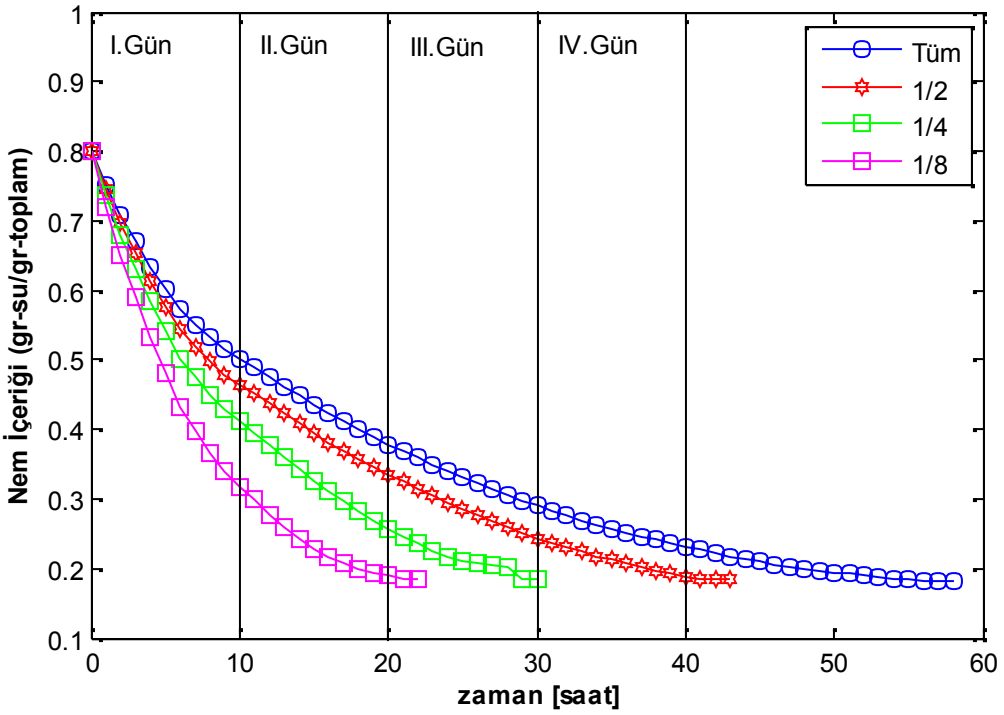
Şekil 5.44. Tuzlu numune için kuruma zamanın kuruma hızına göre değişimi



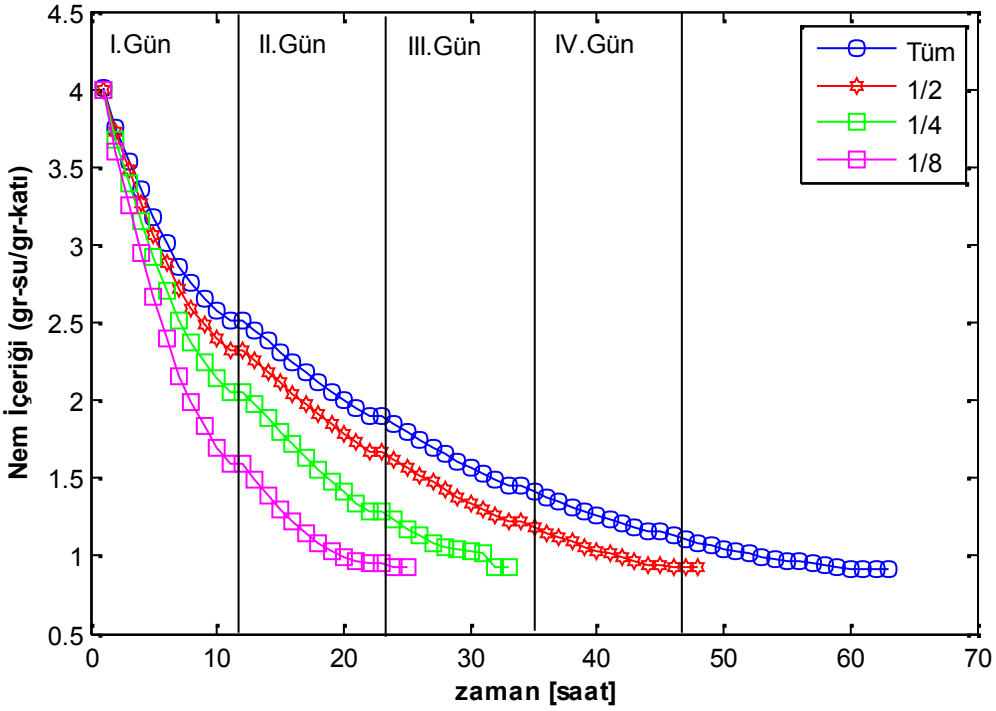
Şekil 5.45. Tuzlu numune için kuruma hızının boyutsuz nem oranına göre değişimi

5.2.1.1 Güneş Enerjili Kurutmada Balığın Boyutunun Kurutma Üzerindeki Etkisi

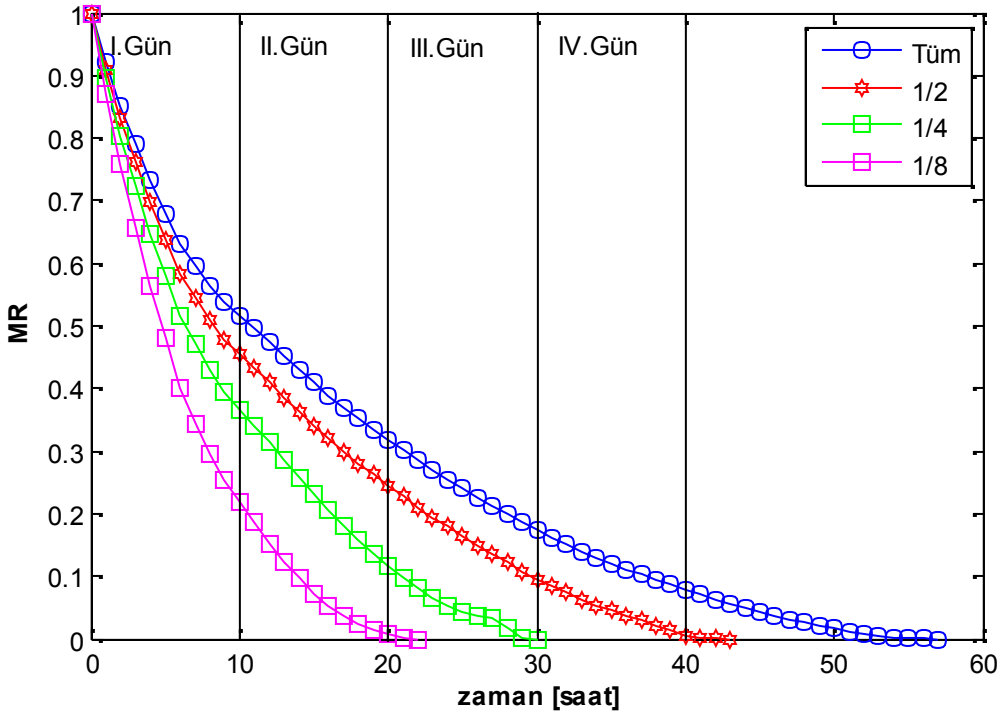
Şekil 5.46'da farklı boyutlarda kesilen tuzlanmamış balığın açık güneşte kurutma işlemi süresinde nem içeriğinin zamanla değişimi gösterilmiştir. Tüm balık 3420 dk , 1/2 balık 2580 dk, 1/4 balık 1800 dk ve 1/8 balık ise 1380 dk'da kurutulmuştur. Balığın boyutunun küçülmesi ile kuruma süresi azalmaktadır. Bunun nedeni kurutulan balığın iç kısımlarındaki nemin dış kısma daha erken ulaşması olduğu düşünülmektedir. Şekil 5.47'de ise kuru baza göre değişimi gösterilmiştir. Şekil 5.48'de boyutsuz nem oranının kuruma süresine göre değişimi gösterilmiştir. Şekil 5.49'da ise kuruma hızının değişimi gösterilmektedir. Tüm balık 0,1716 gr/dk , 1/2 balık 0,0918 gr/dk, 1/4 balık 0,05321 ve 1/8 balık ise 0,0323 gr/dk'da kurutulmuştur. Kuruma hızlarının boyut ile düşmesinin nedeni balığın kütle transferine maruz kalan yüzeyinin daha küçük olmasından kaynaklanmaktadır. Şekil 5.50'de ise açık güneşte kurutulan balığın kuruma hızının nem miktarı ile değişimi gösterilmiştir.



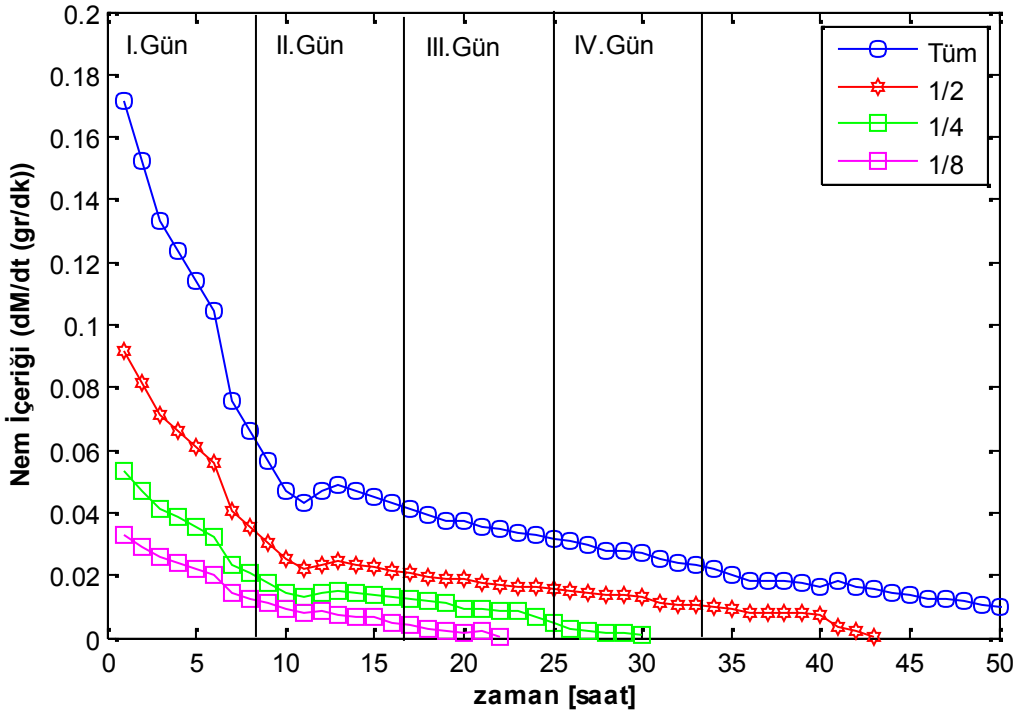
Şekil 5.46. Açık ortamda kurutulan farklı boyutlardaki tuzsuz balık için nem miktarının (y.b) kuruma zamanına göre değişimi



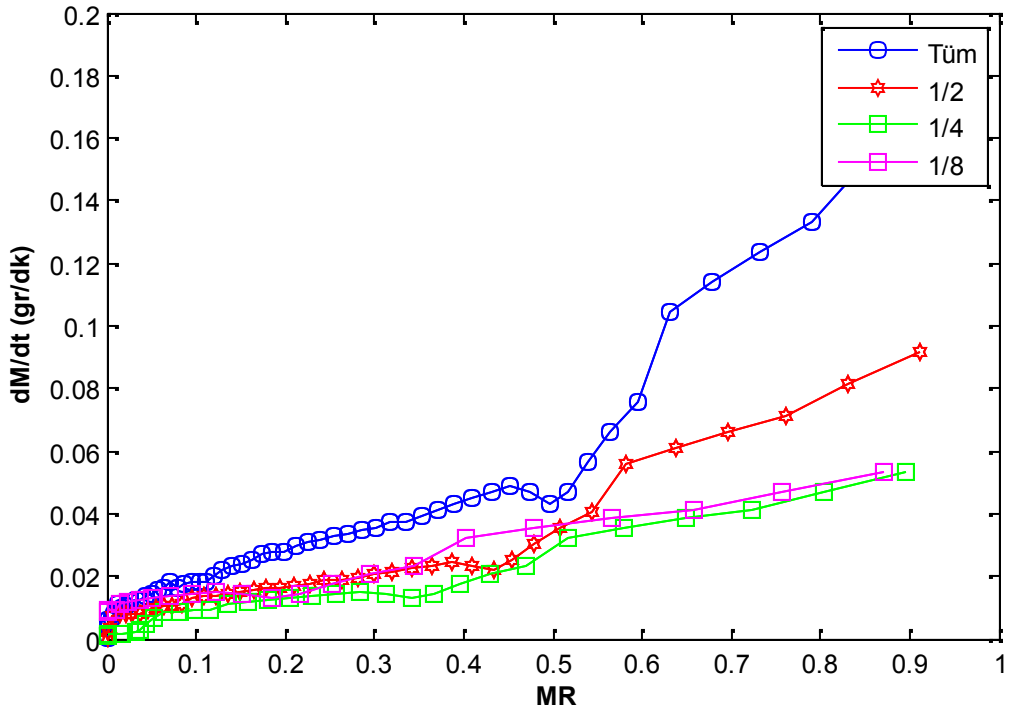
Şekil 5.47. Açık ortamda kurutulan farklı boyutlardaki tuzsuz balık için nem miktarının (k.b) kuruma zamanına göre değişimi



Şekil 5.48 Açık ortamda kurutulan farklı boyutlardaki tuzsuz balık için boyutsuz nem oranın kuruma zamanına göre değişimi

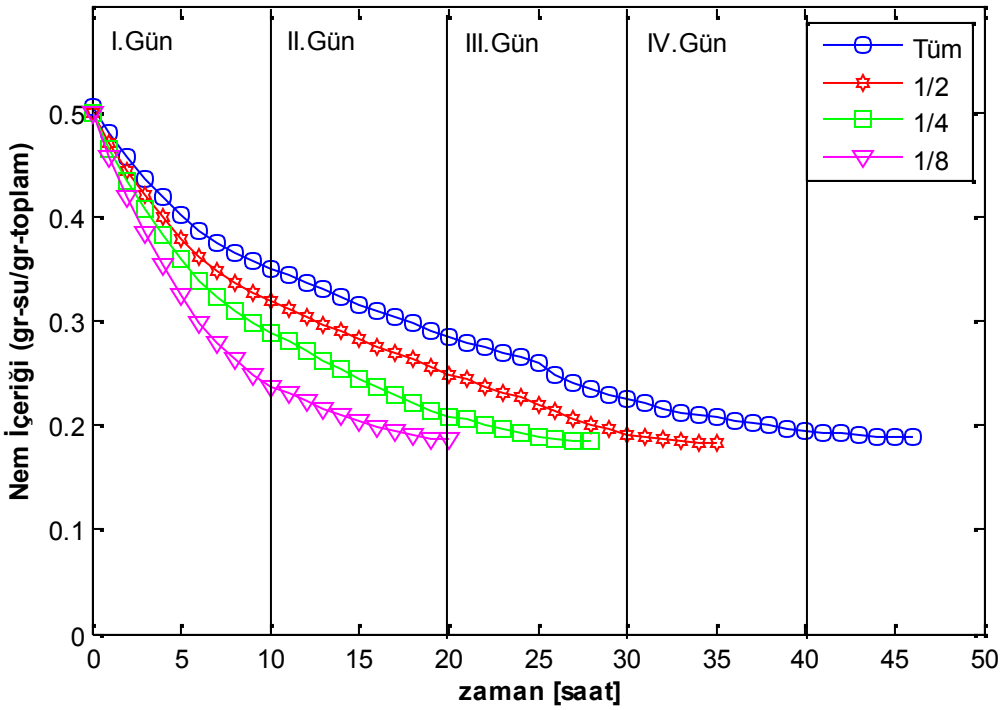


Şekil 5.49 Açık ortamda kurutulan farklı boyutlardaki tuzsuz balık için kuruma zamanın kuruma hızına göre değişimi

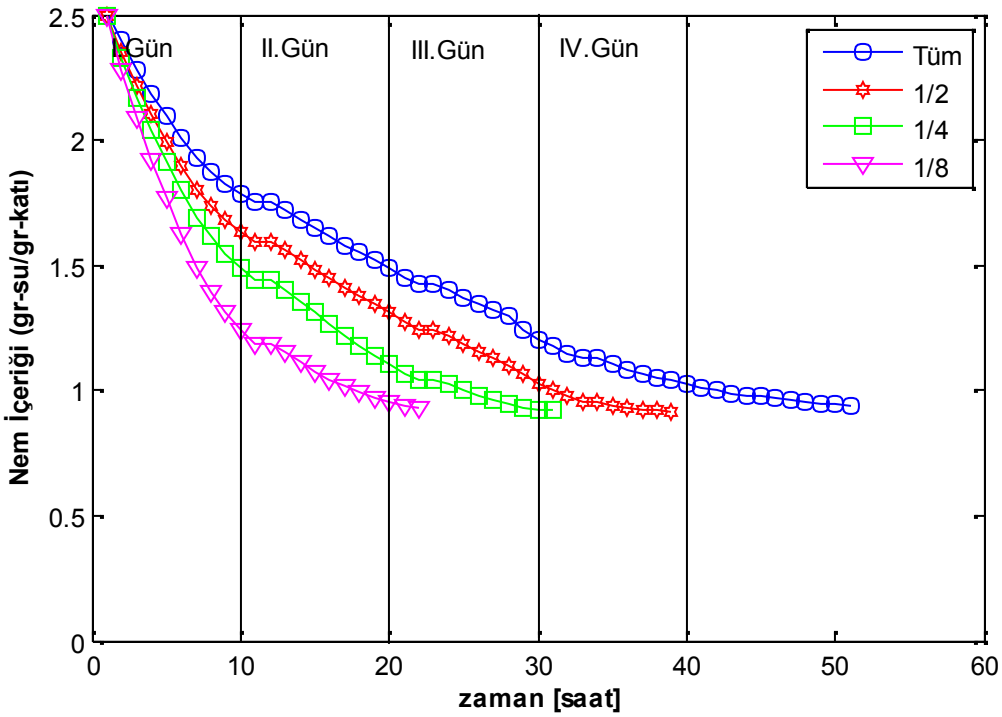


Şekil 5.50 Açık ortamda kurutulan farklı boyutlardaki tuzsuz balık için kuruma hızının boyutsuz nem oranına göre değişim grafiği

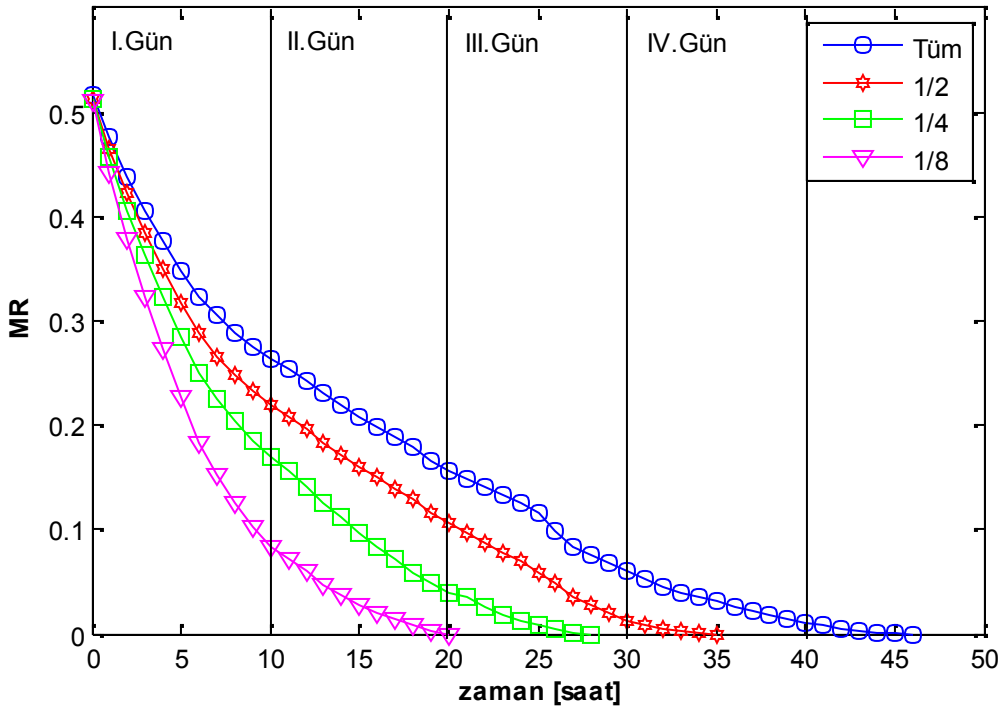
Şekil 5.51'da farklı boyutlarda kesilen tuzlanmış balığın açık güneşte kurutma işlemi süresinde nem içeriğinin zamanla değişimi gösterilmiştir. Tuzlanmış tüm balık 2760 dk , 1/2 balık 2100 dk, 1/4 balık 1680 dk ve 1/8 balık ise 1200 dk'da kurutulmuştur. Şekil 5.52'de ise kuru baza göre nem miktarının kuruma süresine göre değişimi gösterilmiştir. Şekil 5.53'de boyutsuz nem oranının kuruma süresine göre değişimi gösterilmiştir. Şekil 5.54'da ise kuruma hızının değişimi gösterilmektedir. Tüm balık 0,089 gr/dk , 1/2 balık 0,04975 gr/dk, 1/4 balık 0,02891 ve 1/8 balık ise 0,0181 gr/dk'da kurutulmuştur. Şekil 5.55'de ise açık güneşte kurutulan balığın kuruma hızının nem miktarı ile değişimi gösterilmiştir.



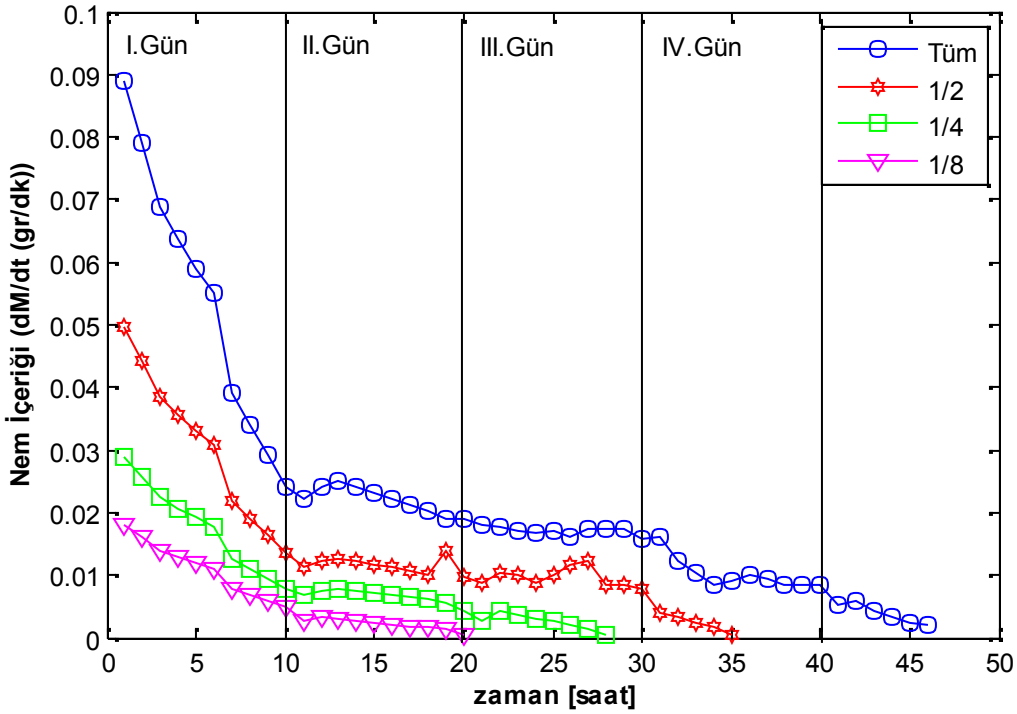
Şekil 5.51. Açık ortamda kurutulan farklı boyutlardaki tuzlu balık için nem miktarının (y.b) kuruma zamanına göre değişim grafiği



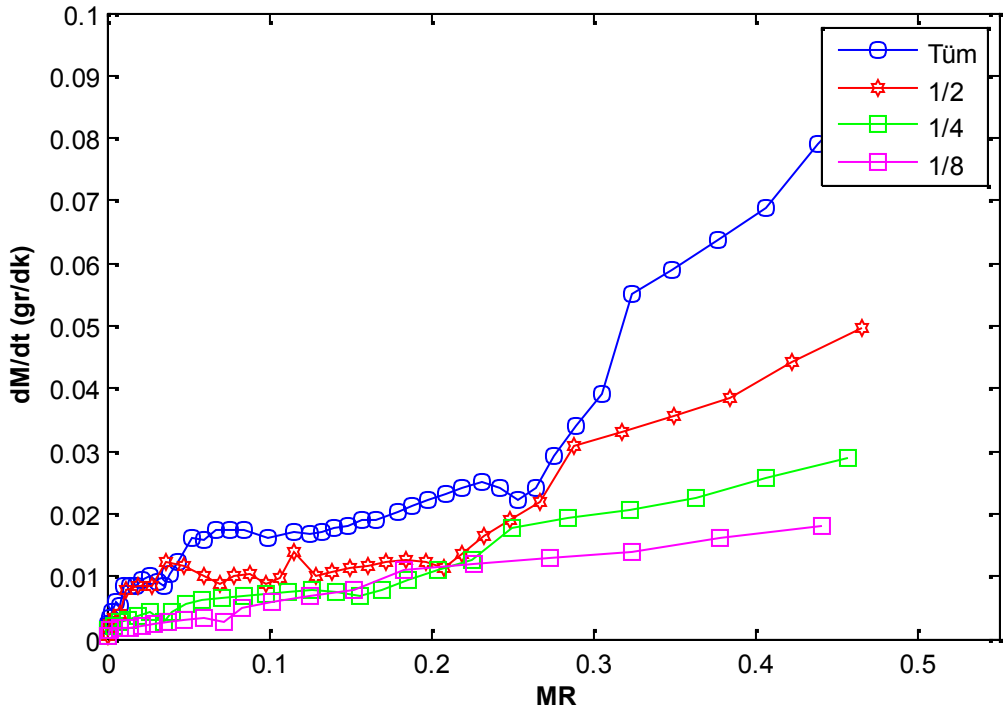
Şekil 5.52 Açık ortamda kurutulan farklı boyutlardaki tuzlu balık için nem miktarının (k.b) kuruma zamanına göre değişim grafiği



Şekil 5.53 Açık ortamda kurutulan farklı boyutlardaki tuzlu balık için boyutsuz nem oranın kuruma zamanına göre değişimi

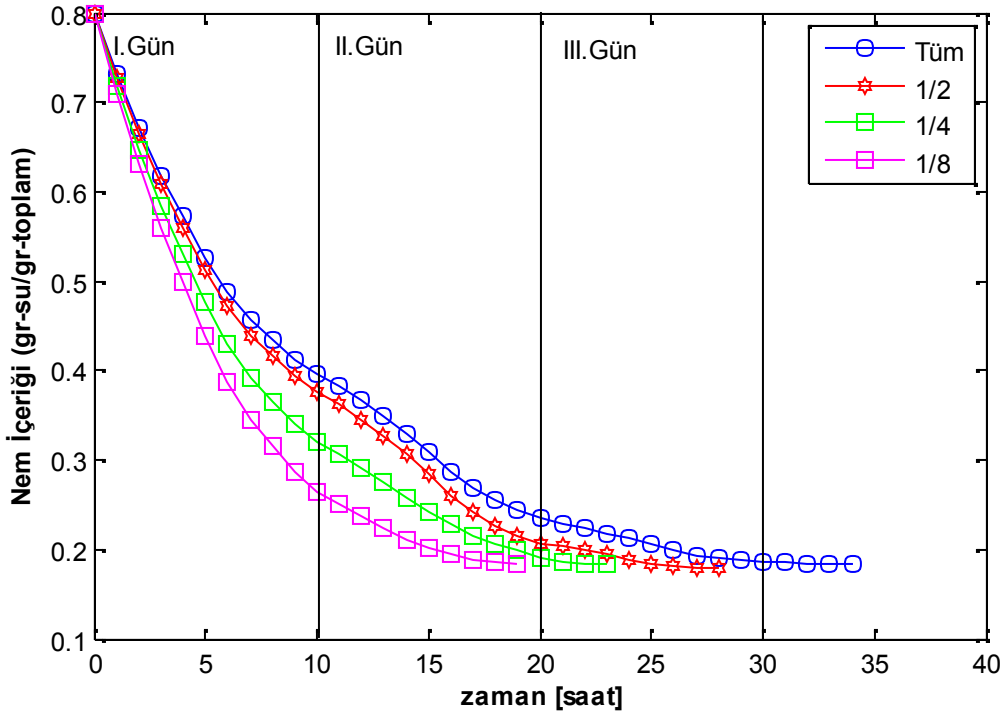


Şekil 5.54 Açık ortamda kurutulan farklı boyutlardaki tuzlu balık için kuruma zamanın kuruma hızına göre değişimi

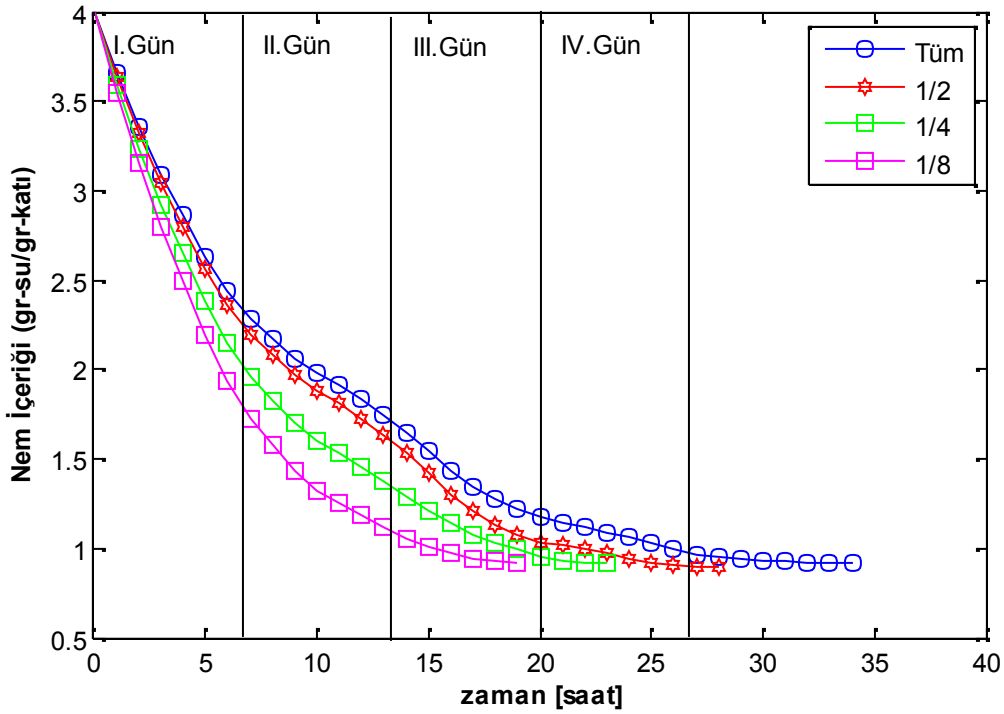


Şekil 5.55 Açık ortamda kurutulan farklı boyutlardaki tuzlu balık için kuruma hızının boyutsuz nem oranına göre değişim grafiği

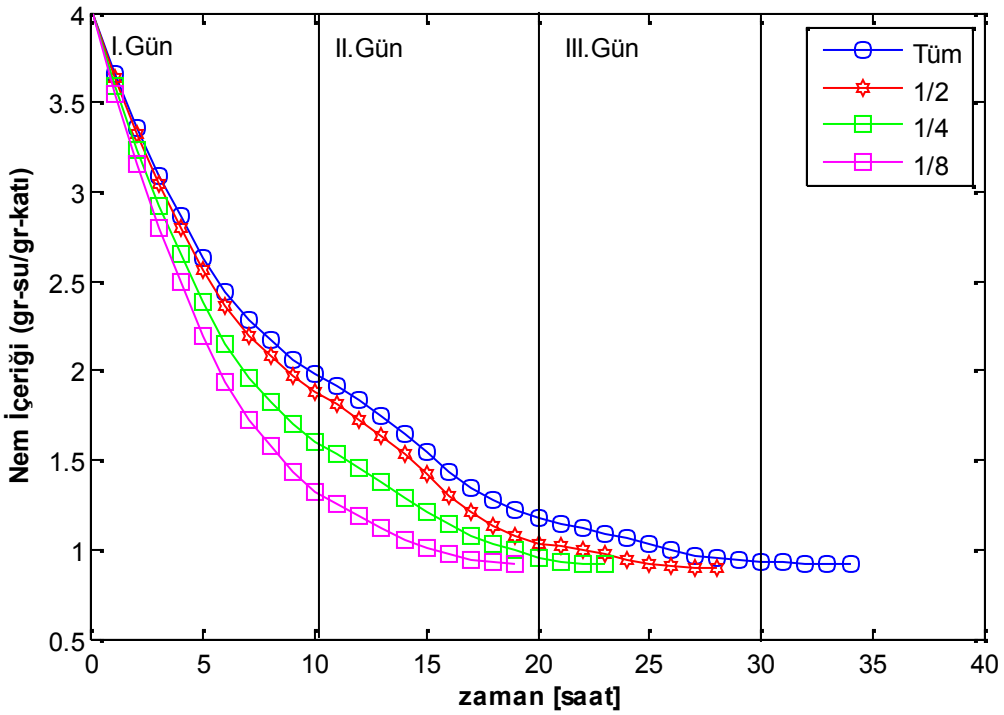
Şekil 5.56'da farklı boyutlarda kesilen tuzlanmamış balığın kurutucuda kurutma işlemi süresinde nem içeriğinin zamanla değişimi gösterilmiştir. Kurutma havası hızı 3 m/s'dir. Tüm balık 2040 dk , 1/2 balık 1680 dk, 1/4 balık 1380 dk ve 1/8 balık ise 1140 dk'da kurutulmuştur. Şekil 5.57'de ise kuru baza göre değişimi gösterilmiştir. Şekil 5.58'de boyutsuz nem oranının kuruma süresine göre değişimi gösterilmiştir. Şekil 5.59'da ise kuruma hızının değişimi gösterilmektedir. Tüm balık 0,2389 gr/dk , 1/2 balık 0,1194 gr/dk, 1/4 balık 0,0613 ve 1/8 balık ise 0,0374 gr/dk'da kurutulmuştur. Şekil 5.60'de ise kurutucuda kurutulan balığın kuruma hızının nem miktarı ile değişimi gösterilmiştir.



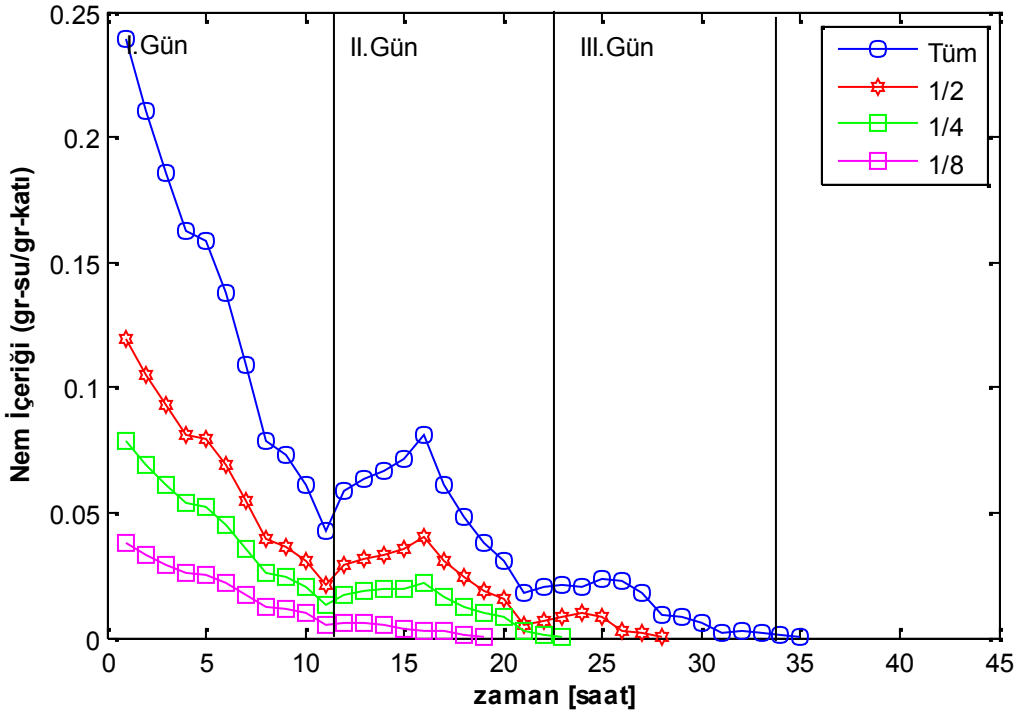
Şekil 5.56. Kurutucuda kurutulan farklı boyutlardaki tuzsuz balık için nem miktarının (y.b) kuruma zamanına göre değişim grafiği (V=3 m/s)



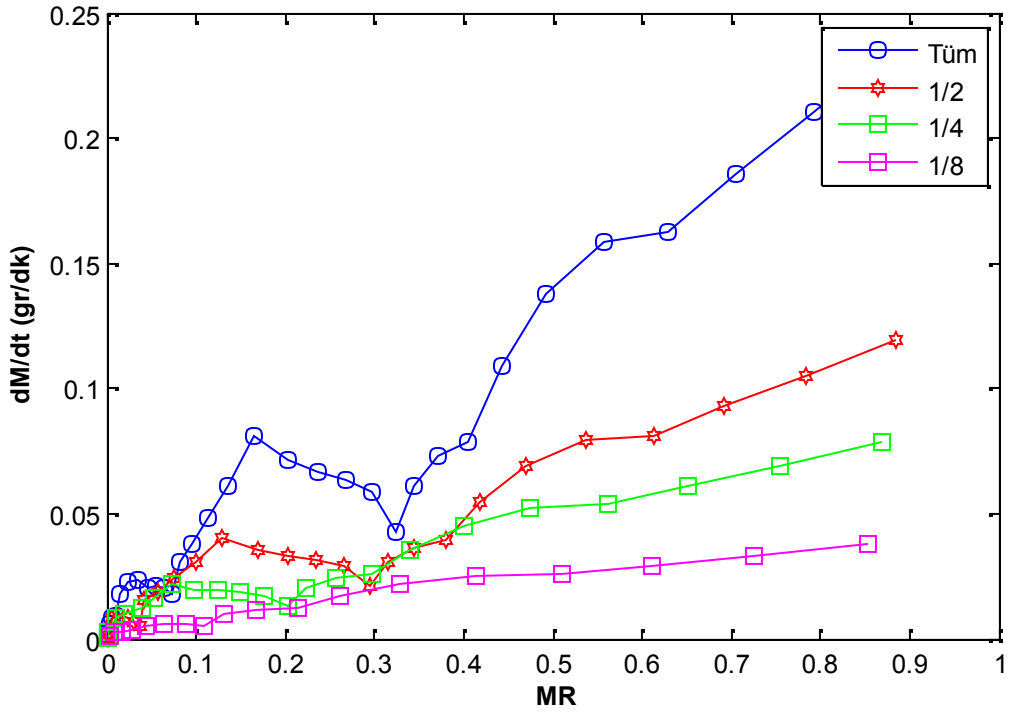
Şekil 5.57. Kurutucuda kurutulan farklı boyutlardaki tuzsuz balık için nem miktarının (k.b) kuruma zamanına göre değişim grafiği (V=3 m/s)



Şekil 5.58 Kurutucuda kurutulan farklı boyutlardaki tuzsuz balık için boyutsuz nem oranın kuruma zamanına göre değişimi (V=3 m/s)

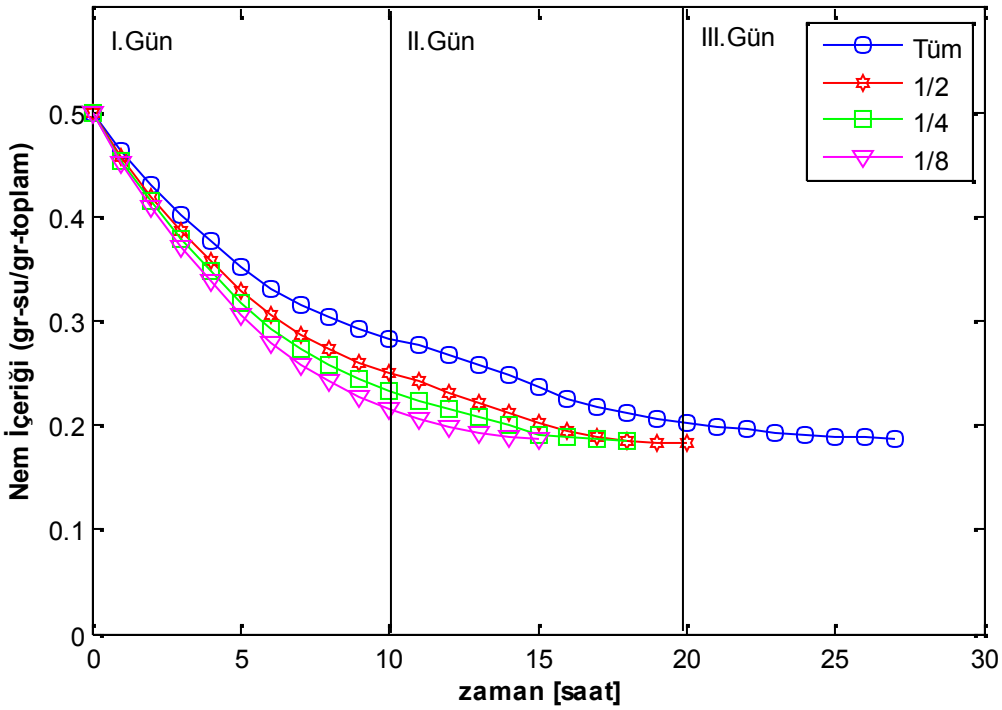


Şekil 5.59 Kurutucuda kurutulan farklı boyutlardaki tuzsuz balık için kuruma zamanın kuruma hızına göre değişimi (V=3 m/s)

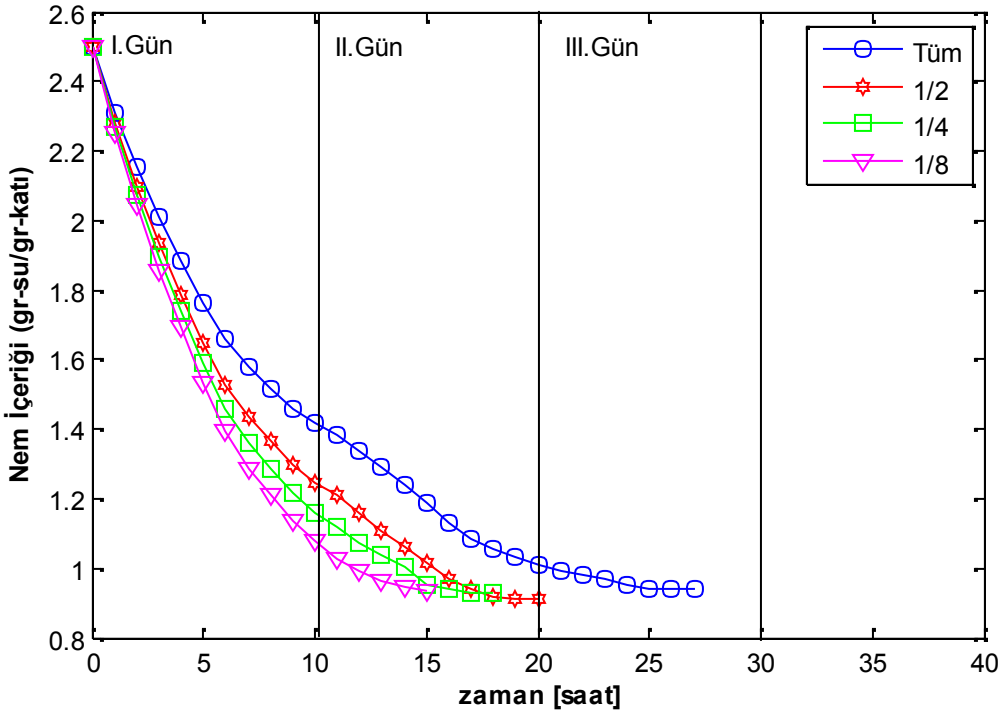


Şekil 5.60 Kurutucuda kurutulan farklı boyutlardaki tuzsuz balık için kuruma hızının boyutsuz nem oranına göre değişim grafiği (V=3 m/s)

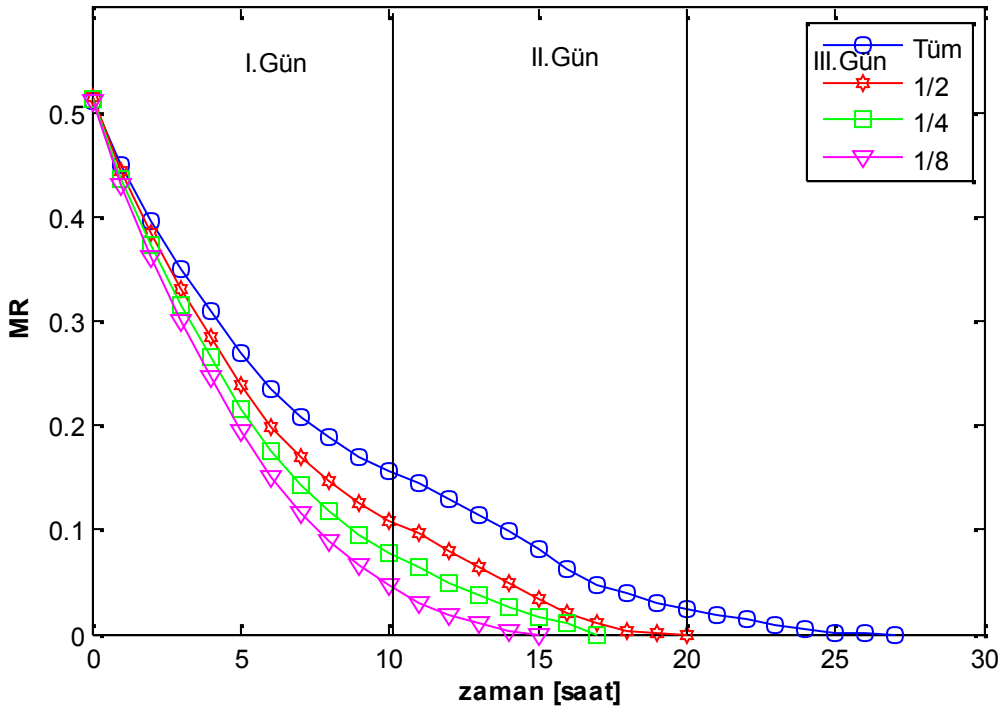
Şekil 5.61'da farklı boyutlarda kesilen tuzlanmış balığın kurutucuda kurutma işlemi süresinde nem içeriğinin zamanla değişimi gösterilmiştir. Kurutma havası hızı 3 m/s'dir. Tüm balık 1620 dk , 1/2 balık 1200 dk, 1/4 balık 1080 dk ve 1/8 balık ise 960 dk'da kurutulmuştur. Şekil 5.5762'de ise kuru baza göre değişimi gösterilmiştir. Şekil 5.63'de boyutsuz nem oranının kuruma süresine göre değişimi gösterilmiştir. Şekil 5.64'da ise kuruma hızının değişimi gösterilmektedir. Tüm balık 0,1316 gr/dk , 1/2 balık 0,0723 gr/dk, 1/4 balık 0,041 ve 1/8 balık ise 0,020 gr/dk'da kurutulmuştur. Şekil 5.65'de ise kurutucuda kurutulan balığın kuruma hızının nem miktarı ile değişimi gösterilmiştir.



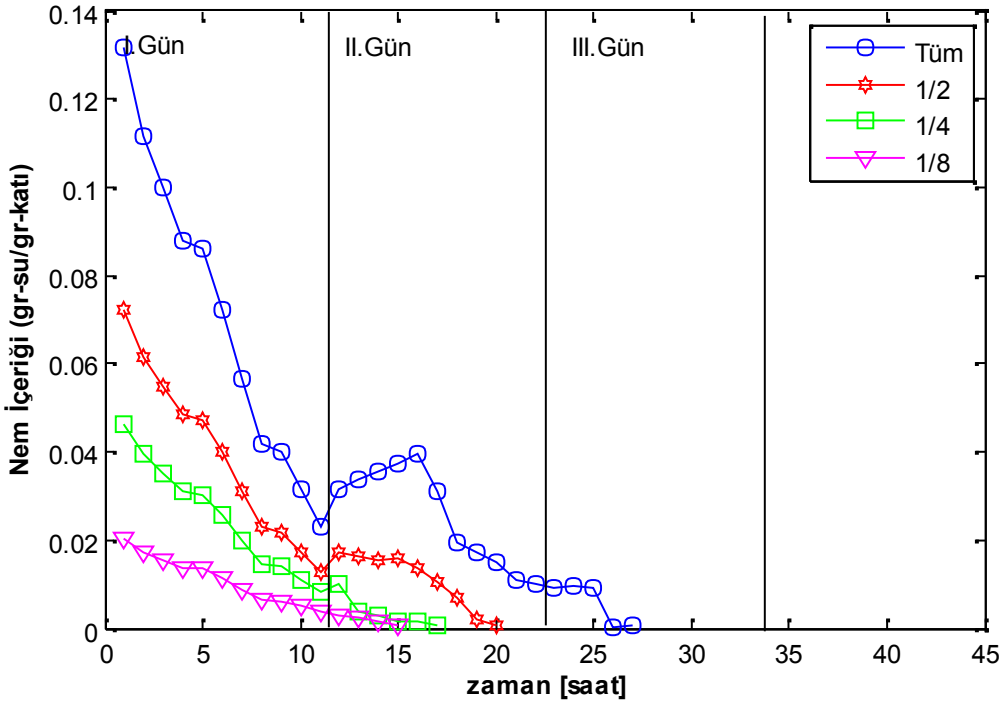
Şekil 5.61. Kurutucuda kurutulan farklı boyutlardaki tuzlu balık için nem miktarının (y.b) kuruma zamanına göre değişimi (V=3 m/s)



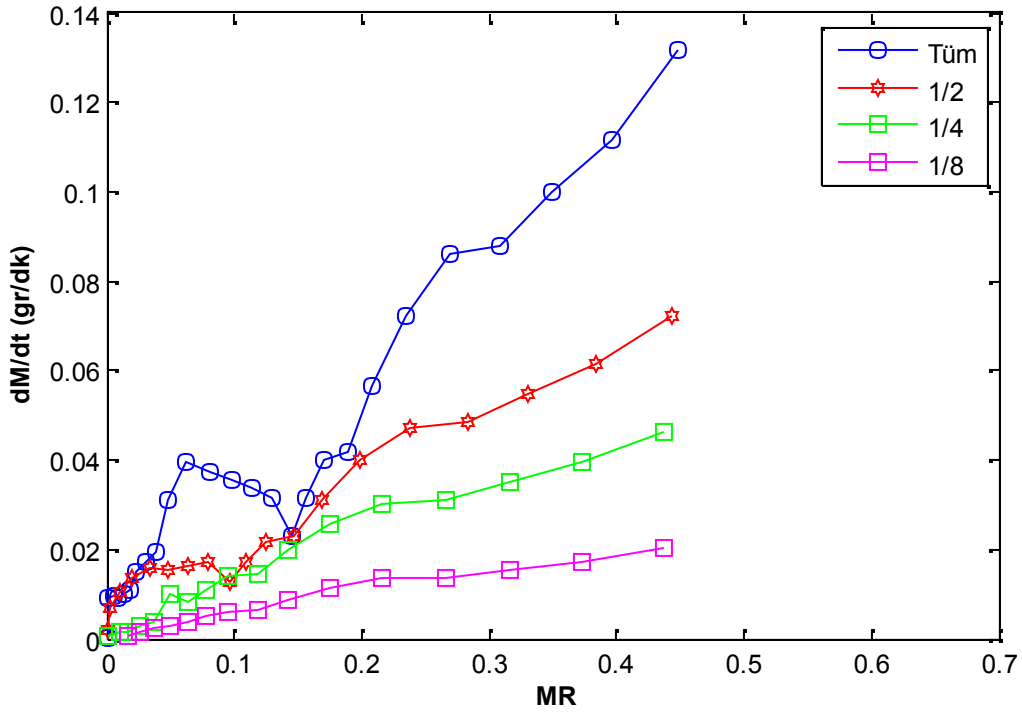
Şekil 5.62. Kurutucuda kurutulan farklı boyutlardaki tuzlu balık için nem miktarının (k.b) kuruma zamanına göre değişimi (V=3 m/s)



Şekil 5.63 Kurutucuda kurutulan farklı boyutlardaki tuzlu balık için boyutsuz nem oranın kuruma zamanına göre değişimi (V=3 m/s)



Şekil 5.64 Kurutucuda kurutulan farklı boyutlardaki tuzlu balık için kuruma zamanın kuruma hızına göre değişimi (V=3 m/s)



Şekil 5.65 Kurutucuda kurutulan farklı boyutlardaki tuzlu balık için kuruma hızının boyutsuz nem oranına göre değişimi (V=3 m/s)

Güneş enerjili kurutma işleminin sonucunda kurutma işleminin hız arttıkça kuruma süresinin azaldığı gözlemlenmiştir. Ancak bu azalma miktarı çok büyük miktarlarda olduğu tespit edilmiştir. Deneyler sonucunda tuzsuz balığın görüntüsünün ve kokusunun tuzlanmış balığa göre daha kötü olduğu gözlemlenmiştir. Balığın boyutlarının küçültülmesi ile birlikte kuruma süresinin azaldığı tespit edilmiştir. Balığın kurutucuda kurutulma işlemleri sonucunda kuruma süreleri aşağıdaki tabloda gösterilmiştir.

Tablo 5.1 Kuruma süreleri

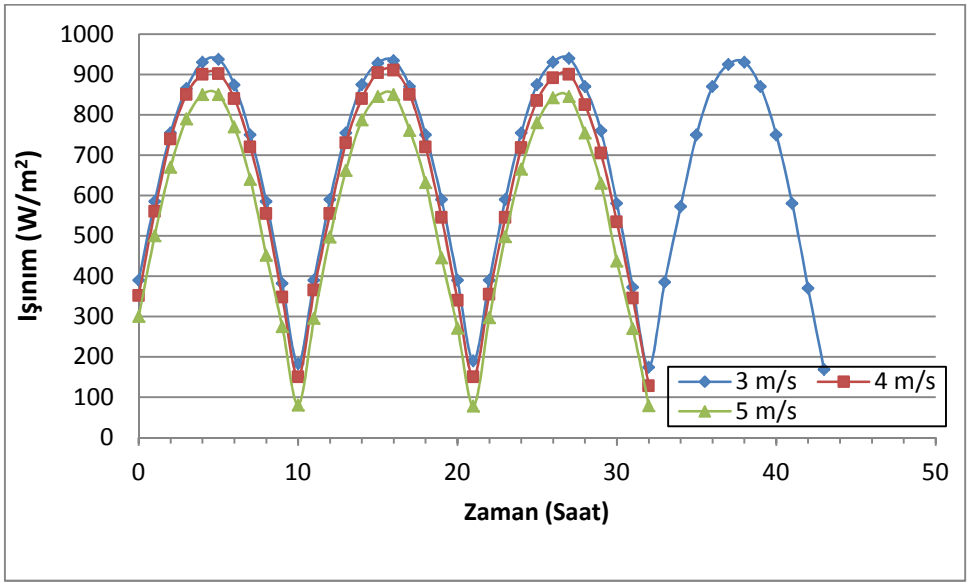
Boyut	Ortam	Isıtıcı	Tuz	Hız	Sıcaklık	Kuruma Süresi (dk)
1	Açık Ortam	Kapalı	Yok	-	-	3420
1	Açık Ortam	Kapalı	Var	-	-	2760
1	Kurutucu	Kapalı	Yok	2	-	2220
1	Kurutucu	Kapalı	Yok	3	-	2040
1	Kurutucu	Kapalı	Yok	4	-	1800
1	Kurutucu	Kapalı	Var	2	-	1800
1	Kurutucu	Kapalı	Var	3	-	1620
1	Kurutucu	Kapalı	Var	4	-	1500
1/2	Açık Ortam	Kapalı	Yok	-	-	2580
1/4	Açık Ortam	Kapalı	Yok	-	-	1800
1/8	Açık Ortam	Kapalı	Yok	-	-	1380
1/2	Açık Ortam	Kapalı	Var	-	-	2100
1/4	Açık Ortam	Kapalı	Var	-	-	1680
1/8	Açık Ortam	Kapalı	Var	-	-	1200
1/2	Kurutucu	Kapalı	Yok	3	-	1680
1/4	Kurutucu	Kapalı	Yok	3	-	1380
1/8	Kurutucu	Kapalı	Yok	3	-	1140
1/2	Kurutucu	Kapalı	Var	3	-	1200
1/4	Kurutucu	Kapalı	Var	3	-	1080
1/8	Kurutucu	Kapalı	Var	3	-	960

5.2.2. Elektrik Enerjisi Destekli Güneş Enerjili Kurutma Deneyleri

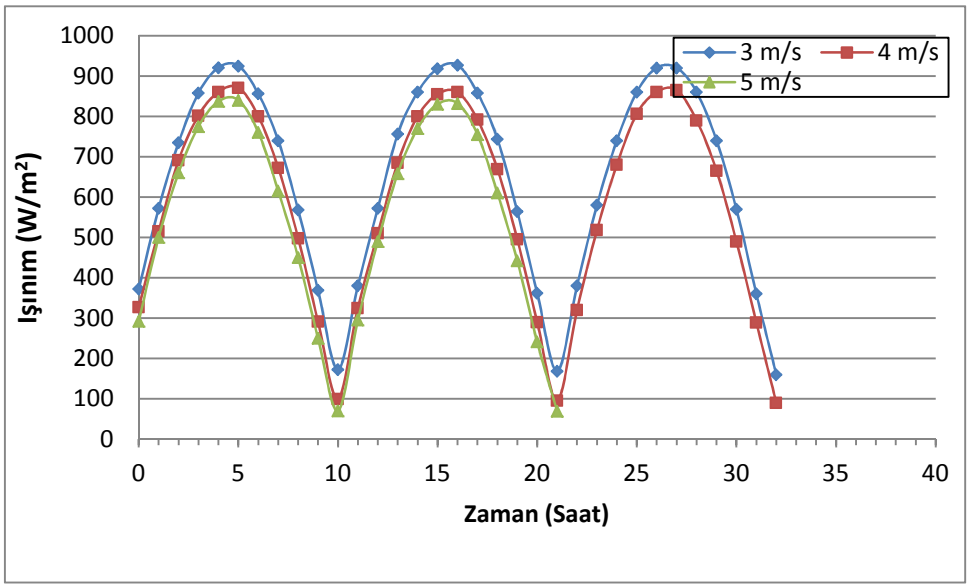
Bu kısımda güneş enerjili kurutma işlemi elektrik enerjisi ile desteklenmiştir. Deneyler kurutma odasına girişte havanın 3,4 ve 5 m/s'lik sabit hızlarında ve 50, 60, 70 ^{o}C'lik sabit sıcaklıklarda yapılmıştır. Deneylerde kullanılan balık tuzlanmış balıktır. Ayrıca tuzun etkisini gözlemlemek amacıyla 4 m/s'lik hızda tuzlanmamış balığında kuruma kinematiği incelenmiştir. Balığın boyutunun kuruma üzerindeki etkisi bu bölümde de incelenmiştir.

Şekil 5.66'da 50 ^{o}C sıcaklık için, Şekil 5.67'da 60 ^{o}C sıcaklık için ve Şekil 5.68'da 70 ^{o}C sıcaklık için deneylerin yapıldığı günlere ait güneş ışınım miktarının zamanla değişim grafiği verilmiştir. Deneyler ilk yapılmaya başlandığı gün için (V=3 m/s T=50 ^{o}C) Sabah 08:00'da başlamış akşam 18:00'da sonlandırılmıştır.

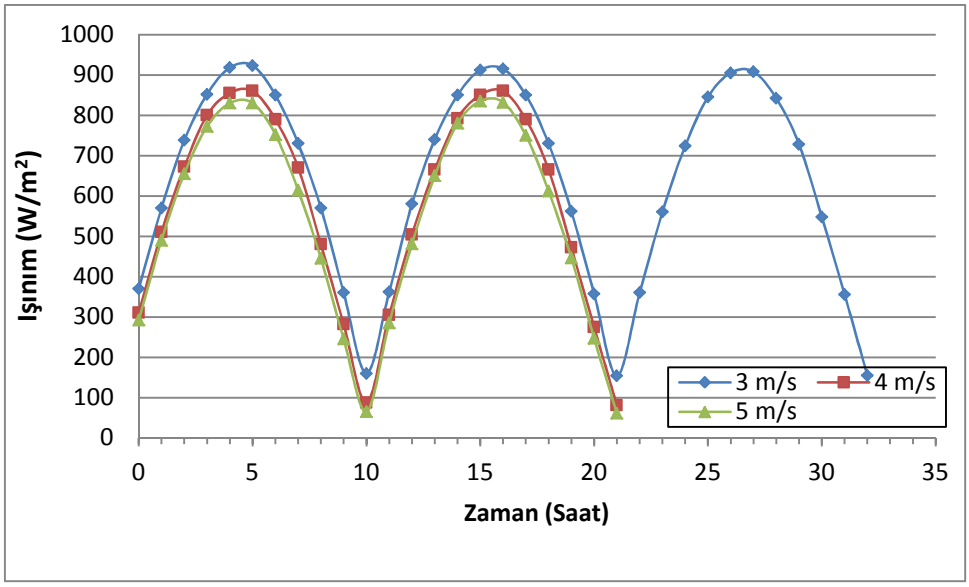
Deneyler ilk yapılmaya başlandığı gün için (V=3 m/s T=50 ^{o}C) (Şekil 5.66) sabah 08:00 'da ışınım miktarı ortalama 385 W/m^2 'iken 18:00'da 183 W/m^2 olmuştur. Günlük maksimum ışınım miktarı ise 935 W/m^2 arasında değişmektedir. Deneyler son günü için ise (V=5 m/s T=70 ^{o}C) (Şekil 5.68) sabah 08:00 'da ışınım miktarı ortalama 285 W/m^2 'iken 18:00'da 61 W/m^2 olmuştur. Günlük maksimum ışınım miktarı ise 832 W/m^2 arasında değişmektedir.



Şekil 5.66. Işınım değerlerinin zamana göre değişimi (T=50 ^{o}C için)



Şekil 5.67. Işınım değerlerinin zamana göre değişimi (T=60 ^{o}C için)



Şekil 5.68. Işınım değerlerinin zamana göre değişimi (T=70 ^{o}C için)

Şekil 5.69'da 3 m/s için sabit kurutma havası hızında farklı sıcaklıklarda tuzlanmış balığın yaş baza göre nem içeriğinin kurutma süresi ile değişimi gösterilmiştir. Grafikte görüleceği gibi sıcaklığın artması ile birlikte kuruma süresi azalmaktadır. Kuruma işlemi 50 ^{o}C için 1920 dk'da, 60 ^{o}C için 1680 dk'da ve 70 ^{o}C için ise 1320 dk'da tamamlanmıştır.

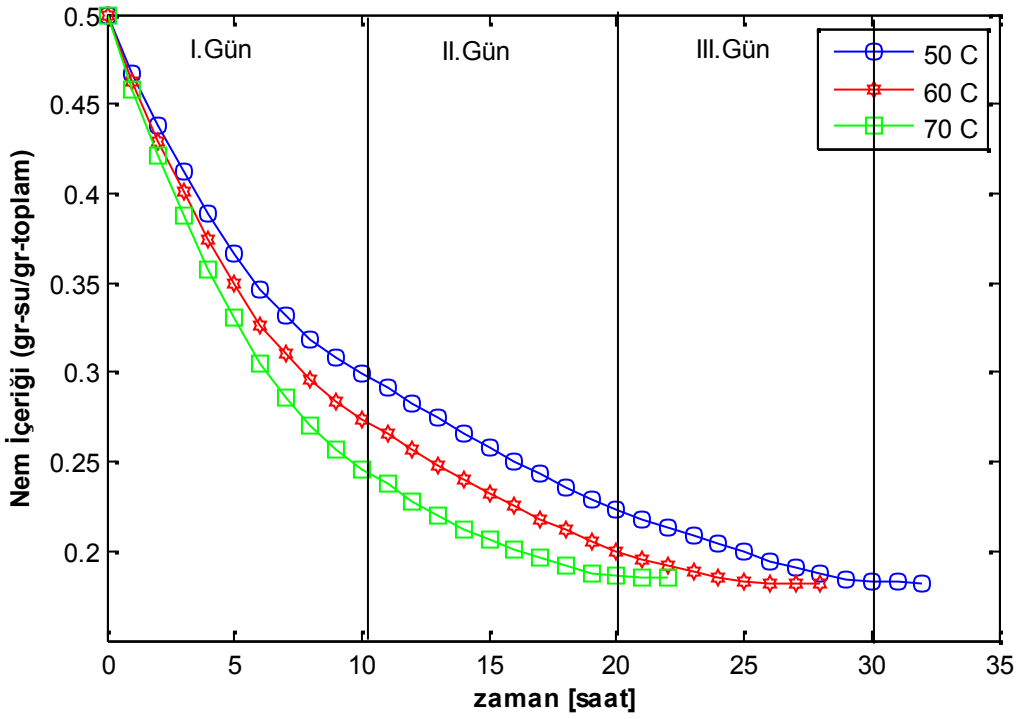
Şekil 5.70'da 4 m/s için sabit kurutma havası hızında farklı sıcaklıklarda tuzlanmış balığın yaş baza göre nem içeriğinin kurutma süresi ile değişimi gösterilmiştir. Kuruma işlemi 50 ^{o}C için 1800 dk'da, 60 ^{o}C için 1260 dk'da ve 70 ^{o}C için ise 1140 dk'da tamamlanmıştır.

Şekil 5.71'de ise 5 m/s için sabit kurutma havası hızında farklı sıcaklıklarda tuzlanmış balığın yaş baza göre nem içeriğinin kurutma süresi ile değişimi gösterilmiştir. Kuruma işlemi 50 ^{o}C için 1560 dk'da, 60 ^{o}C için 1140 dk'da ve 70 ^{o}C için ise 960 dk'da tamamlanmıştır.

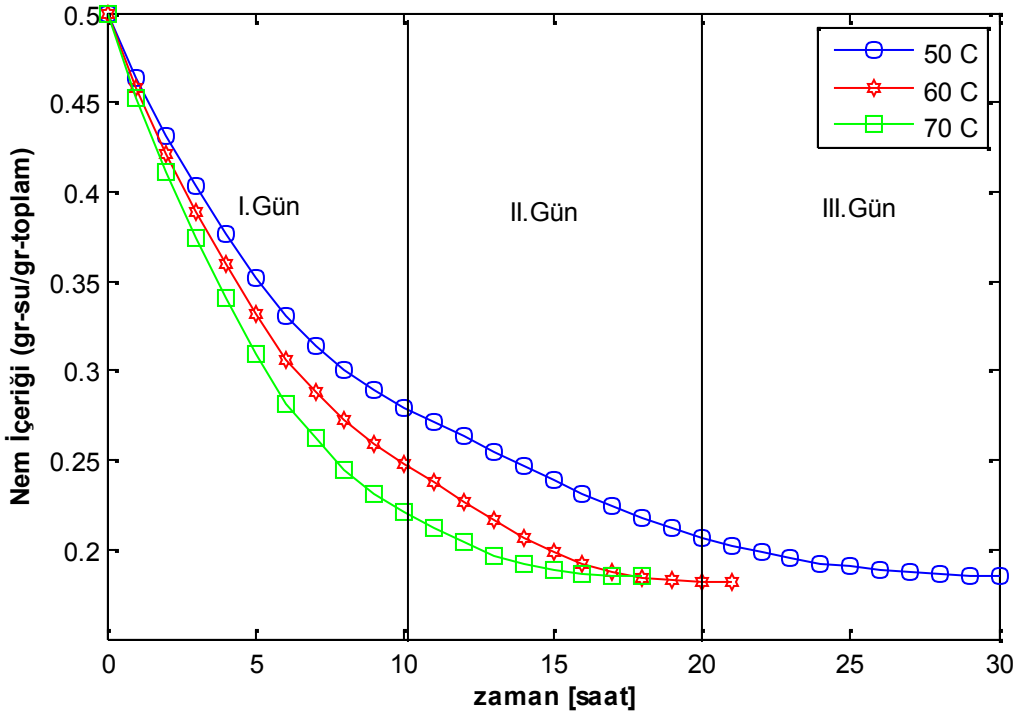
Kuruma işleminde aynı hızlar için sıcaklık arttıkça kuruma hızları düşmektedir. Aynı zamanda sabit sıcaklıklar için ise hızın artması ile kuruma süreleri düşmektedir. En uzun kuruma işlemi 3 m/s hızda ve 50 ^{o}C sıcaklıkta gerçekleşmektedir. En kısa kuruma ise 5 m/s hızda 70 ^{o}C'de gerçekleşmektedir. Hem hızın ve hem de sıcaklığın aynı anda artması ile kuruma süresi de buna bağlı olarak değişiklik göstermemektedir. 5 m/s hız ve 50 ^{o}C sıcaklıktaki kuruma süresi 1560 dk iken 3 m/s hız ve 70 ^{o}C 'lik sıcaklıkta kuruma süresi

1320 dakikadır. Yine benzer bir durum 5 m/s hızda 60 ^{o}C sıcaklıktaki kuruma süresi 1140 dk iken 4 m/s hızda ve 70 ^{o}C sıcaklıkta da aynı sürede kuruma tamamlanmaktadır. Bu durum bize sıcaklığın kuruma üzerinde önemli bir etkisi olduğunu göstermektedir. Yani sadece hızı artırmamızın kuruma süresini kısaltmadığını aynı zamanda da sıcaklığında artırılması gerektiğini göstermektedir.

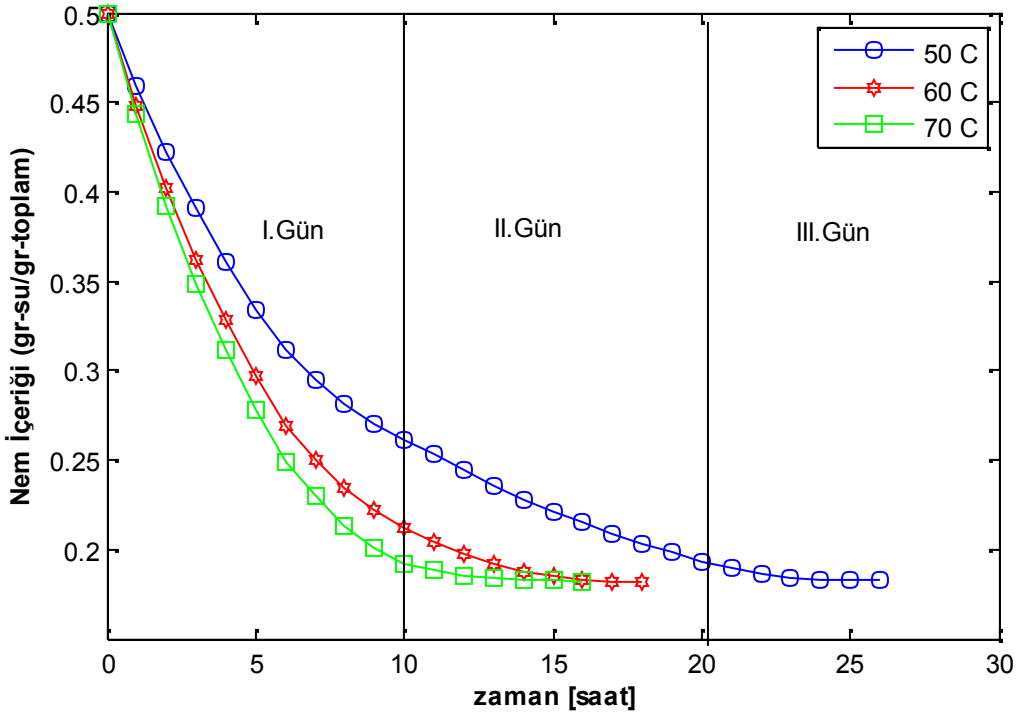
Şekil 5.72'de 3 m/s için sabit kurutma havası hızında farklı sıcaklıklarda tuzlanmış balığın kuru baza göre nem içeriğinin kurutma süresi ile değişimi gösterilmiştir. Şekil 5.73'de 4 m/s için sabit kurutma havası hızında farklı sıcaklıklarda tuzlanmış balığın kuru baza göre nem içeriğinin kurutma süresi ile değişimi gösterilmiştir. Şekil 5.74'de 5 m/s için sabit kurutma havası hızında farklı sıcaklıklarda tuzlanmış balığın kuru baza göre nem içeriğinin kurutma süresi ile değişimi gösterilmiştir.



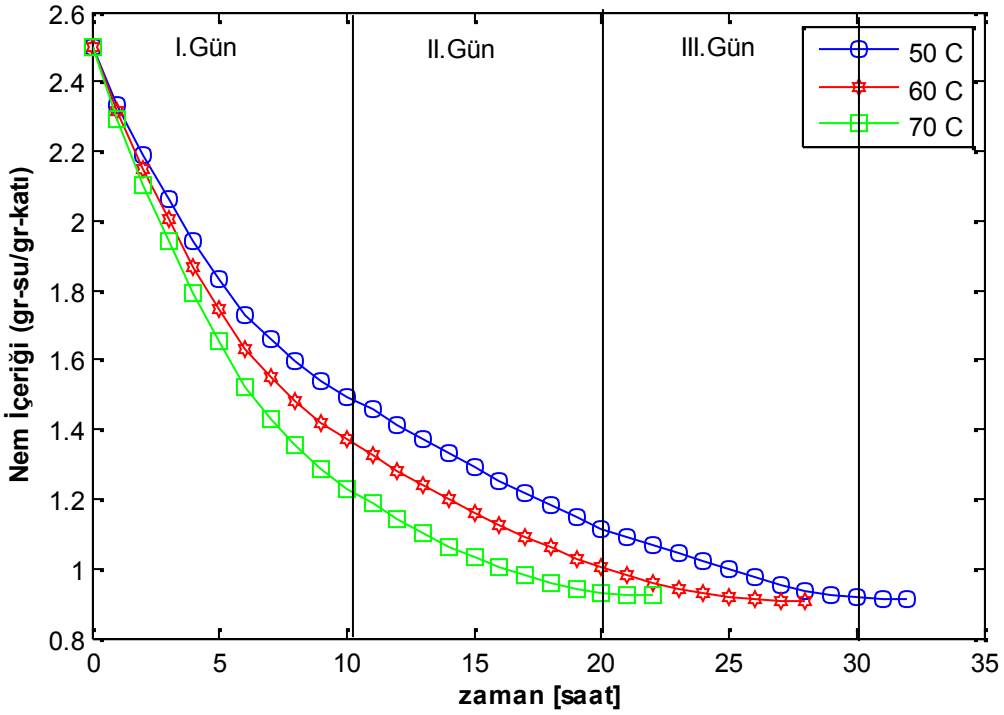
Şekil 5.69. Sabit hızda, farklı sıcaklıklarda tuzlu balık için nem miktarının (y.b) kuruma zamanına göre değişim grafiği (v= 3 m/s)



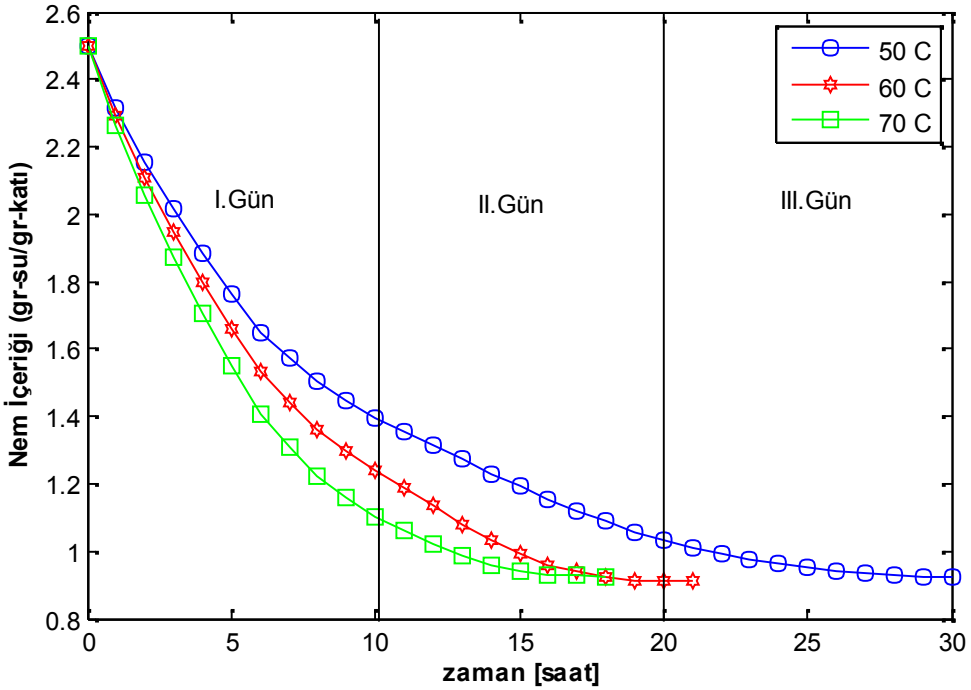
Şekil 5.70. Sabit hızda, farklı sıcaklıklarda tuzlu balık için nem miktarının (y.b) kuruma zamanına göre değişim grafiği (v= 4 m/s)



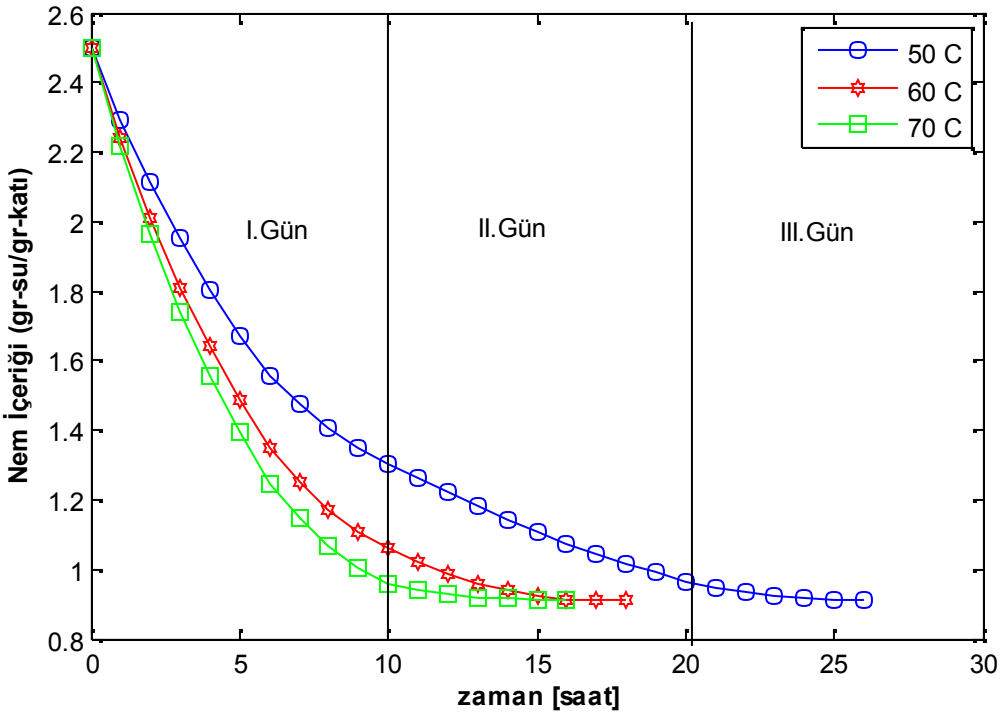
Şekil 5.71. Sabit hızda, farklı sıcaklıklarda tuzlu balık için nem miktarının (y.b) kuruma zamanına göre değişim grafiği (v= 5 m/s)



Şekil 5.72. Sabit hızda, farklı sıcaklıklarda tuzlu balık için nem miktarının (k.b) kuruma zamanına göre değişim grafiği (v= 3 m/s)

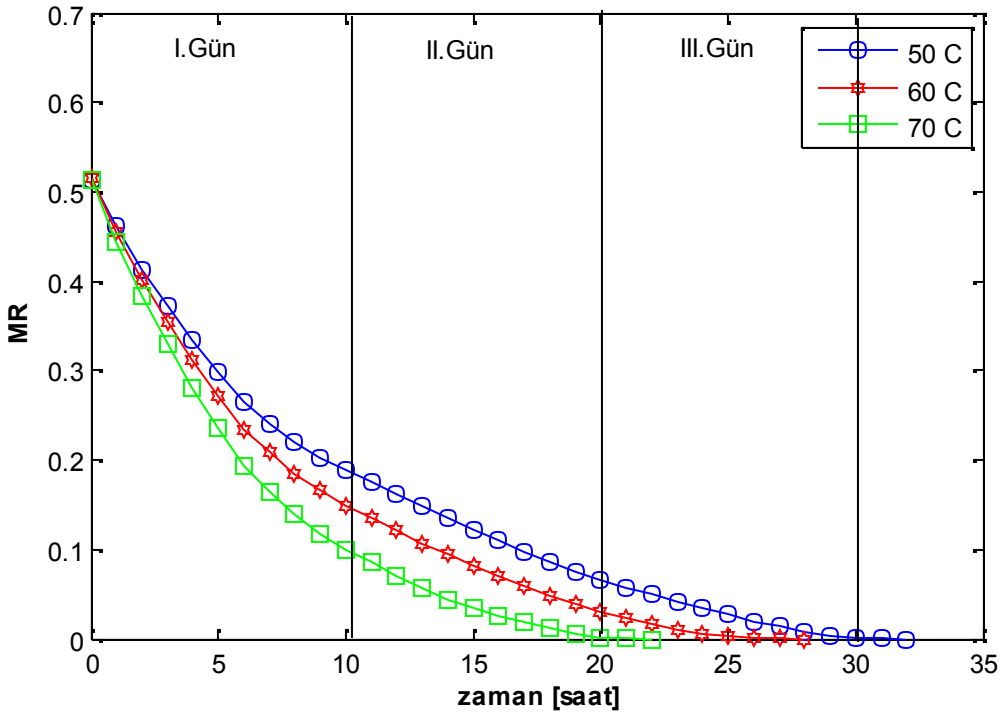


Şekil 5.73. Sabit hızda, farklı sıcaklıklarda tuzlu balık için nem miktarının (k.b) kuruma zamanına göre değişim grafiği (v= 4 m/s)

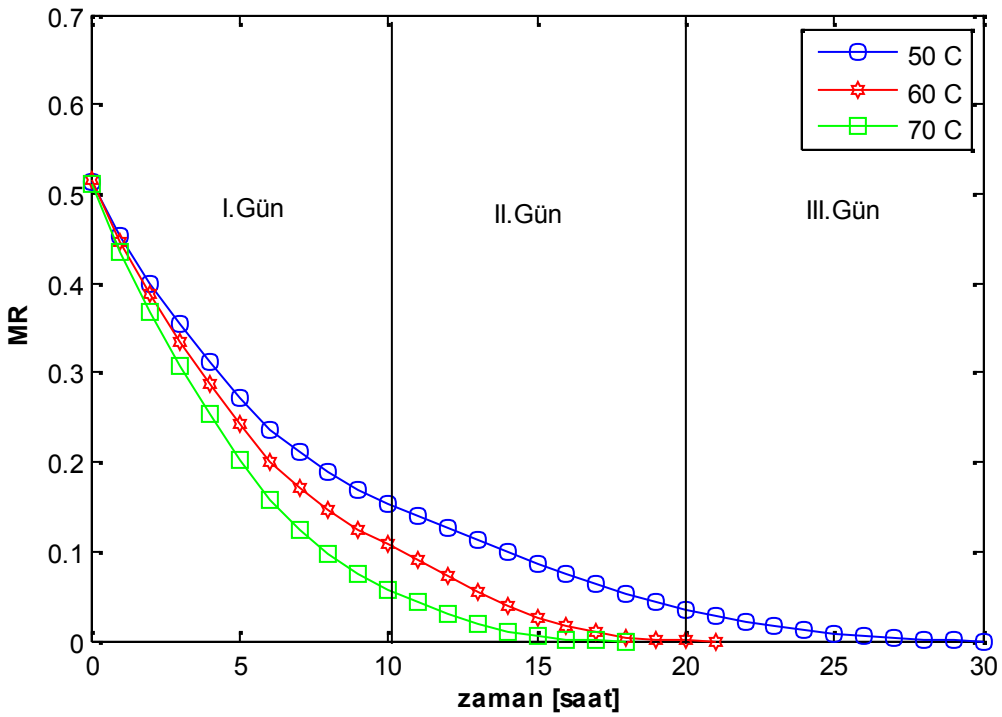


Şekil 5.74. Sabit hızda, farklı sıcaklıklarda tuzlu balık için nem miktarının (k.b) kuruma zamanına göre değişim grafiği (v= 5 m/s)

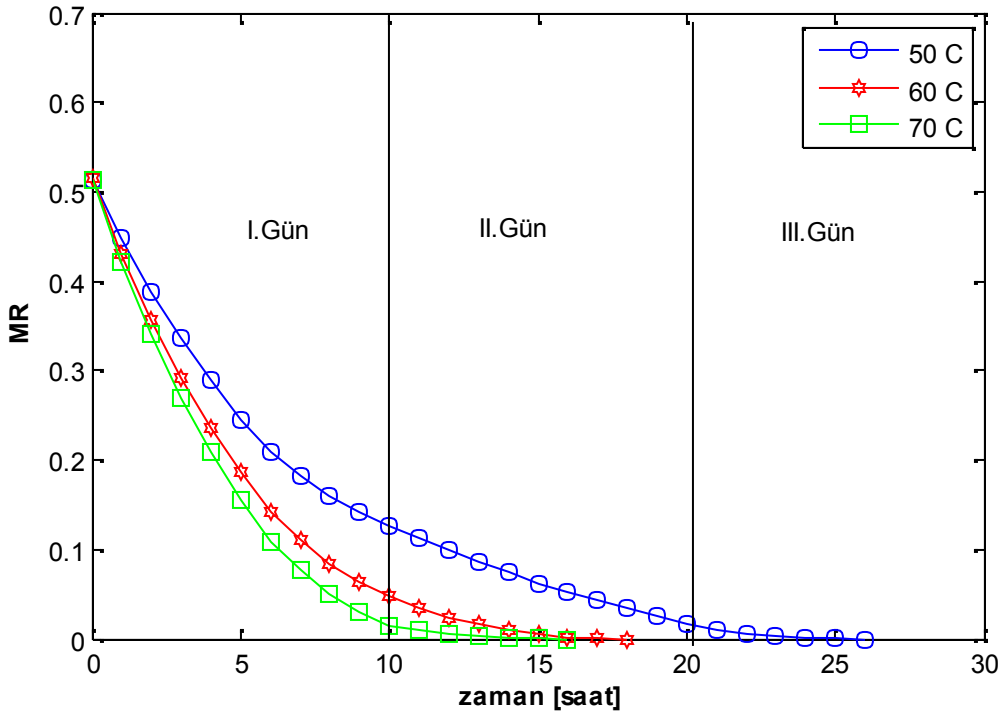
Şekil 5.75'de 3 m/s için sabit kurutma havası hızında farklı sıcaklıklarda tuzlanmış balığın boyutsuz nem oranının kurutma süresi ile değişimi gösterilmiştir. Şekil 5.76'de 4 m/s için sabit kurutma havası hızında farklı sıcaklıklarda tuzlanmış balığın boyutsuz nem oranının kurutma süresi ile değişimi gösterilmiştir. Şekil 5.77'de 5 m/s için sabit kurutma havası hızında farklı sıcaklıklarda tuzlanmış balığın boyutsuz nem oranının kurutma süresi ile değişimi gösterilmiştir.



Şekil 5.75. Sabit hızda, farklı sıcaklıklarda tuzlu balık için boyutsuz nem oranın kuruma zamanına göre değişimi (v= 3 m/s)



Şekil 5.76. Sabit hızda, farklı sıcaklıklarda tuzlu balık için boyutsuz nem oranın kuruma zamanına göre değişimi (v= 4 m/s)

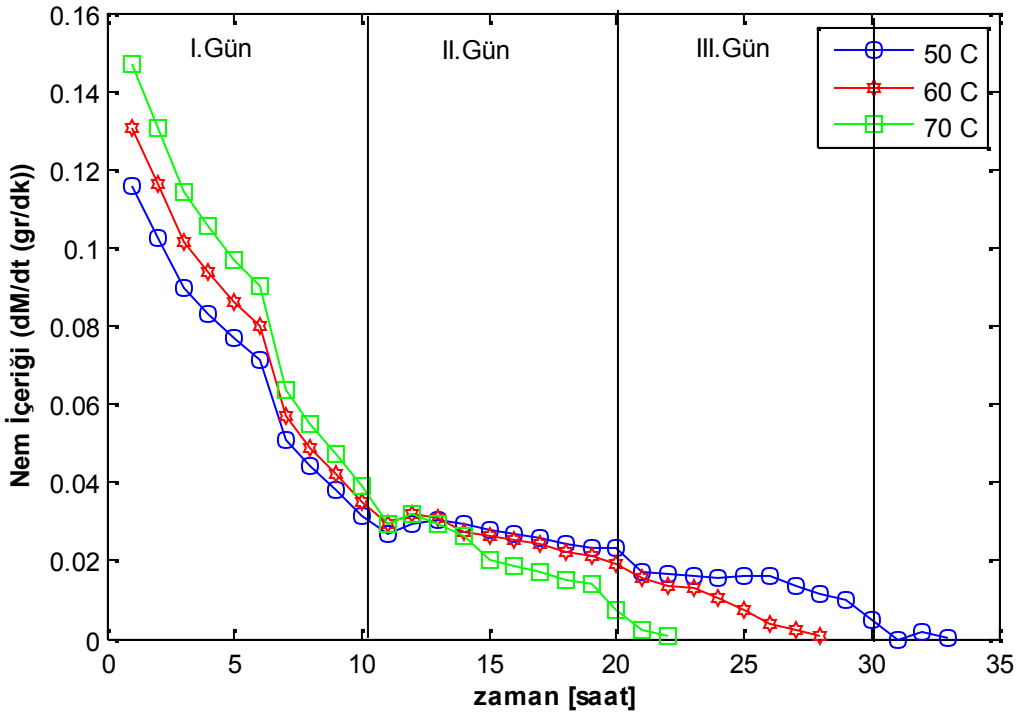


Şekil 5.77. Sabit hızda, farklı sıcaklıklarda tuzlu balık için boyutsuz nem oranın kuruma zamanına göre değişimi (v= 5 m/s)

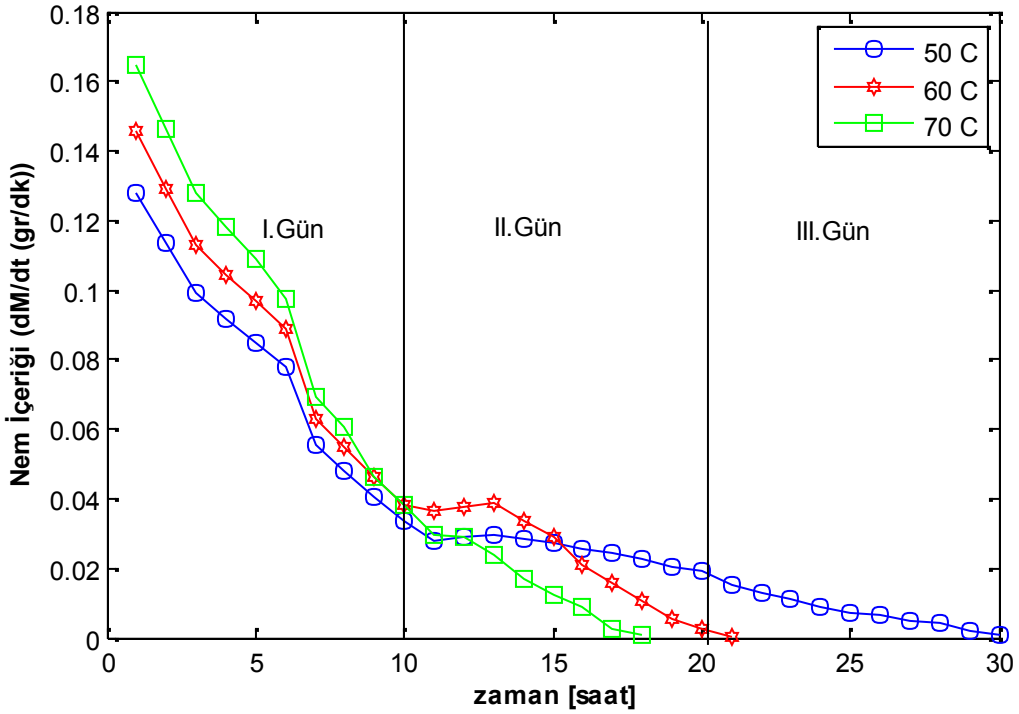
Şekil 5.78'da 3 m/s için sabit kurutma havası hızında farklı sıcaklıklarda tuzlanmış balığın Kuruma hızının kurutma süresi ile değişimi gösterilmiştir. Grafikte görüleceği gibi sıcaklığın artması ile birlikte kuruma hızı artmaktadır. Ayrıca kuruma hızı zamanla azalma göstermektedir. Kuruma hızları başlangıçta 50 ^{o}C için 0,1157 gr/dk, 60 ^{o}C için 0,1307 gr/dk ve 70 ^{o}C için ise 0,1470 gr/dk olduğu gözlemlenmiştir.

Şekil 5.79'da 4 m/s için sabit kurutma havası hızında farklı sıcaklıklarda tuzlanmış balığın yaş baza göre nem içeriğinin kurutma süresi ile değişimi gösterilmiştir. Kuruma hızları başlangıçta 50 ^{o}C için 0,1278 gr/dk, 60 ^{o}C için 0,1457 gr/dk ve 70 ^{o}C için ise 0,1647 gr/dk olduğu gözlemlenmiştir.

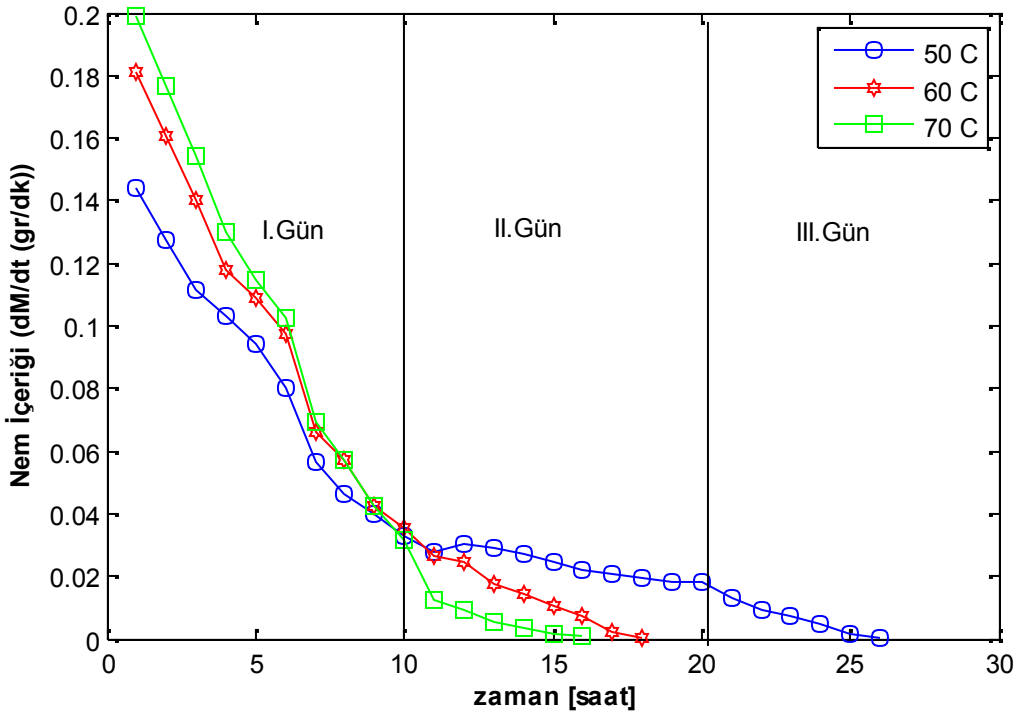
Şekil 5.80'de ise 5 m/s için sabit kurutma havası hızında farklı sıcaklıklarda tuzlanmış balığın yaş baza göre nem içeriğinin kurutma süresi ile değişimi gösterilmiştir. Kuruma hızları başlangıçta 50 ^{o}C için 0,1438 gr/dk, 60 ^{o}C için 0,1811 gr/dk ve 70 ^{o}C için ise 0,1992 gr/dk olduğu gözlemlenmiştir.



Şekil 5.78 Sabit hızda, farklı sıcaklıklarda tuzlu balık için kuruma zamanın kuruma hızına göre değişimi (v= 3 m/s)

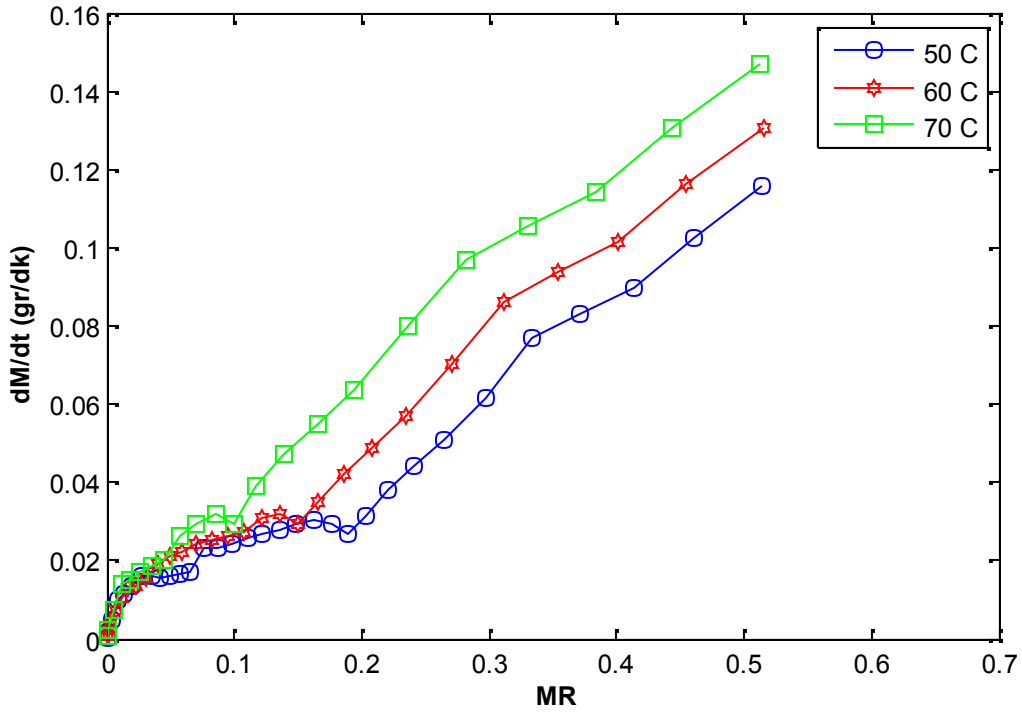


Şekil 5.79 Sabit hızda, farklı sıcaklıklarda tuzlu balık için kuruma zamanın kuruma hızına göre değişimi (v= 4 m/s)

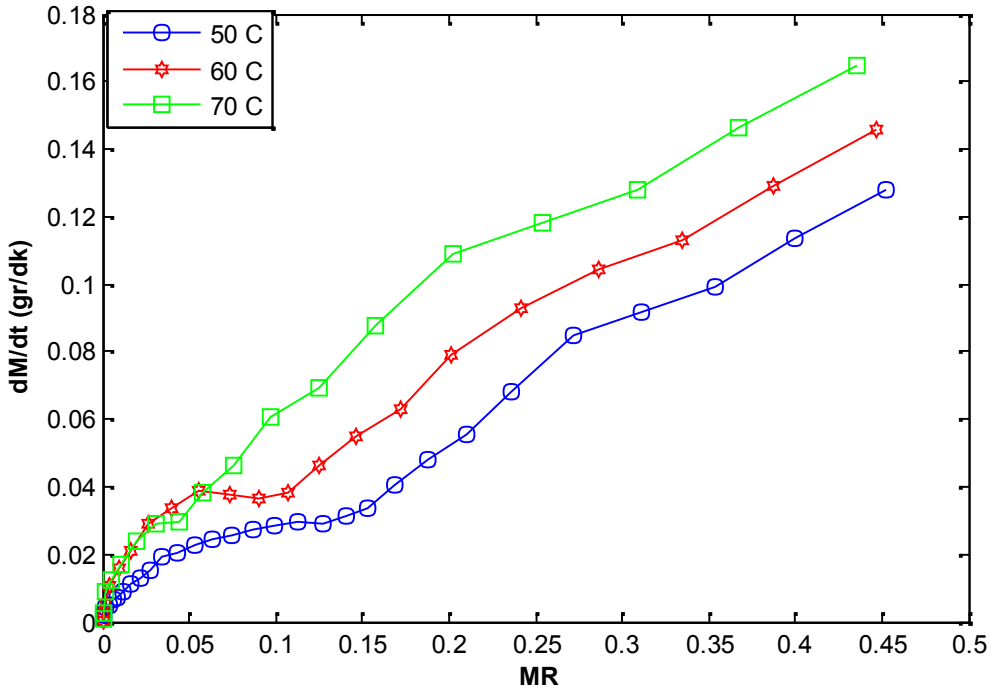


Şekil 5.80 Sabit hızda, farklı sıcaklıklarda tuzlu balık için kuruma zamanın kuruma hızına göre değişimi (v= 5 m/s)

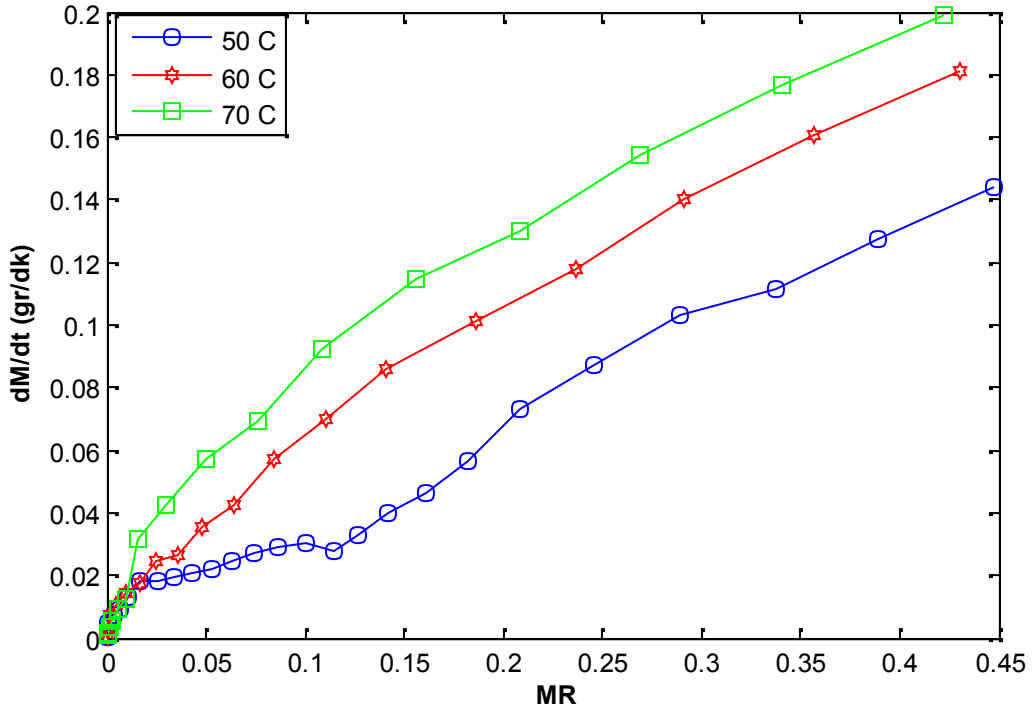
Şekil 5.81'de 3 m/s için sabit kurutma havası hızında farklı sıcaklıklarda tuzlanmış balığın kuruma hızının boyutsuz nem oranının ile değişimi gösterilmiştir. Şekil 5.82'de 4 m/s için sabit kurutma havası hızında farklı sıcaklıklarda tuzlanmış balığın kuruma hızının boyutsuz nem oranının ile değişimi gösterilmiştir. Şekil 5.83'de 5 m/s için sabit kurutma havası hızında farklı sıcaklıklarda tuzlanmış balığın kuruma hızının boyutsuz nem oranının ile değişimi gösterilmiştir. Kuruma hızları nem ile birlikte artmaktadır. Bu artış lineer bir eğriye yakın bir artış göstermektedir. 3 m/s'lik hız'da kuruma hızları boyutsuz nem oranı yaklaşık %15 seviyesine indiğinde sıcaklık ile fazla değişiklik göstermemektedir. 5 m/s hız için ise bu durum yaklaşık %4 seviyesinde gerçekleşmektedir.



Şekil 5.81 Sabit hızda, farklı sıcaklıklarda tuzlu balık için kuruma hızının boyutsuz nem oranına göre değişim grafiği (v= 3 m/s)



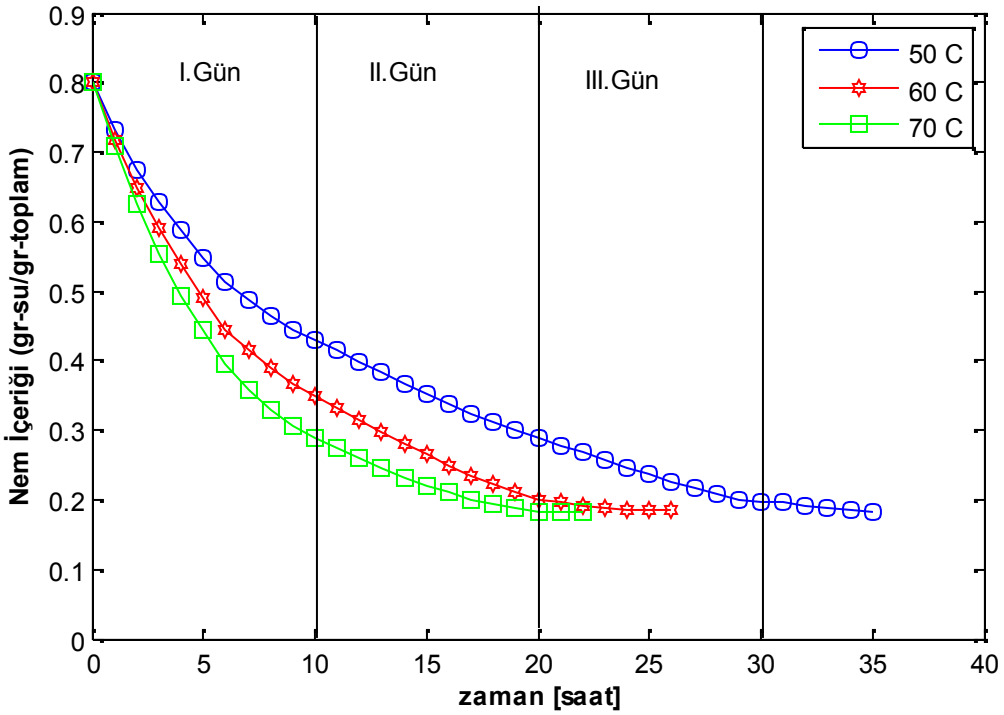
Şekil 5.82 Sabit hızda, farklı sıcaklıklarda tuzlu balık için kuruma hızının boyutsuz nem oranına göre değişim grafiği (v= 4 m/s)



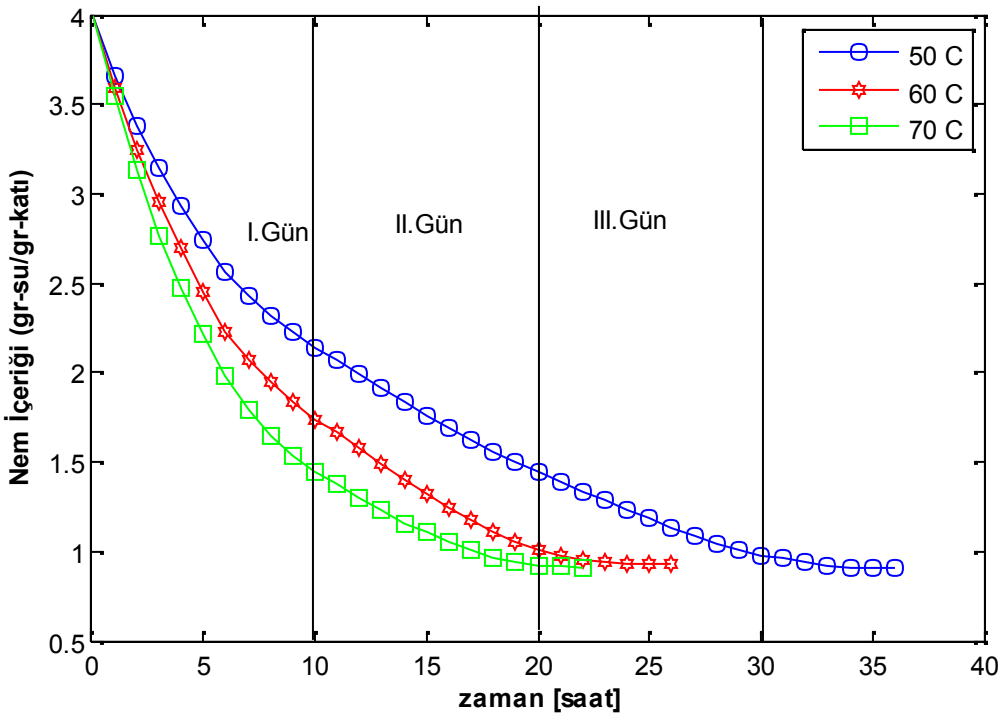
Şekil 5.83 Sabit hızda, farklı sıcaklıklarda tuzlu balık için kuruma hızının boyutsuz nem oranına göre değişim grafiği (v= 5 m/s)

Şekil 5.84'de tuzlanmamış balık için 4 m/s'lik hava hızında yaş baza göre nem değişiminin kuruma zamanına göre değişimi gösterilmiştir. Şekil 5.85'de ise kuru baza göre değişimi gösterilmiştir. Şekil 5. 86 'da ise boyutsuz nem oranın değişimi gösterilmiştir. Kuruma işlemi 4 m/s lik sabit hızda 50 ^{o}C için 2160 dk , 60 ^{o}C için 1560 dk ve 70 ^{o}C için ise 1320 dakikadır.

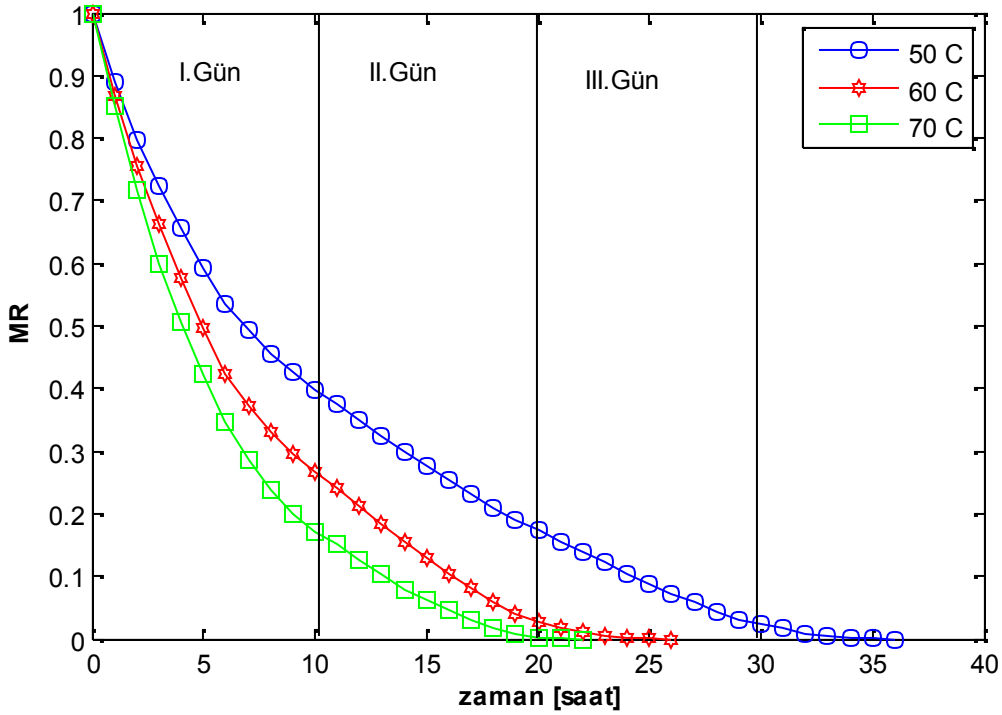
Şekil 5.87'de kuruma hızının kuruma süresine değişimi gösterilmiştir. kuruma hızı 50 ^{o}C için 0,2384 gr/dk , 60 ^{o}C için 0,2847 gr/dk ve 70 ^{o}C için ise 0,3208 gr/dk'dır. Şekil 5.88'de ise sabit 4 m/s 'lik hızda, farklı sıcaklıklarda tuzsuz balık için kuruma hızının boyutsuz nem oranına göre değişimi gösterilmiştir.



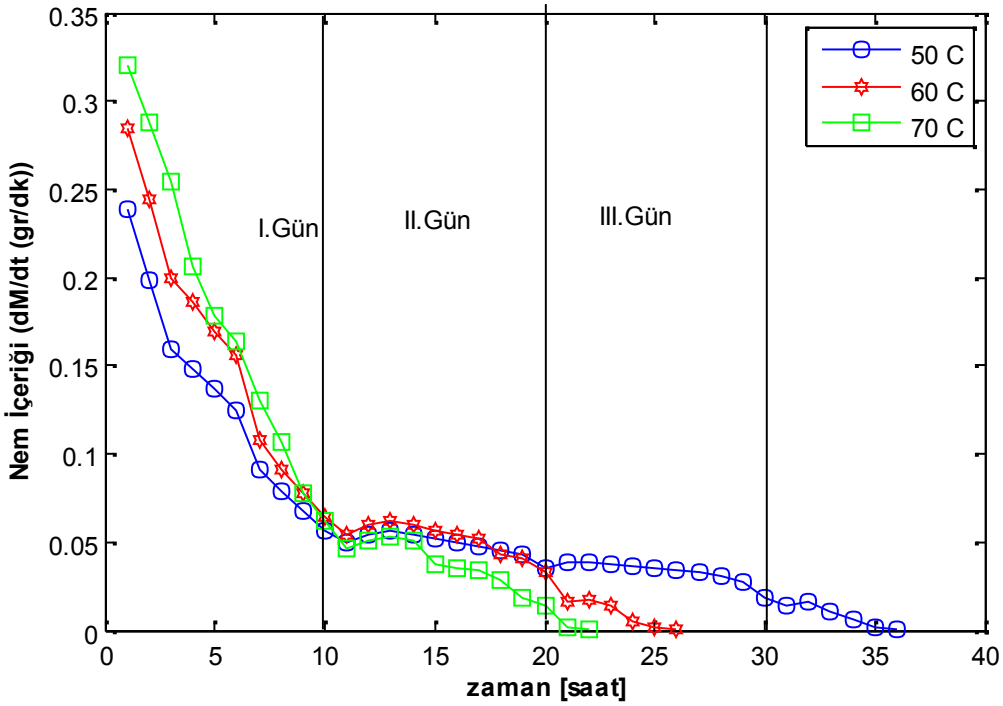
Şekil 5.84. Sabit hızda, farklı sıcaklıklarda tuzsuz balık için nem miktarının (y.b) kuruma zamanına göre değişim grafiği (v= 4 m/s)



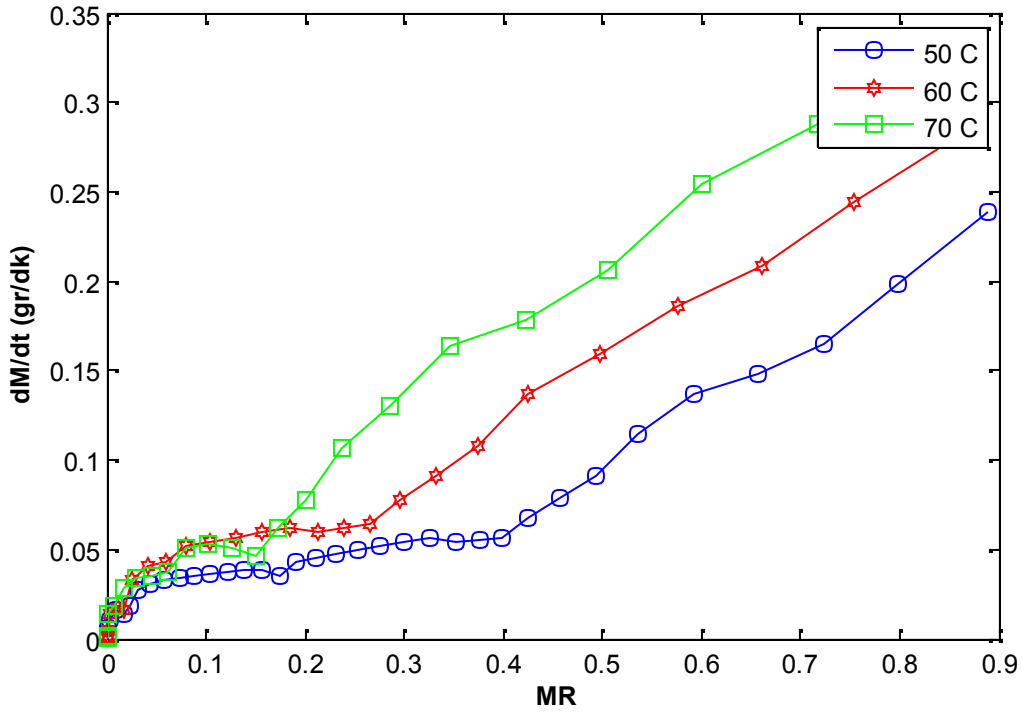
Şekil 5.85. Sabit hızda, farklı sıcaklıklarda tuzsuz balık için nem miktarının (k.b) kuruma zamanına göre değişim grafiği (v= 4 m/s)



Şekil 5.86. Sabit hızda, farklı sıcaklıklarda tuzsuz balık için boyutsuz nem oranın kuruma zamanına göre değişimi (v= 4 m/s)



Şekil 5.87 Sabit hızda, farklı sıcaklıklarda tuzsuz balık için kuruma zamanın kuruma hızına göre değişimi (v= 4 m/s)



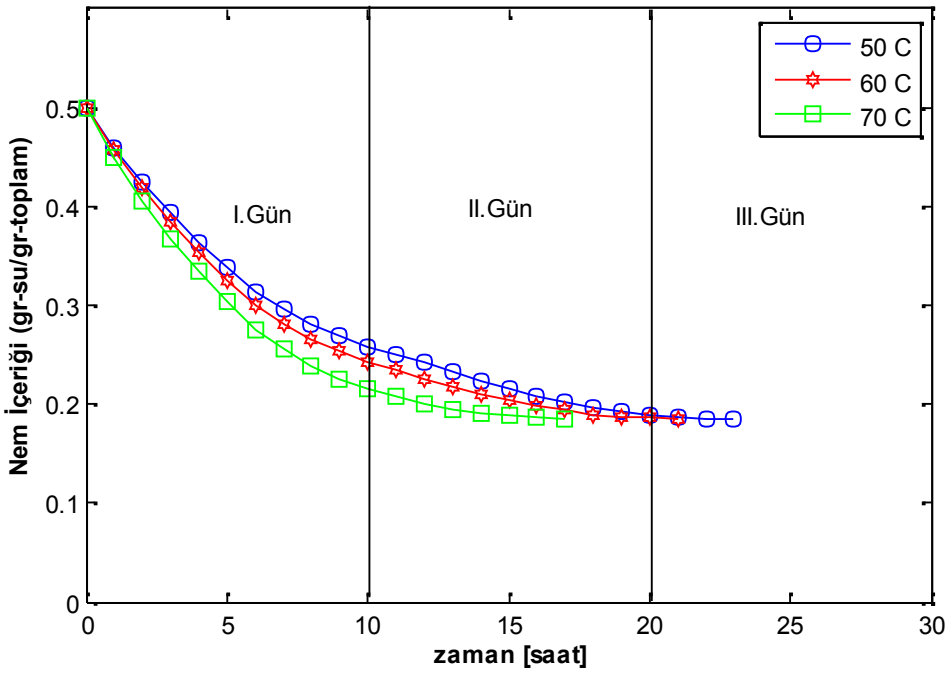
Şekil 5.88 Sabit hızda, farklı sıcaklıklarda tuzsuz balık için kuruma hızının boyutsuz nem oranına göre değişim grafiği (v= 4 m/s)

5.2.2.1 Elektrik Enerjisi Destekli Güneş Enerjili Kurutucuda Balığın Boyutunun Kurutma Üzerindeki Etkisi

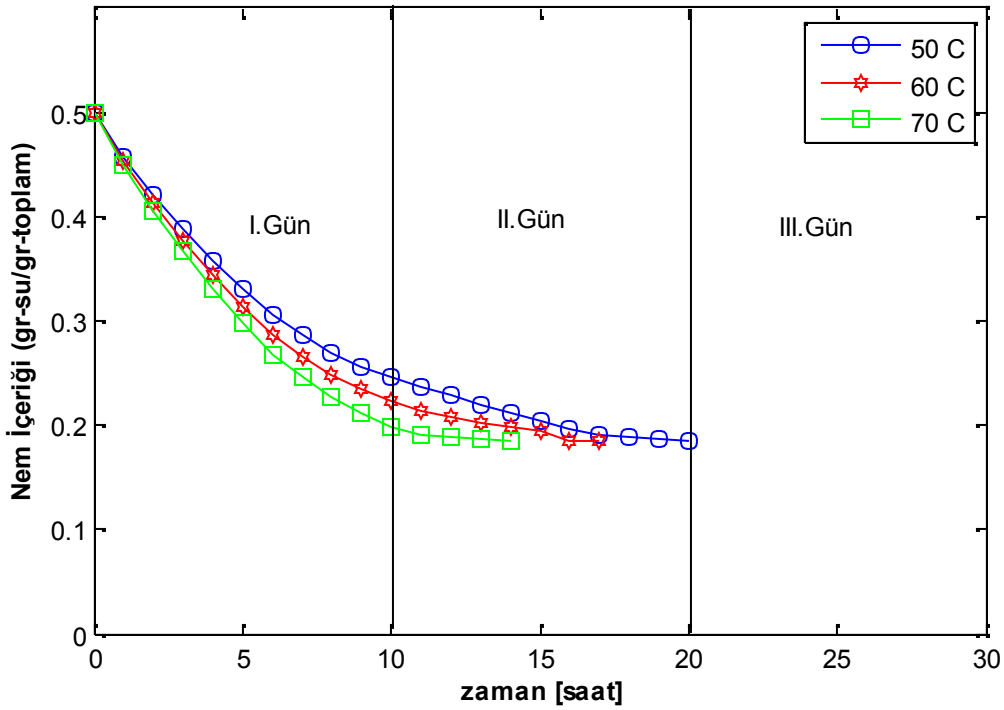
Şekil 5.89'da 3 m/s'lik hava hızında 1/2 parçaya ayrılmış ve tuzlanmış balık için yaş baza göre nem içeriğinin kuruma zamanına göre değişimi gösterilmiştir. Şekil 5.90'da 3 m/s'lik hava hızında 1/4 parçaya ayrılmış ve tuzlanmış balık için yaş baza göre nem içeriğinin kuruma zamanına göre değişimi gösterilmiştir. Şekil 5.91'da 3 m/s'lik hava hızında 1/8 parçaya ayrılmış ve tuzlanmış balık için yaş baza göre nem içeriğinin kuruma zamanına göre değişimi gösterilmiştir. 3 m/s hava hızında 1/2 parçaya ayrılmış balık, 50 ^{o}C'de 1380 dk'da, 60 ^{o}C 'de 1260 dk'da ve 70 ^{o}C ise 1020 dk'da kuruma işlemi tamamlanmıştır. 3 m/s hava hızında 1/4 parçaya ayrılmış balık, 50 ^{o}C'de 1200 dk'da, 60 ^{o}C 'de 1020 dk'da ve 70 ^{o}C ise 840 dk'da kuruma işlemi tamamlanmıştır. 3 m/s hava hızında 1/8 parçaya ayrılmış balık, 50 ^{o}C'de 1080 dk'da, 60 ^{o}C 'de 900 dk'da ve 70 ^{o}C ise 720 dk'da kuruma işlemi tamamlanmıştır.

Şekil 5.92'de 3 m/s'lik hava hızında 1/2 parçaya ayrılmış ve tuzlanmış balık için kuru baza göre nem içeriğinin kuruma zamanına göre değişimi gösterilmiştir. Şekil 5.93'de 3 m/s'lik hava hızında 1/4 parçaya ayrılmış ve tuzlanmış balık için kuru baza göre nem içeriğinin kuruma zamanına göre değişimi gösterilmiştir. Şekil 5.94'da 3 m/s'lik hava hızında 1/8 parçaya ayrılmış ve tuzlanmış balık için kuru baza göre nem içeriğinin kuruma zamanına göre değişimi gösterilmiştir. Şekil 5.95-97'de ise aynı durumlar için boyutsuz nem oranının kuruma süresine göre değişimi gösterilmiştir.

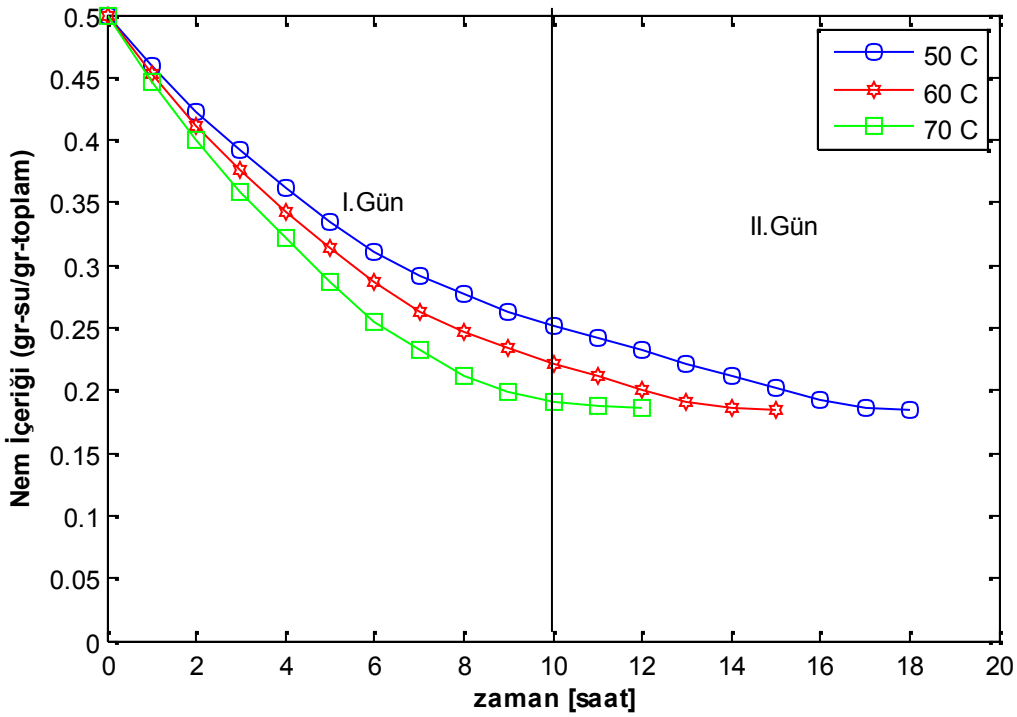
Şekil 5.98'de 3 m/s'lik hava hızında 1/2 parçaya ayrılmış ve tuzlanmış balık için kuruma hızının kuruma zamanına göre değişimi gösterilmiştir. Bu durum için başlangıçtaki kuruma hızı 50 ^{o}C'de 0,0679 gr/dk'da, 60 ^{o}C 'de 0,0719 gr/dk'da ve 70 ^{o}C ise 0,0831 gr/dk' olduğu tespit edilmiştir. Şekil 5.99'de 3 m/s'lik hava hızında 1/4 parçaya ayrılmış ve tuzlanmış balık için kuruma hızının kuruma zamanına göre değişimi gösterilmiştir. bu durum için ise kuruma hızının 50 ^{o}C'de 0,0353 gr/dk , 60 ^{o}C 'de 0,0359 gr/dk ve 70 ^{o}C ise 0,0417 gr/dk olduğu gözlemlenmiştir. Şekil 5.100'da 3 m/s'lik hava hızında 1/8 parçaya ayrılmış ve tuzlanmış balık için kuruma hızının kuruma zamanına göre değişimi gösterilmiştir. Bu durumda ise başlangıçtaki kuruma hızı 50 ^{o}C'de 0,017 gr/dk 60 ^{o}C 'de 0,0194 gr/dk ve 70 ^{o}C ise 0,022 gr/dk olduğu gözlemlenmiştir.



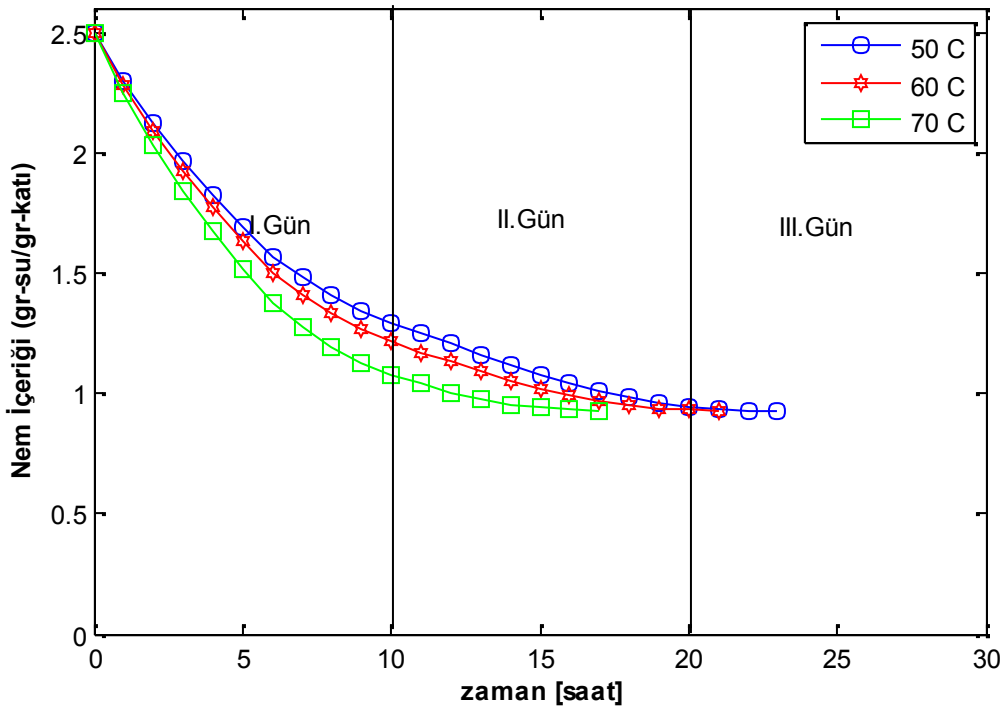
Şekil 5.89. Sabit hızda, farklı sıcaklıklarda 1/2 boyutundaki tuzlu balık için nem miktarının (y.b) kuruma zamanına göre değişim grafiği (v= 3 m/s)



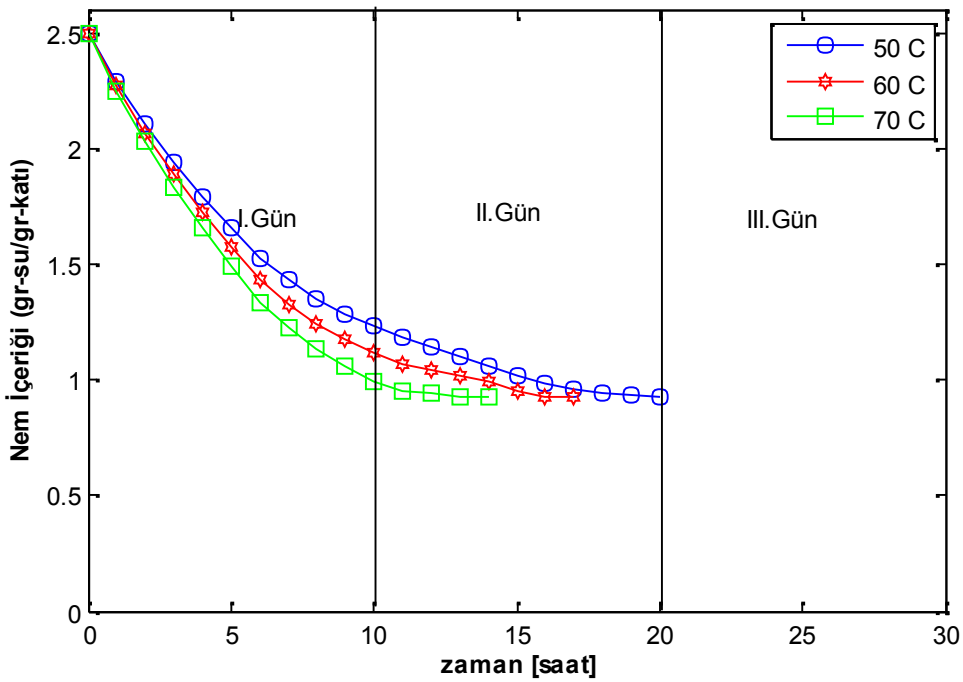
Şekil 5.90. Sabit hızda, farklı sıcaklıklarda 1/4 boyutundaki tuzlu balık için nem miktarının (y.b) kuruma zamanına göre değişim grafiği (v= 3 m/s)



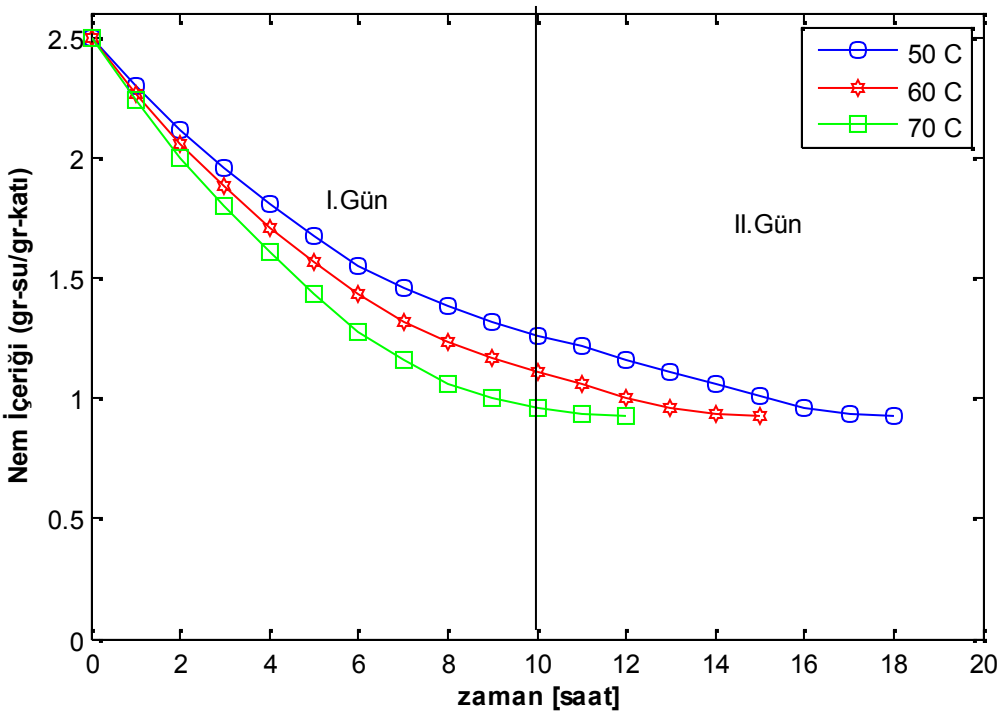
Şekil 5.91. Sabit hızda, farklı sıcaklıklarda 1/8 boyutundaki tuzlu balık için nem miktarının (y.b) kuruma zamanına göre değişim grafiği (v= 3 m/s)



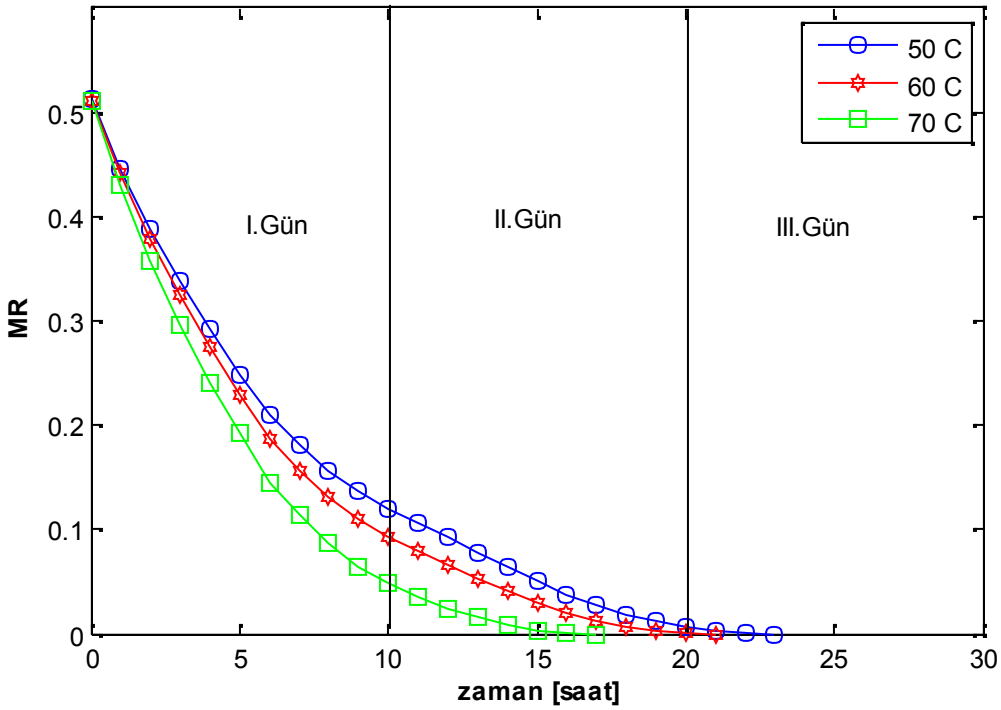
Şekil 5.92. Sabit hızda, farklı sıcaklıklarda 1/2 boyutundaki tuzlu balık için nem miktarının (k.b) kuruma zamanına göre değişim grafiği (v= 3 m/s)



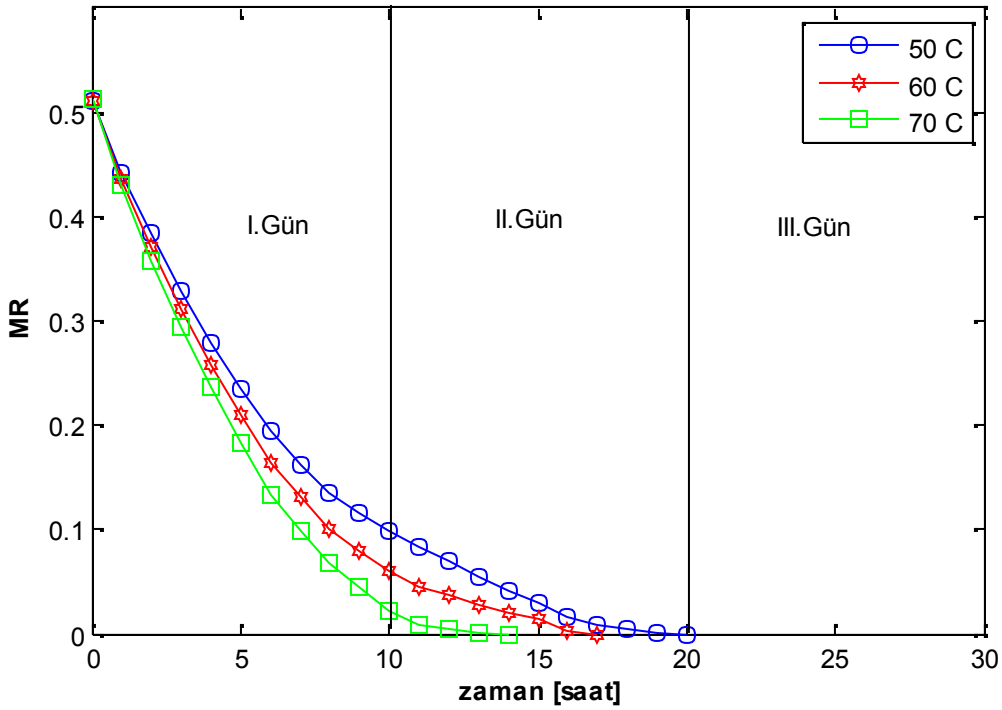
Şekil 5.93. Sabit hızda, farklı sıcaklıklarda 1/4 boyutundaki tuzlu balık için nem miktarının (k.b) kuruma zamanına göre değişim grafiği (v= 3 m/s)



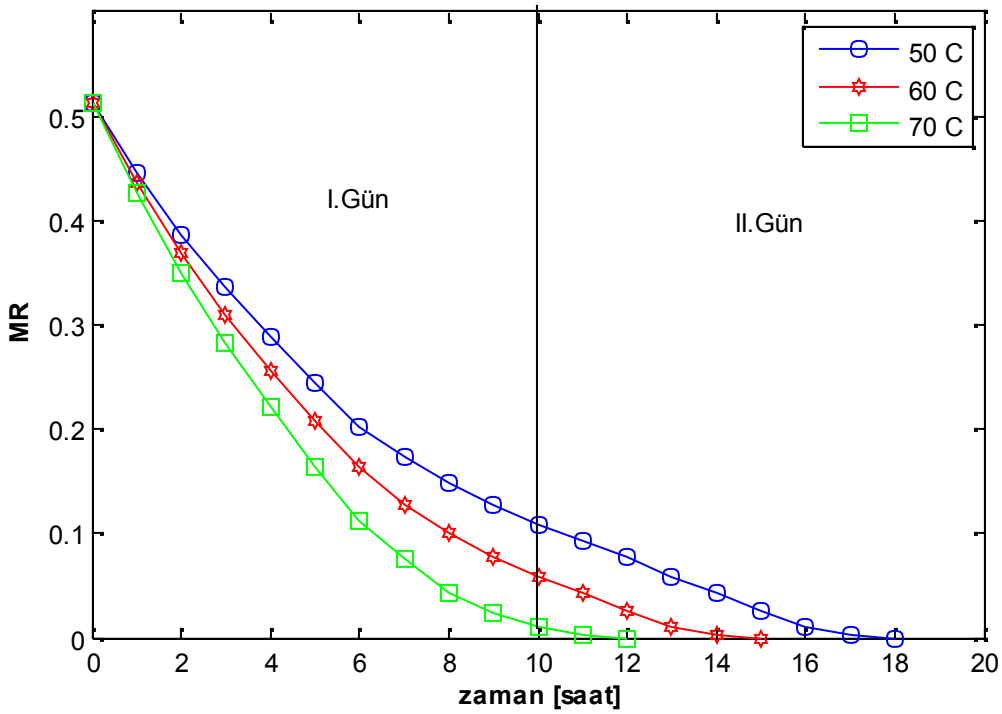
Şekil 5.94. Sabit hızda, farklı sıcaklıklarda 1/8 boyutundaki tuzlu balık için nem miktarının (k.b) kuruma zamanına göre değişim grafiği (v= 3 m/s)



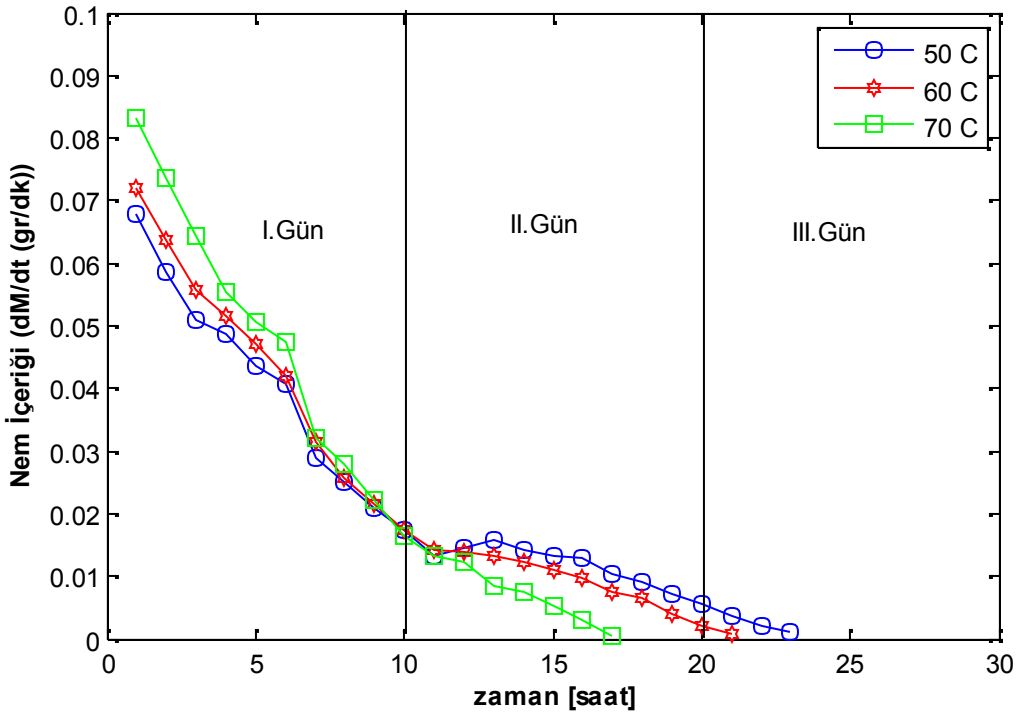
Şekil 5.95. Sabit hızda, farklı sıcaklıklarda 1/2 boyutundaki tuzlu balık için boyutsuz nem oranın kuruma zamanına göre değişimi (v= 3 m/s)



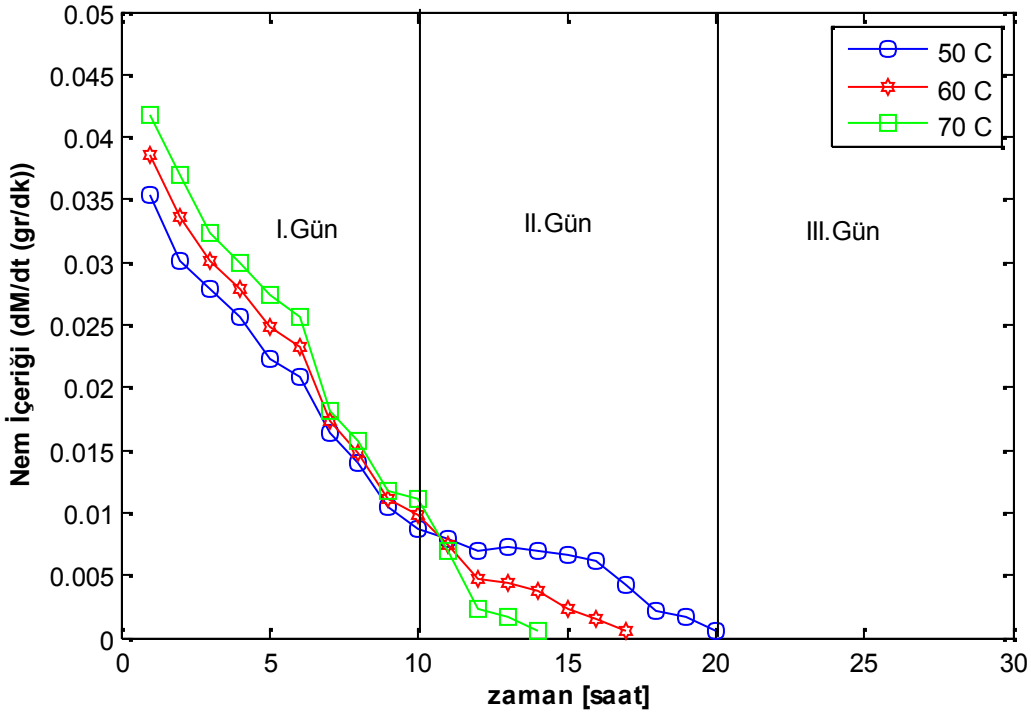
Şekil 5.96. Sabit hızda, farklı sıcaklıklarda 1/4 boyutundaki tuzlu balık için boyutsuz nem oranın kuruma zamanına göre değişimi (v= 3 m/s)



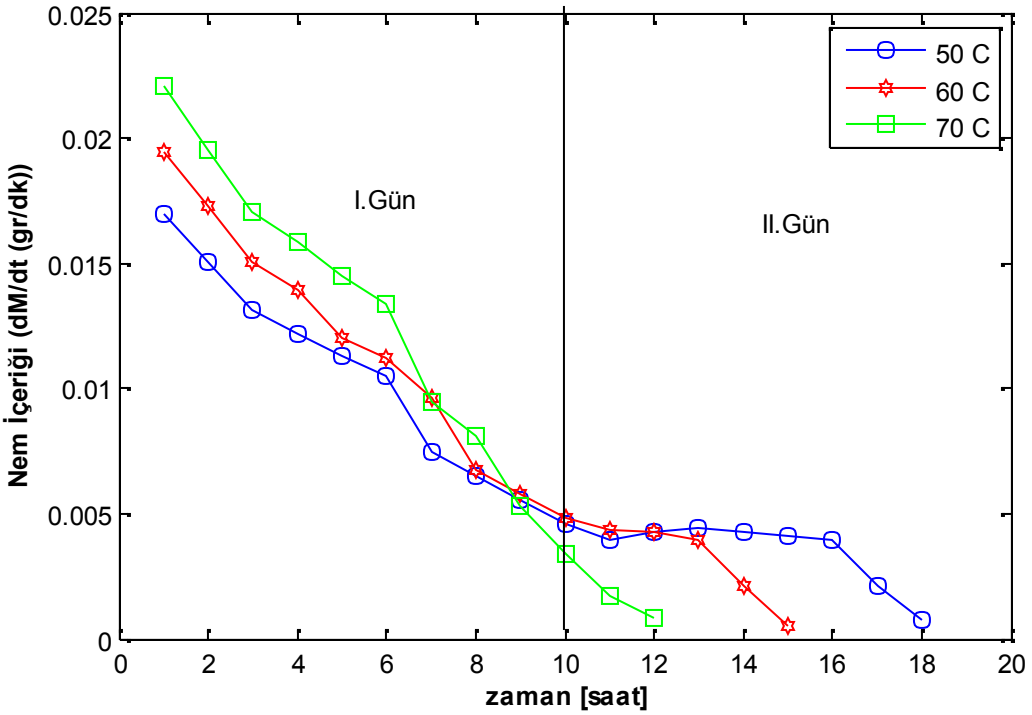
Şekil 5.97. Sabit hızda, farklı sıcaklıklarda 1/8 boyutundaki tuzlu balık için boyutsuz nem oranın kuruma zamanına göre değişimi (v= 3 m/s)



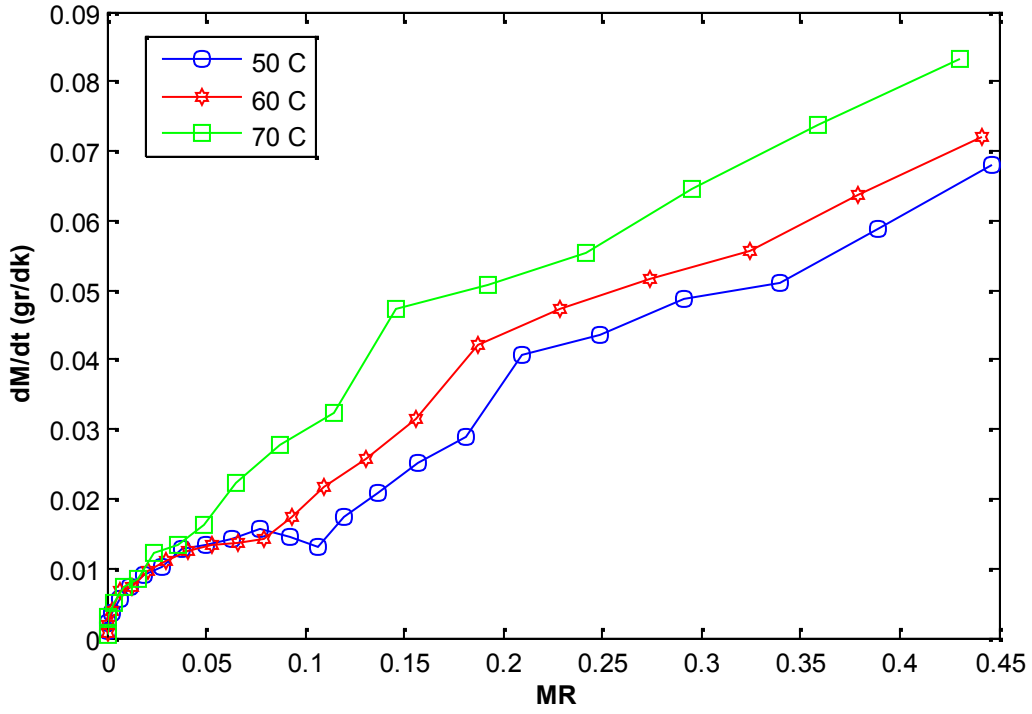
Şekil 5.98 Sabit hızda, farklı sıcaklıklarda 1/2 boyutundaki tuzlu balık için kuruma zamanın kuruma hızına göre değişimi (v= 3 m/s)



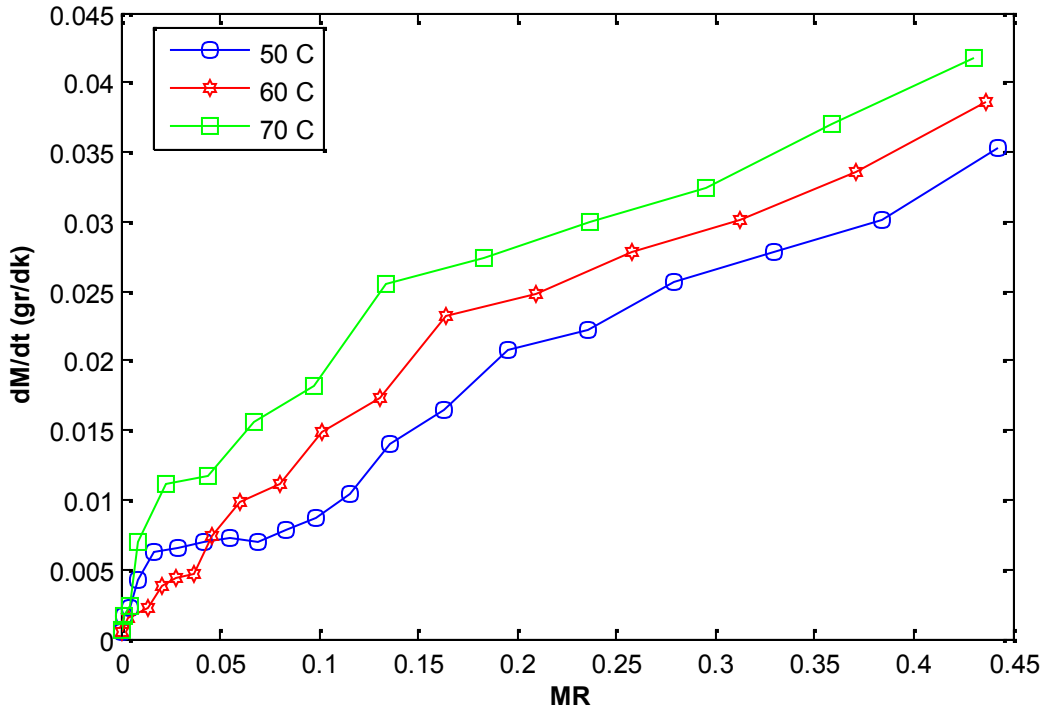
Şekil 5.99 Sabit hızda, farklı sıcaklıklarda 1/4 boyutundaki tuzlu balık için kuruma zamanın kuruma hızına göre değişimi (v= 3 m/s)



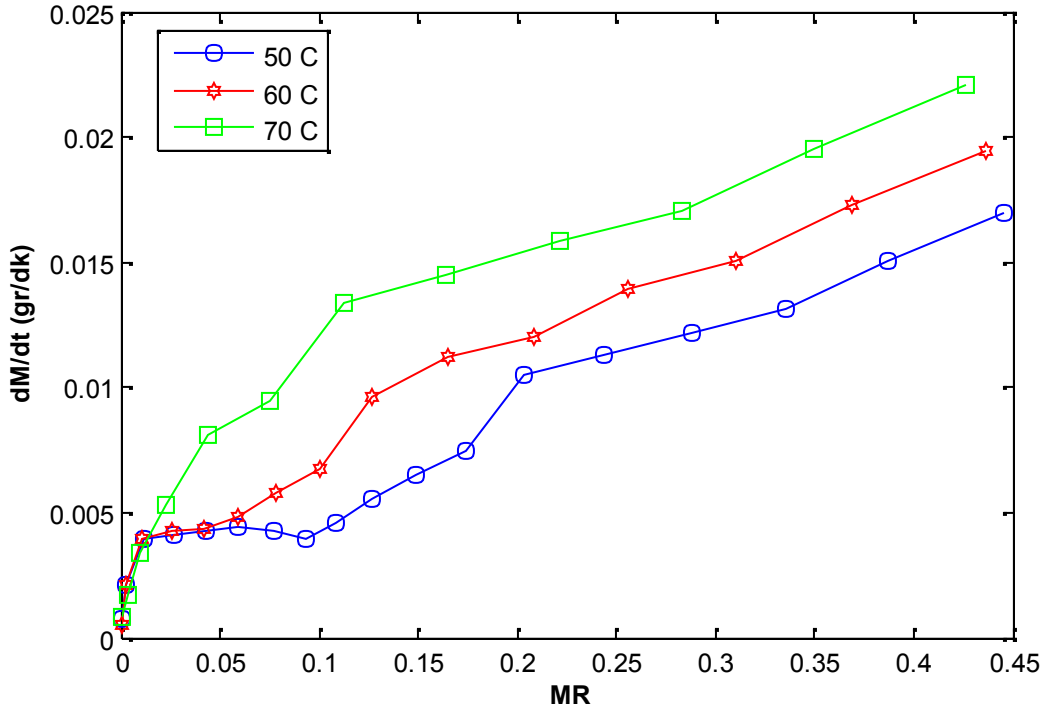
Şekil 5.100 Sabit hızda, farklı sıcaklıklarda 1/8 boyutundaki tuzlu balık için kuruma zamanın kuruma hızına göre değişimi (v= 3 m/s)



Şekil 5.101 Sabit hızda, farklı sıcaklıklarda 1/2 boyutundaki tuzlu balık için kuruma hızının boyutsuz nem oranına göre değişim grafiği (v= 3 m/s)



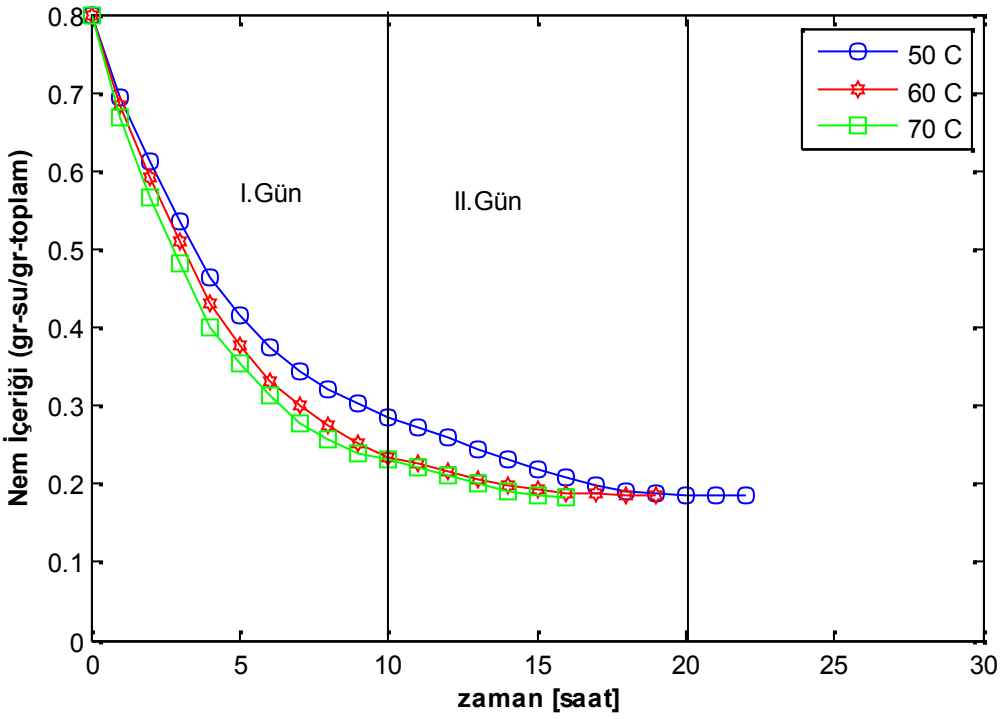
Şekil 5.102 Sabit hızda, farklı sıcaklıklarda 1/4 boyutundaki tuzlu balık için kuruma hızının boyutsuz nem oranına göre değişim grafiği (v= 3 m/s)



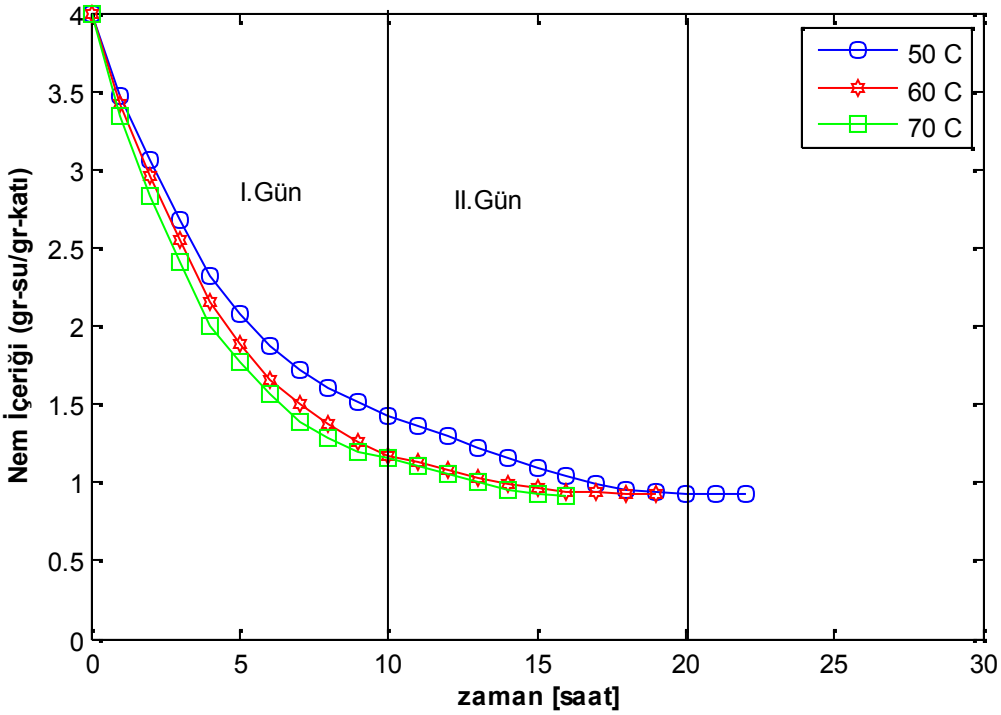
Şekil 5.103 Sabit hızda, farklı sıcaklıklarda 1/8 boyutundaki tuzlu balık için kuruma hızının boyutsuz nem oranına göre değişim grafiği (v= 3 m/s)

Şekil 5.104 ‘de 4 m/s’lik sabit hızda tuzlanmamış ve 60 ^{o}C sıcaklık için farklı boyutlardaki tuzlanmamış balığın yaş baza göre nem içeriğinin kuruma zamanına göre değişim grafiği verilmiştir. Şekil 5.105’ise kuru baza göre nem içeriğinin kuruma zamanına göre değişim grafiği verilmiştir. Yine aynı durum için boyutsuz nem oranının kuruma zamanına göre değişimi şekil 5.106’da verilmiştir. 1/2 boyutundaki balık 1320 dk’da , 1/4 boyutundaki balık 1140 dk’da ve 1/8 boyutundaki balık parçası ise 960 dakikada kuruma işleminin tamalandığı tespit edilmiştir.

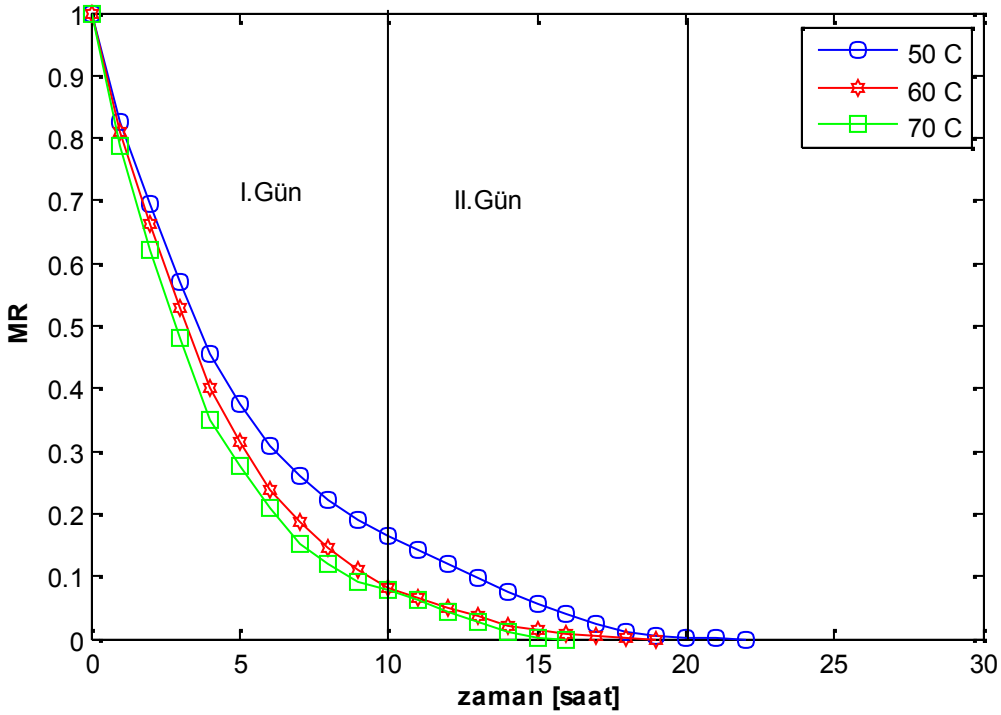
Şekil 5.107’de ise aynı şartlardaki balığın kuruma hızının kuruma zamanına göre değişim grafiği verilmiştir. Kuruma zamanları ½ boyutundaki balık parçasında 0,177 gr/dk, 1/4 boyutundaki balık parçasında 0,0973 gr/dk ve 1/8 boyutundaki parçada ise 0,550 gr/dk olduğu gözlemlenmiştir.



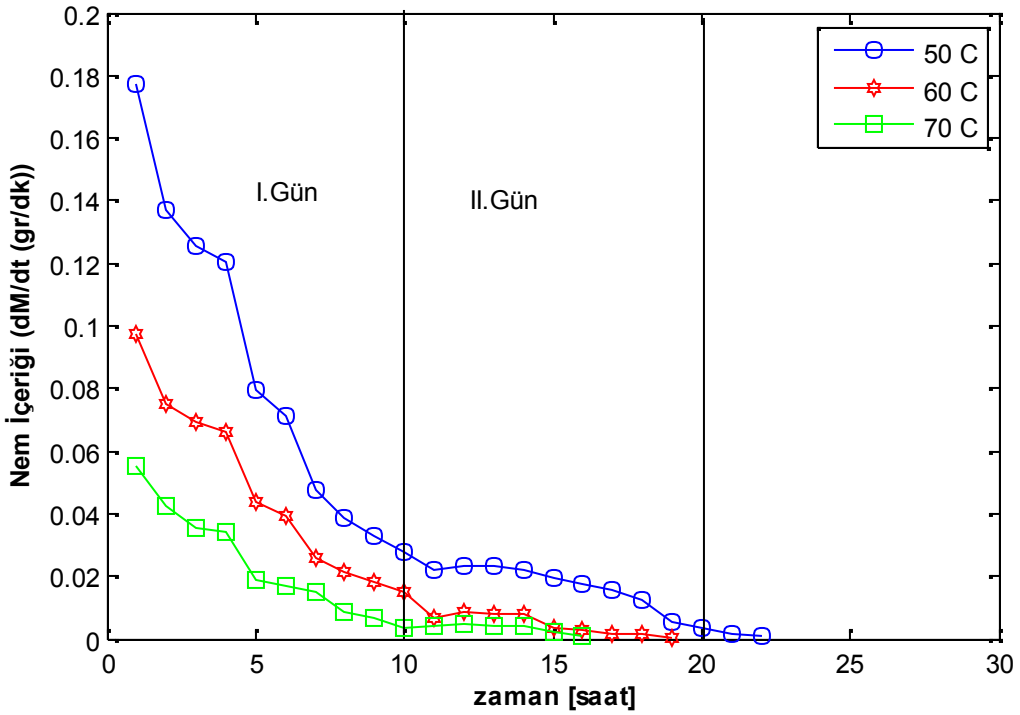
Şekil 5.104 Sabit hızda, farklı sıcaklıklarda 1/2 boyutundaki tuzsuz balık için nem miktarının (y.b) kuruma zamanına göre değişim grafiği (v= 3 m/s)



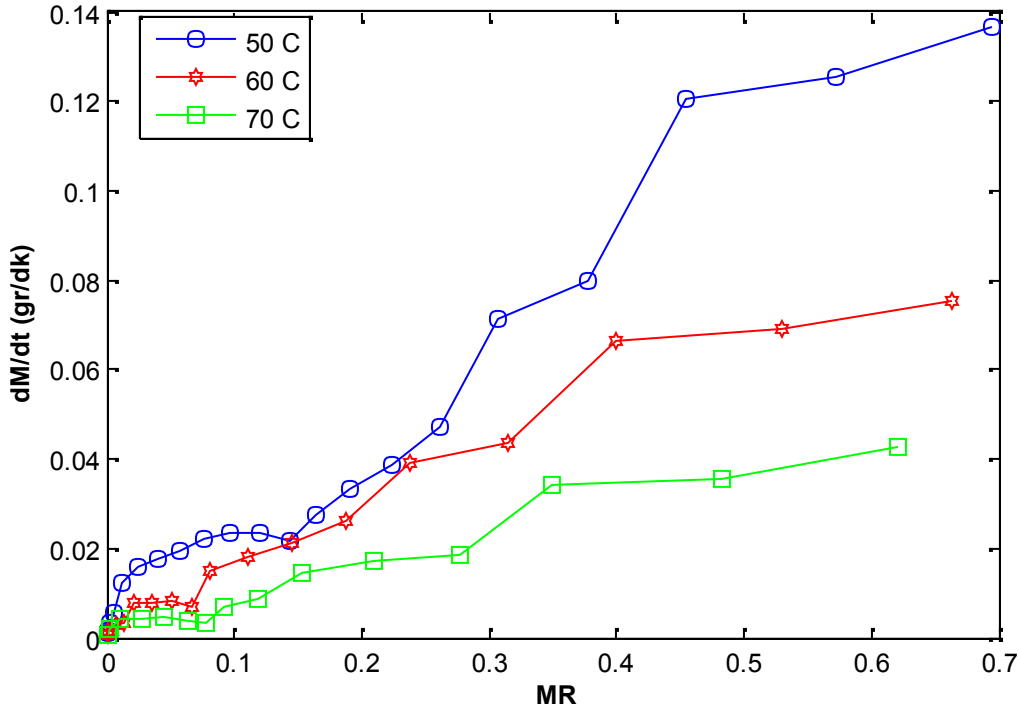
Şekil 5.105. Sabit hızda, farklı sıcaklıklarda 1/2 boyutundaki tuzsuz balık için nem miktarının (k.b) kuruma zamanına göre değişim grafiği (v= 3 m/s)



Şekil 5.106. Sabit hızda, farklı sıcaklıklarda 1/2 boyutundaki tuzsuz balık için boyutsuz nem oranın kuruma zamanına göre değişimi (v= 3 m/s)



Şekil 5.107 Sabit hızda, farklı sıcaklıklarda 1/2 boyutundaki tuzsuz balık için kuruma zamanın kuruma hızına göre değişimi (v= 3 m/s)



Şekil 5.108 Sabit hızda, farklı sıcaklıklarda 1/2 boyutundaki tuzsuz balık için kuruma hızının boyutsuz nem oranına göre değişim grafiği (v= 3 m/s)

Tablo 5.2 Kuruma Süreleri

Boyut	Ortam	Isıtıcı	Tuz	Hız	Sıcaklık	Kuruma Süresi (dk)
1	Kurutucu	Açık	Var	3	50	1920
1	Kurutucu	Açık	Var	3	60	1680
1	Kurutucu	Açık	Var	3	70	1320
1	Kurutucu	Açık	Var	4	50	1800
1	Kurutucu	Açık	Var	4	60	1260
1	Kurutucu	Açık	Var	4	70	1140
1	Kurutucu	Açık	Var	5	50	1560
1	Kurutucu	Açık	Var	5	60	1140
1	Kurutucu	Açık	Var	5	70	960
1	Kurutucu	Açık	Yok	4	50	2160
1	Kurutucu	Açık	Yok	4	60	1560
1	Kurutucu	Açık	Yok	4	70	1320
1/2	Kurutucu	Açık	Yok	4	50	1320
1/4	Kurutucu	Açık	Yok	4	50	1140
1/8	Kurutucu	Açık	Yok	4	50	960
1/2	Kurutucu	Açık	Var	3	50	1380
1/2	Kurutucu	Açık	Var	3	60	1260
1/2	Kurutucu	Açık	Var	3	70	1020
1/4	Kurutucu	Açık	Var	3	50	1200
1/4	Kurutucu	Açık	Var	3	60	1020
1/4	Kurutucu	Açık	Var	3	70	840
1/8	Kurutucu	Açık	Var	3	50	1080
1/8	Kurutucu	Açık	Var	3	60	900
1/8	Kurutucu	Açık	Var	3	70	720

5.3. Elektrik Sarfiyatının Belirlenmesi

Elektrik enerjisi destekli güneş enerjili kurutma sisteminde kurutulacak hava önce kolektör tarafından ısıtılmaktadır. Sonra bu hava kanal içine yerleştirilmiş olan 4 adet ısıtıcıdan geçerek istenilen sıcaklığa yükseltilmesi sağlanmaktadır.

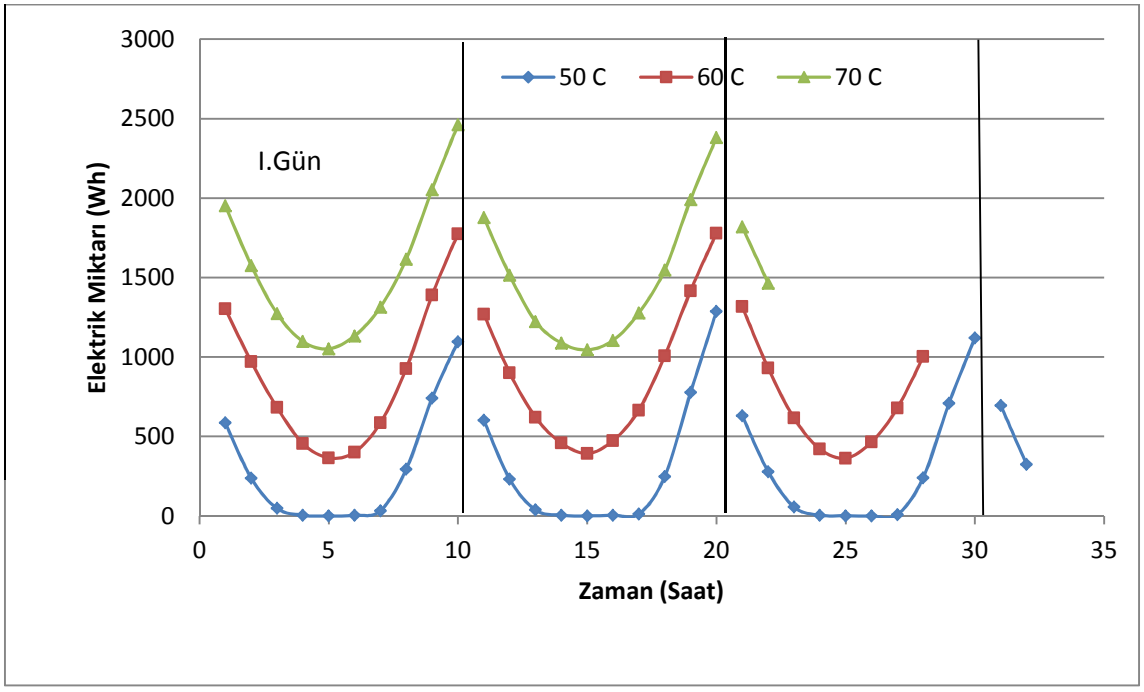
Şekil 5.109'da 3 m/s için elektrik sarfiyatı gösterilmiştir. Elektrik harcama miktarı 50 ^{o}C sıcaklık için saat 12:00'ye kadar azalmaktadır. 14:00'a kadar sarfiyat sıfırdır. Daha sonra sarfiyat tekrardan artmaktadır. Bu zaman dilimi içerisinde kolektörden elde edilen ısı akışkan sıcaklığının 50 ^{o}C civarında olduğu için ısıcılar otomatik olarak devre dışıdır. Saat 14:00'dan sonra ısıtıcılar tekrar devreye girmektedir. Buna bağlı olarakta elektrik enerjisi sarfiyatı zamanla artmaktadır. 60 ve 70 ^{o}C sıcaklıklar için ise ısıtıcı sürekli olarak açık

kalmaktadır. Bu iki durum için saat 12:00-13:00 ‘a kadar azalmaktadır. Sarfiyat bu noktada minimumdur. Daha sonra artış eğilimi göstermektedir. Sarfiyatın maksimim olduğu nokta deneylerin gün içerisinde sonlandırıldığı zaman dilimi olan saat 17:00-18:00’dir.

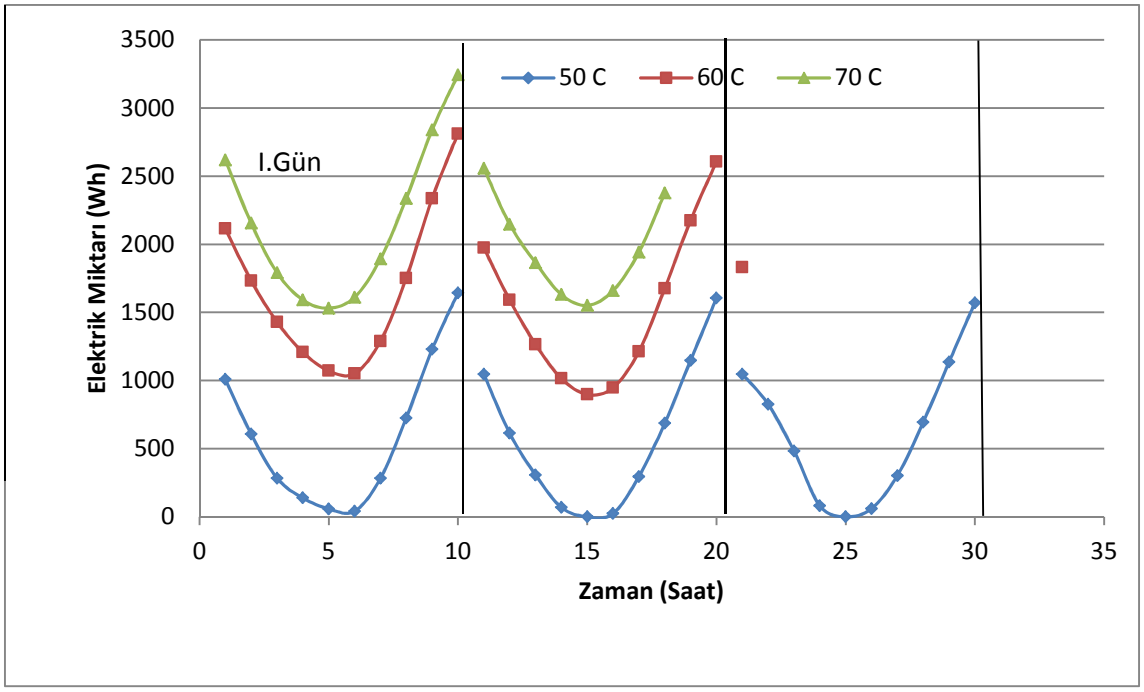
Şekil 5.110’da ise 4 m/s için elektrik sarfiyatı gösterilmiştir. 50 ^{o}C sıcaklık için 12:00-13:00 arasında sarfiyat sıfır olmaktadır. Daha sonra tekrar artış göstermektedir. Diğer sıcaklıklar için ise değişim eğrisi 3 m/s hızdaki gibi değişmektedir.

Şekil 5.111’de ise 5 m/s için elektrik sarfiyatı gösterilmiştir. Bu hızda tüm sıcaklıklar için elektrikli ısıtıcı sürekli açıktır. Eğriler diğer hızlardaki gibi değişmektedir.

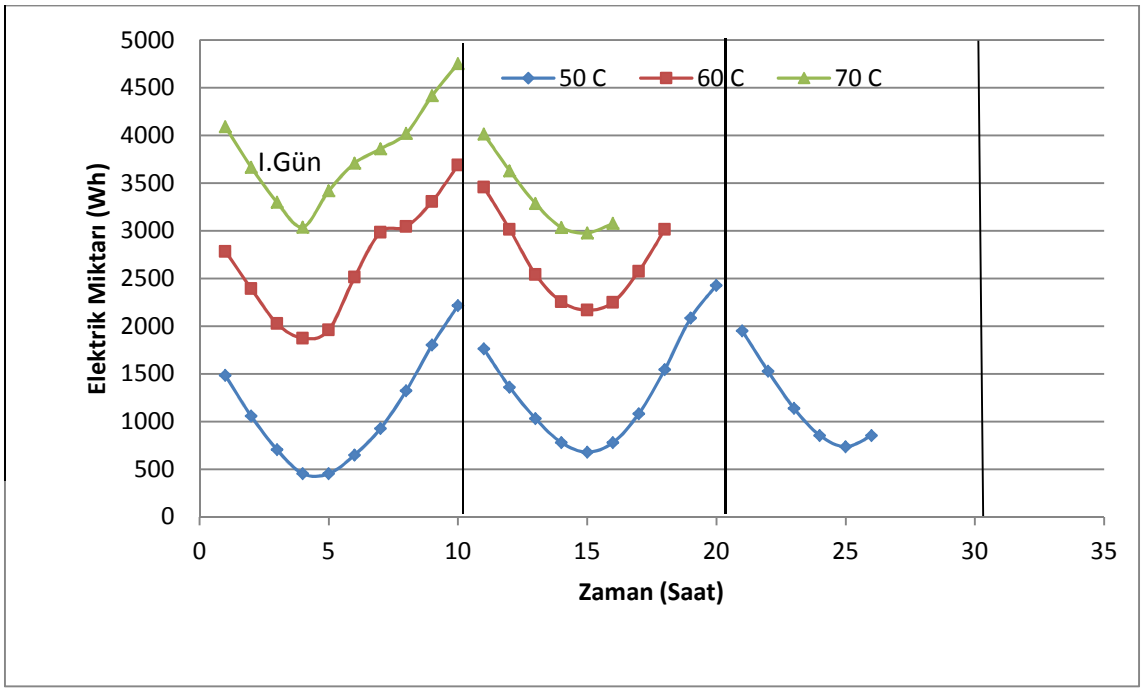
Elektrikli ısıtıcının eğrisinin saat 12:00’a kadar azalması ve saat 13:00’dan sonra artmasının nedeni kolektörden gelen ısıtılmış havanın sıcaklık eğrisinin bunun tersi olarak değişmesidir. Yani bu saatlere kadar kolektörden gelen havanın sıcaklığı zamanla artmakta saat 13:00’dan sonra ise zamanla azalmaktadır. Bu sıcaklığın değişimi ise Q_C (faydalı ısı) ‘nın artış eğiliminin de bu şekilde olmasından kaynaklanmaktadır. Ayrıca elektrik enerjisi sarfiyatındaki değişim, aynı sıcaklık ve hız için aynı olmamaktadır. Bunun nedeni ışınım ve çevre sıcaklıklarının deneylerin yapıldığı günlerde farklılık göstermesidir.



Şekil 5.109 Kullanılan elektrik enerjisinin zamanla değişimi (V=3 m/s)



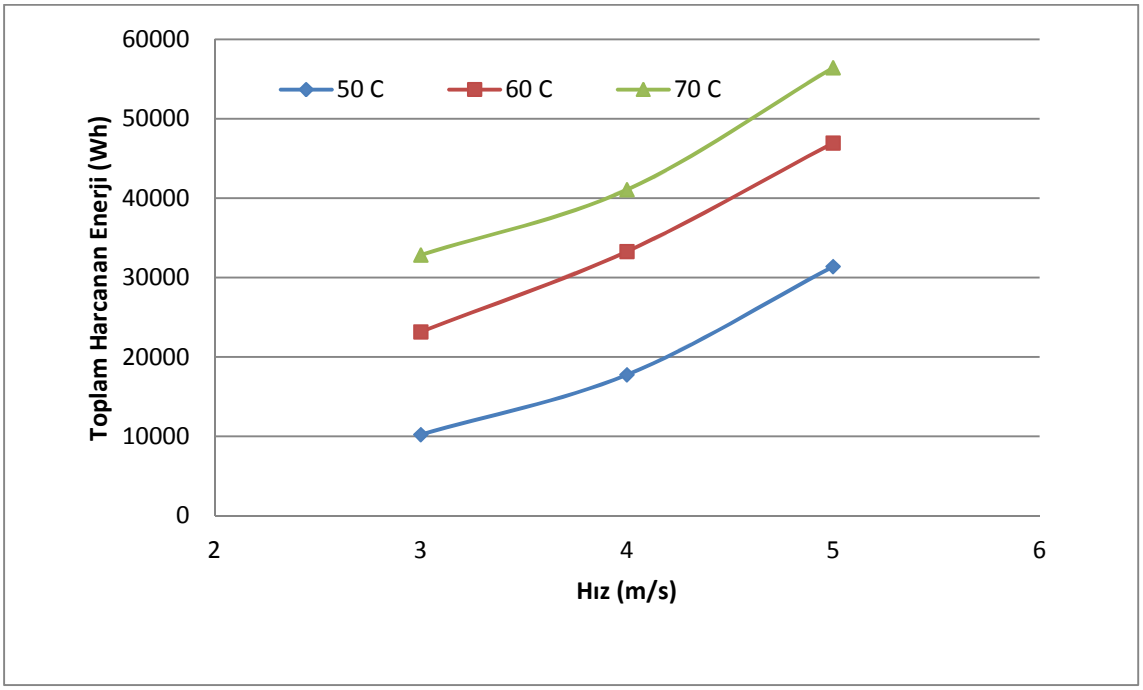
Şekil 5.110 Kullanılan elektrik enerjisinin zamanla değişimi (V=4 m/s)



Şekil 5.111 Kullanılan elektrik enerjisinin zamanla değişimi (V=5 m/s)

Şekil 5.112'de elektrik enerjisinin kullanımının toplam değeri gösterilmiştir. Grafikte de görüleceği gibi elektrik enerjisinin toplamda en az harcandığı durum V=3 m/s

T= 50 ^{o}C'dir. Bu durum için harcanan toplam enerji miktarı 10,22 kWh'tir. En fazla harcanan enerji miktarı ise 5 m/s'lik hızda sıcaklığın 70 ^{o}C'de sabitlendiği durumdur. Burada ise harcanan elektrik miktarı 56,54 kWh'tir.



Şekil 5.112. Toplam harcanan Enerjinin Hız ile değişimi

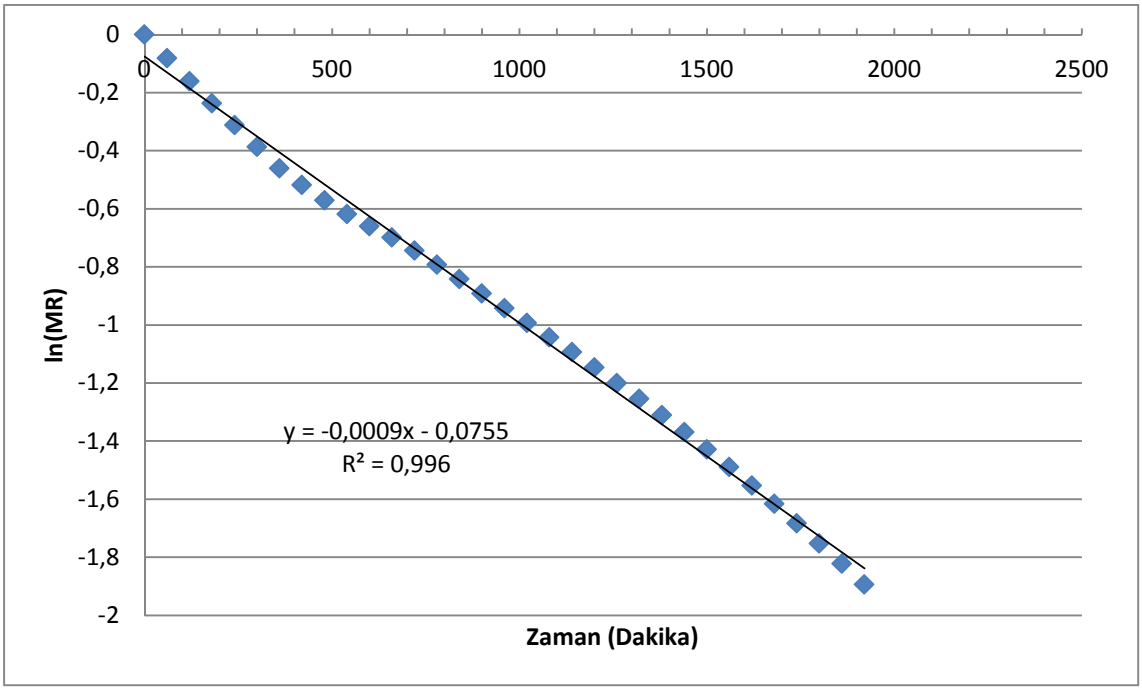
5.4.Difüzyon katsayısının ve Aktivasyon Enerjisinin Belirlenmesi

Difüzyon katsayısını belirlemek için kurutma süresine karşı ln(MR) grafiği çizilir. Bu grafiğin eğimi k_0 olmak üzere [100];

$$k_0 = \frac{\pi^2 D_{eff}}{4L^2} \qquad (5.5)$$

Burada k_o eğim, D_{eff} (m^2/s) etkin difüzyon katsayısı , L (m) ise balığın kalınlığının yarısıdır. Eşitlik (5.5)'in çözülmesi ile difüzyon katsayısı belirlenir.

Şekil 5.113'de açık güneşte kurutulan tuzlanmamış balığın ln(MR) değerinin kuruma süresine bağlı olarak değişim grafiği gösterilmiştir.



Şekil 5.113 ln(MR) –Kuruma süresi değişimi

Tablo 5.3 Diffüzyon katsayıları

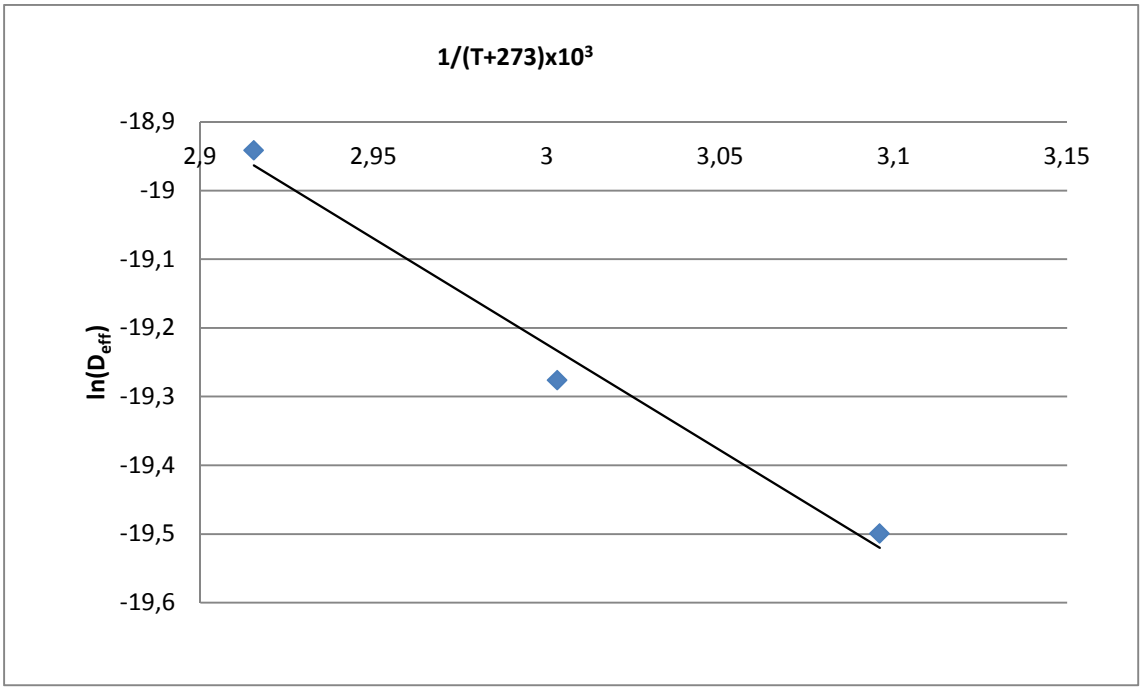
Boyut	Ortam	Isıtıcı	Tuz	Hız	Sıcaklık	Difüzyon Katsayısı (m^2/sn) $x10^{-9}$
1	Açık Ortam	Kapalı	Yok	-	-	1,91
1	Açık Ortam	Kapalı	Var	-	-	2,34
1	Kurutucu	Kapalı	Yok	2	-	3,40
1	Kurutucu	Kapalı	Yok	3	-	3,82
1	Kurutucu	Kapalı	Yok	4	-	4,46
1	Kurutucu	Kapalı	Var	2	-	3,40
1	Kurutucu	Kapalı	Var	3	-	4,03
1	Kurutucu	Kapalı	Var	4	-	4,46
1	Kurutucu	Açık	Var	3	50	3,40
1	Kurutucu	Açık	Var	3	60	4,25
1	Kurutucu	Açık	Var	3	70	5,94
1	Kurutucu	Açık	Var	4	50	4,03
1	Kurutucu	Açık	Var	4	60	5,73
1	Kurutucu	Açık	Var	4	70	7,43
1	Kurutucu	Açık	Var	5	50	4,88
1	Kurutucu	Açık	Var	5	60	7,86
1	Kurutucu	Açık	Var	5	70	15,07
1	Kurutucu	Açık	Yok	4	50	2,97
1	Kurutucu	Açık	Yok	4	60	6,37

Boyut	Ortam	Isıtıcı	Tuz	Hız	Sıcaklık	Difüzyon Katsayısı (m^2/sn) $x10^{-9}$
1	Kurutucu	Açık	Yok	4	70	7,22
1/2	Açık Ortam	Kapalı	Yok	-	-	2,55
1/4	Açık Ortam	Kapalı	Yok	-	-	5,10
1/8	Açık Ortam	Kapalı	Yok	-	-	8,70
1/2	Açık Ortam	Kapalı	Var	-	-	4,03
1/4	Açık Ortam	Kapalı	Var	-	-	6,16
1/8	Açık Ortam	Kapalı	Var	-	-	8,28
1/2	Kurutucu	Kapalı	Yok	-	-	4,25
1/4	Kurutucu	Kapalı	Yok	-	-	5,31
1/8	Kurutucu	Kapalı	Yok	-	-	7,22
1/2	Kurutucu	Kapalı	Var	-	-	5,52
1/4	Kurutucu	Kapalı	Var	-	-	6,58
1/8	Kurutucu	Kapalı	Var	-	-	10,19
1/2	Kurutucu	Açık	Yok	4	50	7,43
1/4	Kurutucu	Açık	Yok	4	50	9,77
1/8	Kurutucu	Açık	Yok	4	50	10,19
1/2	Kurutucu	Açık	Var	3	50	6,37
1/2	Kurutucu	Açık	Var	3	60	7,01
1/2	Kurutucu	Açık	Var	3	70	9,77
1/4	Kurutucu	Açık	Var	3	50	6,79
1/4	Kurutucu	Açık	Var	3	60	9,77
1/4	Kurutucu	Açık	Var	3	70	14,86
1/8	Kurutucu	Açık	Var	3	50	7,22
1/8	Kurutucu	Açık	Var	3	60	9,34
1/8	Kurutucu	Açık	Var	3	70	15,07

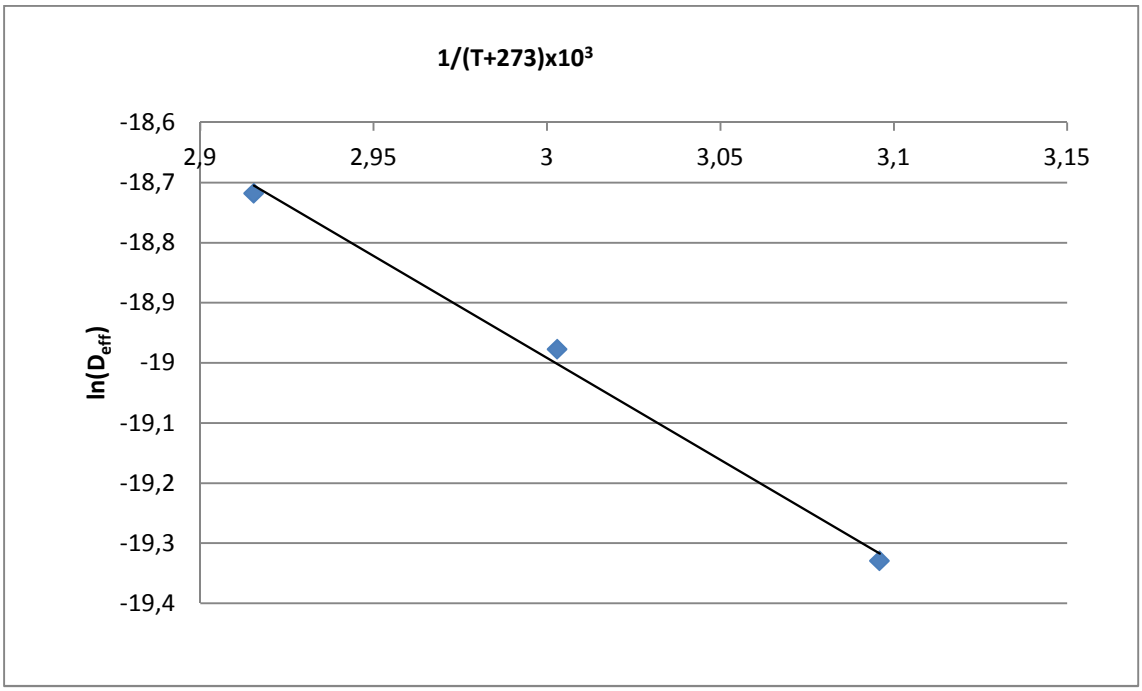
Etkin difüzyon katsayısı ve sıcaklık arasındaki ilişkinin tespit edilmesi için Arrhenius eşitliği kullanılır [100].

$$D_{eff} = D_o \exp\left(-\frac{E_a}{R(T+273{,}15)}\right) \qquad (5.6)$$

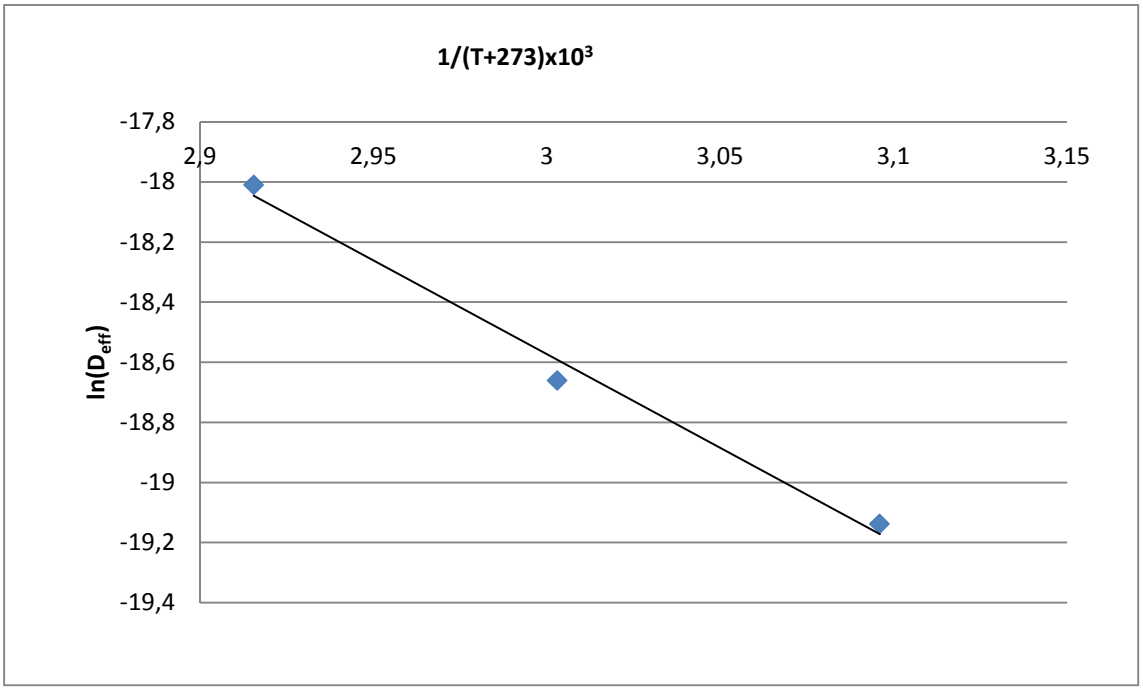
Burada D_0 Arrhenius eşitliği üstel öncesi faktörü (m^2/s), T sıcaklık (^oC), R üniversal gaz sabiti (8,314 kJ/molK), E_a ise aktivasyon enerjisidir. $\ln(D_{eff})$'in (1/T+273,15)' göre grafiği çizilmesiyle Aktivasyon enerjisi hesaplanabilir [100].



Şekil 5.114 ln (D_{eff}) değerinin Sıcaklıkla değişimi (V=3 m/s)



Şekil 5.115 ln (D_{eff}) değerinin Sıcaklıkla değişimi (V=4 m/s)



Şekil 5.116 ln (D_{eff}) değerinin Sıcaklıkla değişimi (V=5 m/s)

Şekil 5.114-116'ün eğimlerine göre Arrhenius eşitliğinin çözümü yapılırsa aşağıdaki denklemler elde edilir.

3 m/s hız için;

$$D_{eff} = 4,66x10^{-5} \exp\left(-\frac{3083,5}{(T+273,15)}\right) \qquad R^2=0,9826$$

4 m/s hız için;

$$D_{eff} = 1,487x10^{-4} \exp\left(-\frac{3393}{(T+273,15)}\right) \qquad R^2=0,9952$$

5 m/s hız için;

$$D_{eff} = 0,878 \exp\left(-\frac{6234,5}{(T+273,15)}\right) \qquad R^2=0,9887$$

Aktivasyon enerjileri 3,4 ve 5 m/s'lik hızlar için sırasıyla; 25,62 kJ/mol, 28,19 kJ/mol ve 51,80 kJ/mol olarak hesaplanmıştır.

5.5. Matematiksel Modelleme

Kurutuma işlemi sonucunda elde edilen nem oranları ile kuruma zamanı arasında değişim eğrileri doğrusal olmayan regresyon analizi ile modellenmiştir. Alibaş [101], yaptığı çalışmada literatürde bulunan 21 farklı model ile eğrilerini modellemiştir. Bu çalışmada da Alibaş'ın çalışmasında kullanmış olduğu 21 model kullanarak eğrilerin modellemesi yapılmıştır.

Eğriler modellendikten sonra en uygun eğrinin belirlenmesinde Eşitlik (5.7) kullanılarak R^2 değeri hesaplanmıştır. Bu değerin yüksek olduğu model, en uygun model olarak kabul edilmiştir.

$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^{N}(M\,\mathrm{R}_{exp,i} - M_{R_{\exp mean,i}})^2 - (M_{R_{pre,i}} M_{R_{\exp,i}})^2}{\sum_{i=1}^{N}(M_{R_{\exp,i}} - M_{R_{\exp mean,i}})^2} \tag{5.7}$$

Eşitlik (5.8) kullanılarak standart hata hesaplanmıştır. Standart hatanın sıfıra yakın veya sıfır olması istenmektedir.

$$SH = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{N}(M_{R_{\exp,i}} - M_{R_{pre,i}})^2}{N-n}} \tag{5.8}$$

Eşitlik (5.9) ile ortalama karesel hata oranı hesaplanmaktadır. Bu değer ise modelin kısa vadeli performansını tanımlamada kullanılmaktadır.

$$E_{RMS} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{N}(M_{R_{pre,i}} - M_{R_{\exp,i}})^2}{N}} \tag{5.9}$$

Eşitlik (5.10) kullanılarak Ki kare değeri hesaplanmıştır. Bu değerin ise mümkün olduğunca küçük olması istenmektedir.

$$\chi^2 = \frac{\sum_{i=1}^{N}(M_{R_{\exp,i}} - M_{R_{\exp,i}})^2}{N-n} \tag{5.10}$$

Tablo 5.4 İnce tabaka kurutma modelleri [100]

Model No	Model İsmi	Model
1	Lewis	$M_R = \exp(-kt)$
2	Page	$M_R = \exp(-kt^n)$
3	Modified Page	$M_R = \exp[-(kt^n)]$
4	Henderson ve Pabis	$M_R = a\exp(-kt)$
5	Logarithmic	$M_R = a\exp(-kt) + c$
6	Two-term	$M_R = a\exp(-k_0 t) + b\exp(-k_1 t)$
7	Two-term exponential	$M_R = a\exp(-kt) + (1-a)\exp(-kat)$
8	Wang ve Singh	$M_R = 1 + at + bt^2$
9	Diffusion approach	$M_R = a\exp(-kt) + (1-a)\exp(-kbt)$
10	Verma ve ark.	$M_R = a\exp(-kt) + (1-a)\exp(-gt)$
11	Modified Henderson & Pabis	$M_R = a\exp(-kt) + b\exp(-gt) + c\exp(-ht)$
12	Midilli ve ark.	$M_R = a\exp(-kt^n) + bt$
13	Weibull distribution	$M_R = a - b\exp[-(kt^n)]$
14	Agbashlo ve ark.	$M_R = \exp(-k_1 t / 1 + k_2 t)$
15	Logistic	$M_R = a_0 / (1 + a\exp(kt))$
16	Demir ve ark.	$M_R = a\exp(-kt)^n + c$
17	Alibas Model	$M_R = a\exp((-kt^n) + (bt)) + g$
18	Jena ve Das	$M_R = a\exp(-kt + b\sqrt{t}) + c$
19	Simlified Fick's diffusion (SFFD) equation	$M_R = a\exp[-c(t/L^2)]$
20	Modified Page equation-II	$M_R = \exp[-k(t/L^2)^n]$
21	Thomson	$t = a.\ln(M_R) + b[\ln(M_R)]^2$

Tablo 5.5. Kurutma modelleri (açık güneş, tuzsuz)

MODEL NO	KATSAYILAR		R^2	RMSE ($x10^{-3}$)	KİKARE ($x10^{-5}$)
1	k=0,062005		0,9898	5,21	2,718
2	k=0,072825	n=0,946825	0,9909	4,63	2,145
3	k= 0,062862	n= 0,946826	0,9909	4,63	2,145
4	a= 0,957175	k= 0,059319	0,9920	4,09	1,675
5	a= 0,983751 k= 0,050619	c= -0,052727	0,9952	2,41	0,58
6	a= 0,478588 ko= 0,059319	b= 0,478588 k1= 0,059319	0,9920	4,09	1,675
7	a= 0,067193	k= 0,861225	0,9928	3,64	1,323
8	a= -0,042882	b= 0,000468	0,9512	24,96	62,279
9	a= 0,067522 k= 0,772972	b= 0,074862	0,9929	3,63	1,321
10	a=0,166662 k=0,060125	g=0,062391	0,9898	5,21	2,718
11	a=0,319057 k=0,059318 b=0,319057	g=0,059318 c=0,319057 h=0,059320	0,9920	4,09	1,675
12	a=1,006311 k=0,103693	n=0,777291 b=-0,001933	0,9989	0,55	0,03
13					
14	k1=0,062141	k2=0,000091	0,9898	5,21	2,717
15	ao=7,768027 a=7,223145	k=0,062839	0,9922	3,99	1,594
16	a=0,983753 k=0,224987	n=0,224987 c=-0,052728	0,9952	2,41	0,58
17	a=-0,013780 k=0,000973 n=2,002153	b=0,126967 g=0,550686	0,6795	164,14	2694,283
18	a=1,147767 k=0,028513	b=-0,086610 c=-0,130322	0,9988	0,6	0,036
19					
20	k=0,000382	n=0,653945	0,9211	40,41	163,28
21					

Tablo 5.6. Kurutma modelleri (V=2 m/s, tuzsuz)

MODEL NO	KATSAYILAR		R^2	RMSE ($x10^{-3}$)	KİKARE ($x10^{-5}$)
1	k=0,101402		0,9934	3,03	0,917
2	k=0,096780	n=1,018407	0,9935	2,98	0,886
3	k= 0,100952	n= 1,018408	0,9935	2,98	0,886
4	a= 0,994960	k= 0,100900	0,9934	3,02	0,91
5	a= 1,018767 k= 0,087160	c= -0,048654	0,9970	1,36	0,185
6	a= 0,497480 k_o= 0,100900	b= 0,497480 k_1= 0,100900	0,9934	3,02	0,91
7	a= 0,00749	k= 13,44324	0,9934	3,01	0,906
8	a= -0,068563	b= 0,001173	0,9662	15,58	24,289
9	a= 0,191786 k= 0,101394	b= 1,000076	0,9934	3,03	0,917
10	a=0,099997 k=0,101402	g=0,101402	0,9934	3,03	0,917
11	a=0,331653 k=0,100900 b=0,331653	g=0,100900 c=0,331653 h=0,100900	0,9934	3,02	0,91
12	a=1,003446 k=0,118949	n=0,896380 b=-0,001876	0,9980	0,9	0,08
13	a=-0,096024 b=-1,10159	k=0,113703 n=0,872667	0,9980	0,84	0,071
14	k_1=0,094764	k_2=-0,004431	0,9945	2,54	0,643
15	a_o=4,782793 a=3,911388	k=0,111624	0,9941	2,73	0,743
16	a=1,018767 k=0,295228	n=0,295228 c=-0,048655	0,9970	1,36	0,185
17	a=0 k=-15,3462 n=0,044580	b=-0,020102 g=1,016566	0,9980	0,9	0,081
18	a=1,083516 k=0,069173	b=-0,057315 c=-0,074964	0,9980	0,9	0,081
19					
20	k=0,000377	n=0,692883	0,9466	24,65	60,751
21					

Tablo 5.7. Kurutma modelleri (V=3 m/s, tuzsuz)

MODEL NO	KATSAYILAR		R^2	RMSE ($x10^{-3}$)	KİKARE ($x10^{-5}$)
1	k=0,114046		0,9936	2,88	0,831
2	k=0,104094	n=1,037737	0,9940	2,69	0,721
3	k= 0,113020	n= 1,037738	0,9940	2,69	0,721
4	a= 1,002114	k= 0,114281	0,9936	2,88	0,83
5	a= 1,024472 k= 0,099424	c= -0,046038	0,9972	1,25	0,155
6	a= 0,501057 k_o= 0,114281	b= 0,501057 k_1= 0,114281	0,9936	2,88	0,83
7	a= 1,423735	k= 0,129520	0,9944	2,52	0,637
8	a= -0,076309	b= 0,001442	0,9687	14,15	20,036
9	a= -81,7909 k= 0,148285	b= 0,996547	0,9945	2,46	0,606
10	a=0,047698 k=0,114046	g=0,114046	0,9936	2,88	0,831
11	a=0,334038 k=0,114281 b=0,334038	g=0,114281 c=0,334038 h=0,114281	0,9936	2,88	0,83
12	a=0,998846 k=0,120987	n=0,939775 b=-0,001635	0,9975	1,1	0,122
13	a=-0,072072 b=-1,07312	k=0,117909 n=0,916762	0,9977	1,02	0,105
14	k_1=0,104518	k_2=-0,006347	0,9953	2,11	0,445
15	a_o=3,915106 a=3,011204	k=0,129726	0,9946	2,44	0,593
16	a=1,024472 k=0,315315	n=0,315315 c=-0,046037	0,9972	1,25	0,155
17	a=0 k=-12,9850 n=0,054565	b=-0,025177 g=1,013252	0,9979	0,93	0,086
18	a=1,065650 k=0,085701	b=-0,042091 c=-0,061535	0,9977	1,03	0,105
19					
20	k=0,000386	n=0,698135	0,9462	24,32	59,149
21					

Tablo 5.8. Kurutma modelleri (V=4 m/s, tuzsuz)

MODEL NO	KATSAYILAR		R^2	RMSE ($x10^{-3}$)	KİKARE ($x10^{-5}$)
1	k=0,126024		0,9900	4,24	1,795
2	k=0,106929	n=1,070798	0,9918	3,6	1,296
3	k= 0,123962	n= 1,070798	0,9918	3,6	1,296
4	a= 1,012117	k= 0,127489	0,9905	4,17	1,739
5	a= 1,043873 k= 0,107099	c= -0,060217	0,9960	1,76	0,309
6	a= 0,506050 k_o= 0,127480	b= 0,506050 k_1= 0,127495	0,9905	4,17	1,739
7	a= 0,999989	k= 0,126024	0,9903	4,24	1,795
8	a= -0,085064	b= 0,001792	0,9762	10,47	10,954
9	a= -187,093 k= 0,174132	b= 0,998074	0,9924	3,32	1,101
10	a=0,283333 k=0,126024	g=0,126024	0,9903	4,24	1,795
11	a=0,337372 k=0,127489 b=0,337372	g=0,127489 c=0,337372 h=0,127489	0,9905	4,17	1,739
12	a=0,997375 k=0,124331	n=0,963242 b=-0,002066	0,9960	1,75	0,307
13	a= b=	k= n=			
14	k_1=0,110641	k_2=-0,010267	0,9939	2,65	0,701
15	a_o=2,916216 a=1,988591	k=0,152306	0,9925	3,29	1,081
16	a=1,043873 k=0,327260	n=0,327260 c=-0,060217	0,9960	1,76	0,309
17	a=-0,000000 k=-12,9733 n=0,057378	b=-0,029853 g=1,009314	0,9969	1,35	0,182
18	a=1,075765 k=0,095538	b=-0,033106 c=-0,073286	0,9962	1,63	0,266
19					
20	k=0,000279	n=0,731555	0,9486	22,58	50,983
21					

Tablo 5.9. Kurutma modelleri (açık ortam, tuzlu)

MODEL NO	KATSAYILAR		R^2	RMSE ($x10^{-3}$)	KİKARE ($x10^{-5}$)
1	k=0,151941		0,1804	110,47	1220,464
2	k=0,516263	n=0,460142	0,6689	44,62	199,116
3	k= 0,237684	n= 0,460142	0,6689	44,62	199,116
4	a= 0,507096	k= 0,065493	0,9832	2,25	0,508
5	a= 0,551292 k= 0,047260	c= -0,067995	0,9934	0,88	0,077
6	a= 0,253548 k_o= 0,065493	b= 0,253548 k_1= 0,065493	0,9832	2,25	0,508
7	a= 0,217065	k= 0,546802	0,3632	85,89	737,68
8	a= ---	b=		25,08	62,924
9	a= 0,497134 k= 4,691022	b= 0,013847	0,7314	36,2	131,053
10	a=0,502877 k=0,064959	g=4,693479	0,7314	36,2	131,053
11	a=0,169032 k=0,065493 b=0,169032	g=0,065493 c=0,169032 h=0,065493	0,9832	2,25	0,508
12	a=0,519600 k=0,102376	n=0,759411 b=-0,002082	0,9965	0,46	0,021
13	a=-0,227478 b=-0,748080	k=0,076134 n=0,732450	0,9967	0,44	0,019
14	k_1=0,356479	k_2=0,114818	0,5230	64,29	413,34
15	a_o=1,178171 a=1,445086	k=0,082102	0,9863	1,84	0,337
16	a=0,551294 k=0,217391	n=0,217391 c=-0,067998	0,9934	0,88	0,077
17	a=-0,002432 k=-3,39802 n=0,149457	b=-0,013539 g=0,528286	0,9966	0,45	0,02
18	a=0,669820 k=0,024235	b=-0,074049 c=-0,145999	0,9967	0,44	0,02
19	----				
20	k=0,007474	n=0,459880	0,6689	44,62	199,116
21					

Tablo 5.10. Kurutma modelleri (V=2 m/s, tuzlu)

MODEL NO	KATSAYILAR		R^2	RMSE ($x10^{-3}$)	KİKARE ($x10^{-5}$)
1	k=0,244871		0,1487	93,02	865,187
2	k=0,612049	n=0,481853	0,5501	49,13	241,34
3	k= 0,361005	n= 0,481853	0,5501	49,13	241,34
4	a= 0,504922	k= 0,105231	0,9928	0,78	0,061
5	a= 0,525231 k= 0,087702	c= -0,034218	0,9967	0,36	0,013
6	a= 0,252461 k_o= 0,105231	b= 0,252461 k_1= 0,105231	0,9928	0,78	0,061
7	a= 0,223339	k= 0,849297	0,3061	75,78	574,195
8	a= ------	b=			
9	a= 0,495678 k= 7,567741	b= 0,013887	0,5912	44,64	199,253
10	a=0,504429 k=0,105128	g=23,35199	0,5912	44,64	199,252
11	a=0,168307 k=0,105231 b=0,168307	g=0,105231 c=0,168307 h=0,105231	0,9928	0,78	0,061
12	a=0,510766 k=0,129751	n=0,853380 b=-0,001758	0,9985	0,15	0,002
13	a=-0,088070 b=-0,599384	k=0,115663 n=0,831740	0,9985	0,16	0,003
14	k_1=0,517936	k_2=0,156264	0,4438	60,74	368,953
15	a_o=2,359574 a=3,771855	k=0,117140	0,9938	0,71	0,05
16	a=0,525231 k=0,296144	n=0,296144 c=-0,034218	0,9967	0,36	0,013
17	a=-0,013719 k=0,219804 n=0	b=0,119466 g=0,257749	0,5632	47,69	227,464
18	a=0,573478 k=0,063137	b=-0,066001 c=-0,061712	0,9981	0,2	0,004
19					
20	k=0,007231	n=0,481886	0,5501	49,13	241,34
21					

Tablo 5.11. Kurutma modelleri (V=3 m/s, tuzlu)

MODEL NO	KATSAYILAR		R^2	RMSE ($x10^{-3}$)	KİKARE ($x10^{-5}$)
1	k=0,285432		0,2361	84,44	713,082
2	k=0,629505	n=0,510744	0,5448	50,32	253,172
3	k= 0,404068	n= 0,510744	0,5448	50,32	253,172
4	a= 0,514428	k= 0,128275	0,9920	0,86	0,074
5	a= 0,533946 k= 0,106579	c= -0,034146	0,9971	0,31	0,01
6	a= 0,257214 k_o= 0,128275	b= 0,257214 k_1= 0,128275	0,9921	0,86	0,074
7	a= 0,224587	k= 0,987738	0,3673	69,94	489,162
8	a=	b=			
9	a= 0,482677 k= 9,669551	b= 0,013339	0,5445	46,23	213,721
10	a=-0,954659 k=0,285432	g=0,285432	0,2361	84,44	713,082
11	a=0,171476 k=0,128275 b=0,171476	g=0,128275 c=0,171476 h=0,128275	0,9921	0,86	0,074
12	a=0,511974 k=0,136317	n=0,916137 b=-0,001527	0,9978	0,24	0,006
13	a=-0,059553 b=-0,572243	k=0,127483 n=0,893270	0,9979	0,23	0,005
14	k_1=0,548321	k_2=0,149639	0,4555	60,18	362,173
15	a_o=1,745925 a=2,495062	k=0,149147	0,9936	0,7	0,049
16	a=0,533946 k=0,326464	n=0,326464 c=-0,034146	0,9971	0,31	0,01
17	a=-0,000000 k=-13,3026 n=0,054282	b=-0,027949 g=0,516504	0,9976	0,26	0,007
18	a=0,560876 k=0,088174	b=-0,048123 c=-0,047809	0,9977	0,24	0,006
19					
20	k=0,005700	n=0,510779	0,5448	50,32	253,172
21					

Tablo 5.12. Kurutma modelleri (V=4 m/s, tuzlu)

MODEL NO	KATSAYILAR		R^2	RMSE ($x10^{-3}$)	KİKARE ($x10^{-5}$)
1	k=0,298878		0,2654	82,18	675,39
2	k=0,629647	n=0,525542	0,5404	51,41	264,329
3	k= 0,414689	n= 0,525542	0,5404	51,41	264,329
4	a= 0,522265	k= 0,138638	0,9901	1,11	0,122
5	a= 0,546344 k= 0,112011	c= -0,040667	0,9966	0,38	0,014
6	a= 0,261133 k_o= 0,138638	b= 0,261133 k_1= 0,138638	0,9901	1,11	0,122
7	a= 0,224198	k= 1,040142	0,3879	68,47	468,805
8	a=	b=			
9	a= -0,948539 k= 0,298878	b= 1	0,2654	82,18	675,39
10	a=-0,369828 k=0,298878	g=0,298878	0,2654	82,18	675,39
11	a=0,174088 k=0,138638 b=0,174088	g=0,138638 c=0,174088 h=0,138638	0,9901	1,11	0,122
12	a=0,516081 k=0,139917	n=0,929284 b=-0,001785	0,9971	0,32	0,01
13	a=-0,064390 b=-0,581147	k=0,130117 n=0,905438	0,9972	0,31	0,01
14	k_1=0,555754	k_2=0,146550	0,4586	60,57	366,815
15	a_o=1,493206 a=1,961609	k=0,166463	0,9972	0,86	0,075
16	a=0,546344 k=0,334681	n=0,334681 c=-0,040667	0,9966	0,38	0,014
17	a=0,442976 k=-0,186570 n=0,000023	b=-0,118543 g=-0,023661	0,9793	2,31	0,532
18	a=0,569950 k=0,095146	b=-0,042078 c=-0,053173	0,9970	0,32	0,011
19					
20	k=0,005011	n=0,524902	0,5404	51,41	264,33
21					

Tablo 5.13. Kurutma modelleri (V=3 m/s, T=50 ^{o}C , tuzlu)

MODEL NO	KATSAYILAR		R^2	RMSE ($x10^{-3}$)	KİKARE ($x10^{-5}$)
1	k=0,236754		0,2198	89,6	802,763
2	k=0,595229	n=0,488283	0,5961	46,38	215,146
3	k= 0,345585	n= 0,488283	0,5961	46,38	215,146
4	a= 0,510828	k= 0,103237	0,9930	0,8	0,064
5	a= 0,527925 k= 0,087347	c= -0,030600	0,9966	0,39	0,015
6	a= 0,255414 k_o= 0,103237	b= 0,255414 k_1= 0,103237	0,9930	0,8	0,064
7	a= 0,223180	k= 0,822116	0,3688	72,49	525,483
8	a=	b=			
9	a= 0,491884 k= 5,321394	b= 0,019299	0,6354	41,87	175,318
10	a=0,508242 k=0,102731	g=5,466261	0,6354	41,87	175,317
11	a=0,170276 k=0,103237 b=0,170276	g=0,103237 c=0,170276 h=0,103237	0,9930	0,8	0,064
12	a=0,519790 k=0,132747	n=0,844089 b=-0,001598	0,9988	0,13	0,002
13	a=-0,082829 b=-0,603220	k=0,119441 n=0,821807	0,9987	0,14	0,002
14	k_1=0,488051	k_2=0,143291	0,4921	58,33	340,194
15	a_o=3,084933 a=5,137700	k=0,111927	0,9934	0,75	0,056
16	a=0,527925 k=0,295546	n=0,295546 c=-0,030601	0,9966	0,39	0,015
17	a=-0,000016 k=-8,57800 n=0,073910	b=-0,020476 g=0,525208	0,9977	0,26	0,007
18	a=0,578885 k=0,061450	b=-0,072631 c=-0,057799	0,9983	0,19	0,004
19					
20	k=0,006639	n=0,488153	0,5961	46,38	215,146
21					

Tablo 5.14. Kurutma modelleri (V=3 m/s, T=60 ^{o}C , tuzlu)

MODEL NO	KATSAYILAR		R^2	RMSE ($x10^{-3}$)	KİKARE ($x10^{-5}$)
1	k=0,284678		0,2853	80,33	645,297
2	k=0,621769	n=0,516133	0,5750	47,76	228,142
3	k= 0,398254	n= 0,516133	0,5750	47,76	228,142
4	a= 0,519291	k= 0,129269	0,9957	0,48	0,023
5	a= 0,531338 k= 0,113438	c= -0,023022	0,9984	0,17	0,003
6	a= 0,259645 k_o= 0,129269	b= 0,259645 k_1= 0,129269	0,9957	0,48	0,023
7	a= 0,224345	k= 0,986867	0,4087	66,45	441,586
8	a=	b=			
9	a= 0,477873 k= 8,878728	b= 0,014638	0,6081	44,15	194,957
10	a=-0,887696 k=0,284678	g=0,284678	0,2853	80,33	645,297
11	a=0,173097 k=0,129269 b=0,173097	g=0,129269 c=0,173097 h=0,129269	0,9957	0,48	0,023
12	a=0,518887 k=0,138668	n=0,928350 b=-0,001090	0,9991	0,1	0,001
13	a=-0,040411 b=-0,559838	k=0,132846 n=0,910342	0,9990	0,11	0,001
14	k_1=0,534520	k_2=0,142737	0,4912	57,18	326,92
15	a_o=2,627919 a=4,155606	k=0,142628	0,9963	0,41	0,017
16	a=0,531338 k=0,336805	n=0,336805 c=-0,023022	0,9984	0,17	0,003
17	a=-0,082669 k=0,002413 n=2,092088	b=0,150297 g=0,470464	0,9181	9,2	8,461
18	a=0,550427 k=0,098701	b=-0,039452 c=-0,031625	0,9988	0,13	0,002
19					
20	k=0,005402	n=0,515385	0,5750	47,76	228,144
21					

Tablo 5.15. Kurutma modelleri (V=3 m/s, T=70 ^{o}C , tuzlu)

MODEL NO	KATSAYILAR		R^2	RMSE ($x10^{-3}$)	KİKARE ($x10^{-5}$)
1	k=0,350126		0,2948	76	577,644
2	k=0,658107	n=0,552115	0,5083	52,99	280,79
3	k= 0,468701	n= 0,552115	0,5083	52,99	280,79
4	a= 0,528544	k= 0,168517	0,9958	0,45	0,02
5	a= 0,543502 k= 0,146070	c= -0,026235	0,9995	0,04	0
6	a= 0,264272 k_o= 0,168517	b= 0,264272 k_1= 0,168517	0,9958	0,45	0,02
7	a= 0,224390	k= 1,224079	0,3974	64,94	421,759
8	a=	b=			
9	a= -0,816050 k= 0,350126	b= 1	0,2948	76	577,644
10	a=-0,568545 k=0,350126	g=0,350126	0,2948	76	577,644
11	a=0,176181 k=0,168517 b=0,176181	g=0,168517 c=0,176181 h=0,168517	0,9958	0,45	0,02
12	a=0,512438 k=0,138730	n=1,054939 b=-0,000775	0,9997	0,03	0
13	a=-0,019865 b=-0,532706	k=0,136702 n=1,041731	0,9997	0,03	0
14	k_1=0,605106	k_2=0,146541	0,4444	59,92	359,049
15	a_o=1,341354 a=1,632802	k=0,209217	0,9986	0,14	0,002
16	a=0,543502 k=0,223675	n=0,653046 c=-0,026235	0,9995	0,04	0
17	a=-0,000000 k=-13,1172 n=0,062489	b=-0,046661 g=0,518961	0,9986	0,15	0,002
18	a=0,533997 k=0,156845	b=0,025593 c=-0,022038	0,9997	0,03	0
19					
20	k=0,004125	n=0,550877	0,5083	52,99	280,794
21					

Tablo 5.16. Kurutma modelleri (V=4 m/s, T=50 ^{o}C , tuzlu)

MODEL NO	KATSAYILAR		R^2	RMSE ($x10^{-3}$)	KİKARE ($x10^{-5}$)
1	k=0,281503		0,2896	77,59	601,998
2	k=0,622641	n=0,511873	0,5848	45,35	205,678
3	k= 0,396297	n= 0,511873	0,5848	45,35	205,678
4	a= 0,514614	k= 0,125539	0,9960	0,43	0,019
5	a= 0,524123 k= 0,112001	c= -0,019347	0,9983	0,18	0,003
6	a= 0,257307 k_o= 0,125539	b= 0,257307 k_1= 0,125539	0,9960	0,43	0,019
7	a= 0,225255	k= 0,968712	0,4129	64,13	411,238
8					
9	a= 0,483912 k= 8,325681	b= 0,015121	0,6129	41,84	175,082
10	a=-0,670546 k=0,281503	g=0,281503	0,2996	77,59	601,998
11	a=0,171538 k=0,125539 b=0,171538	g=0,125539 c=0,171538 h=0,125539	0,9960	0,43	0,019
12	a=0,515786 k=0,136986	n=0,928069 b=-0,000898	0,9989	0,11	0,001
13	a=-0,034686 b=-0,551087	k=0,132439 n=0,910194	0,9989	0,11	0,001
14	k_1=0,527737	k_2=0,140045	0,4937	54,79	300,243
15	a_o=3,162737 a=5,240869	k=0,135934	0,9964	0,39	0,015
16	a=0,524123 k=0,334666	n=0,334666 c=-0,019347	0,9983	0,18	0,003
17	a=-0,000000 k=-12,6945 n=0,055200	b=-0,027333 g=0,522114	0,9979	0,22	0,005
18	a=0,543275 k=0,097237	b=-0,041317 c=-0,027202	0,9987	0,13	0,002
19				0	0
20	k=0,005627	n=0,511145	0,5848	45,35	205,679
21				0	0

Tablo 5.17. Kurutma modelleri (V=4 m/s, T=60 ^{o}C , tuzlu)

MODEL NO	KATSAYILAR		R^2	RMSE ($x10^{-3}$)	KİKARE ($x10^{-5}$)
1	k=0,340557		0,2925	77,91	606,999
2	k=0,644831	n=0,556923	0,5054	54,46	296,609
3	k= 0,454825	n= 0,556923	0,5054	54,46	296,609
4	a= 0,533434	k= 0,166981	0,9922	0,85	0,072
5	a= 0,559180 k= 0,135330	c= -0,041487	0,9992	0,08	0,001
6	a= 0,266717 k_o= 0,166981	b= 0,266717 k_1= 0,166981	0,9922	0,85	0,072
7	a= 0,222071	k= 1,208735	0,3976	66,34	440,056
8	a=	b=			
9	a= -0,701794 k= 0,340557	b= 1	0,2925	77,91	606,999
10	a=-0,553190 k=0,340557	g=0,340557	0,2925	77,91	606,999
11	a=0,177811 k=0,166981 b=0,177811	g=0,166981 c=0,177811 h=0,166981	0,9922	0,85	0,072
12	a=0,513791 k=0,132724	n=1,051764 b=-0,001331	0,9992	0,08	0,001
13	a=-0,035308 b=-0,549735	k=0,129069 n=1,031446	0,9993	0,07	0,001
14	k_1=0,591036	k_2=0,143708	0,4388	61,79	381,797
15	a_o=1,099171 a=1,162553	k=0,219779	0,9970	0,32	0,01
16	a=0,559180 k=0,367873	n=0,367873 c=-0,041487	0,9992	0,08	0,001
17	a=0,549910 k=-0,887392 n=0,995192	b=-1,01626 g=-0,035504	0,9993	0,07	0,001
18	a=0,552084 k=0,142219	b=0,015955 c=-0,037875	0,9993	0,08	0,001
19					
20	k=0,003890	n=0,555150	0,5054	54,46	296,617
21					

Tablo 5.18. Kurutma modelleri (V=4 m/s, T=70 ^{o}C , tuzlu)

MODEL NO	KATSAYILAR		R^2	RMSE ($x10^{-3}$)	KİKARE ($x10^{-5}$)
1	k=0,410106		0,3027	56,42	318,351
2	k=0,685202	n=0,591222	0,4564	43,97	193,376
3	k= 0,527596	n= 0,591222	0,4564	43,97	193,376
4	a= 0,536934	k= 0,208303	0,9915	0,68	0,046
5	a= 0,559589 k= 0,173195	c= -0,035981	0,9982	0,14	0,002
6	a= 0,268467 k_o= 0,208303	b= 0,268467 k_1= 0,208303	0,9915	0,68	0,046
7	a= 0,224582	k= 1,443481	0,3871	49,59	245,961
8	a=	b=		11,83	14,002
9	a= -0,535135 k= 0,410106	b= 1	0,3027	56,42	318,351
10	a=-0,884442 k=0,410106	g=0,410106	0,3027	56,42	318,351
11	a=0,178978 k=0,208303 b=0,178978	g=0,208303 c=0,178978 h=0,208303	0,9915	0,68	0,046
12	a=0,508390 k=0,138724	n=1,171556 b=-0,000729	0,9996	0,03	0
13	a=-0,014735 b=-0,523629	k=0,138186 n=1,156720	0,9997	0,02	0
14	k_1=0,655617	k_2=0,141353	0,4063	48,04	230,79
15	a_o=0,914432 a=0,802453	k=0,297539	0,9991	0,06	0
16	a=0,559589 k=0,416166	n=0,416166 c=-0,035981	0,9982	0,14	0,002
17	a=-0,066989 k=-1,06788 n=0,539333	b=-0,162156 g=0,588327	0,9980	0,16	0,003
18	a=0,533787 k=0,210540	b=0,080294 c=-0,024105	0,9993	0,05	0
19				0	0
20	k=0,003016	n=0,589550	0,4565	43,98	193,384
21				0	0

Tablo 5.19. Kurutma modelleri (V=5 m/s, T=50 ^{o}C , tuzlu)

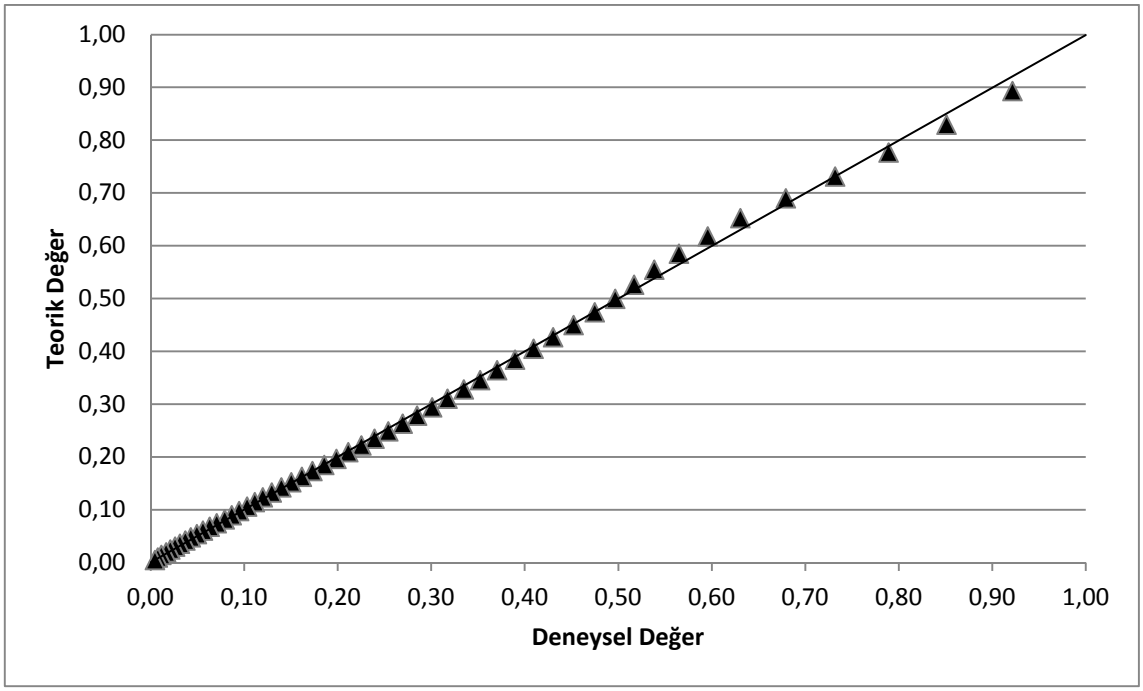
MODEL NO	KATSAYILAR		R^2	RMSE ($x10^{-3}$)	KİKARE ($x10^{-5}$)
1	k=0,322841		0,2863	69,46	482,43
2	k=0,654302	n=0,523429	0,5487	43,92	192,877
3	k= 0,444681	n= 0,523429	0,5487	43,92	192,877
4	a= 0,517838	k= 0,146233	0,9967	0,32	0,01
5	a= 0,525648 k= 0,133152	c= -0,015817	0,9983	0,17	0,003
6	a= 0,258919 k_o= 0,146233	b= 0,258919 k_1= 0,146233	0,9967	0,32	0,01
7	a= 0,228378	k= 1,094106	0,3997	58,42	341,326
8					
9	a= 0,479329 k= 8,479555	b= 0,017339	0,5746	41,4	171,401
10	a=-0,587368 k=0,322842	g=0,322841	0,2863	69,46	482,43
11	a=0,172613 k=0,146233 b=0,172613	g=0,146233 c=0,172613 h=0,146233	0,9967	0,32	0,01
12	a=0,518900 k=0,156884	n=0,935930 b=-0,000891	0,9988	0,11	0,001
13	a=-0,028581 b=-0,547819	k=0,152027 n=0,921876	0,9987	0,12	0,001
14	k_1=0,585217	k_2=0,150953	0,4757	51,03	260,365
15	a_o=4,353036 a=7,494187	k=0,154993	0,9969	0,3	0,009
16	a=0,525648 k=0,364900	n=0,364900 c=-0,015817	0,9983	0,17	0,003
17	a=-0,000001 k=-12,0729 n=0,058294	b=-0,032240 g=0,524610	0,9970	0,29	0,008
18	a=0,539688 k=0,119315	b=-0,035173 c=-0,021749	0,9985	0,14	0,002
19				0	0
20	k=0,005297	n=0,523017	0,5487	43,92	192,878
21				0	0

Tablo 5.20. Kurutma modelleri (V=5 m/s, T=60 ^{o}C , tuzlu)

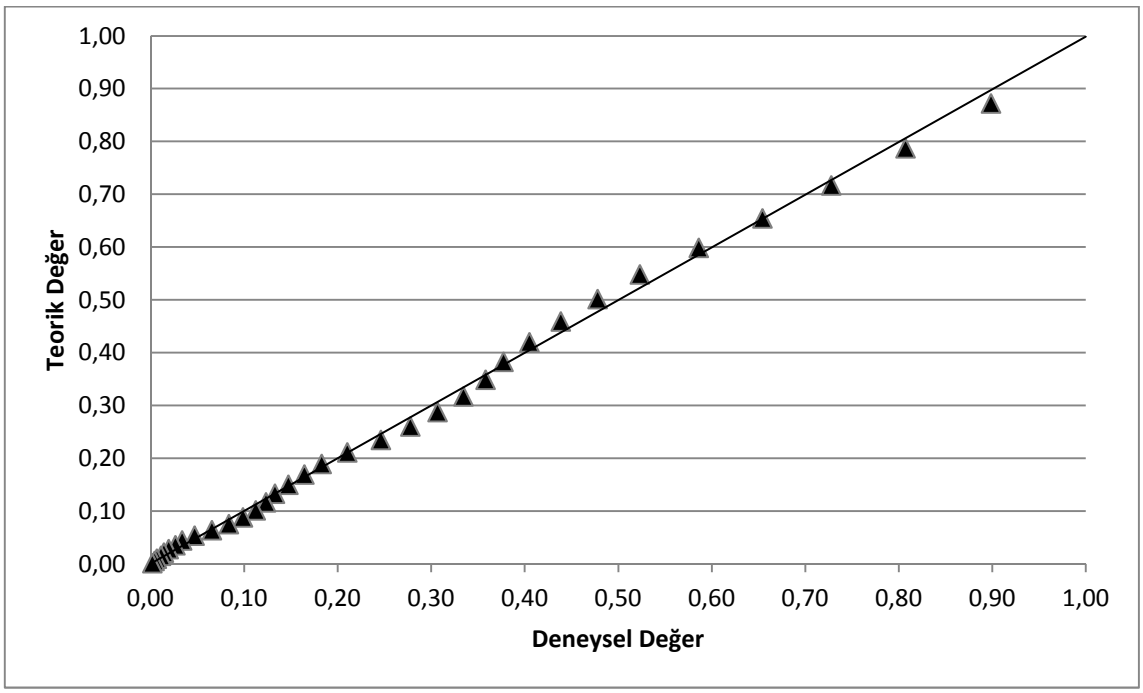
MODEL NO	KATSAYILAR		R^2	RMSE ($x10^{-3}$)	KİKARE ($x10^{-5}$)
1	k=0,440095		0,3171	54,29	294,78
2	k=0,710003	n=0,595291	0,4582	43,08	185,556
3	k= 0,562523	n= 0,595291	0,4582	43,08	185,556
4	a= 0,535769	k= 0,222969	0,9939	0,48	0,023
5	a= 0,551650 k= 0,193326	c= -0,026470	0,9985	0,12	0,001
6	a= 0,267885 k_o= 0,222969	b= 0,267885 k_1= 0,222969	0,9939	0,48	0,023
7	a= 0,229455	k= 1,507746	0,3948	48,11	231,495
8	a=	b=		8,65	7,477
9	a= -0,573058 k= 0,440096	b= 1	0,3171	54,29	294,78
10	a=-2,90387 k=0,440096	g=0,440096	0,3171	54,29	294,78
11	a=0,178590 k=0,222969 b=0,178590	g=0,222969 c=0,178590 h=0,222969	0,9939	0,48	0,023
12	a=0,511444 k=0,158732	n=1,151240 b=-0,000545	0,9997	0,02	0
13	a=-0,010678 b=-0,522543	k=0,158323 n=1,139083	0,9998	0,02	0
14	k_1=0,689524	k_2=0,144048	0,4134	46,63	217,481
15	a_o=1,017210 a=0,991577	k=0,304650	0,9994	0,04	0
16	a=0,551650 k=0,468715	n=0,412460 c=-0,026469	0,9985	0,12	0,001
17	a=-0,115671 k=0,208048 n=0	b=0,090693 g=0,381980	0,6147	30,63	93,829
18	a=0,529844 k=0,230916	b=0,079752 c=-0,017381	0,9994	0,04	0
19				0	0
20	k=0,003046	n=0,592251	0,4582	43,08	185,566
21				0	0

Tablo 5.21. Kurutma modelleri (V=5 m/s, T=70 ^{o}C , tuzlu)

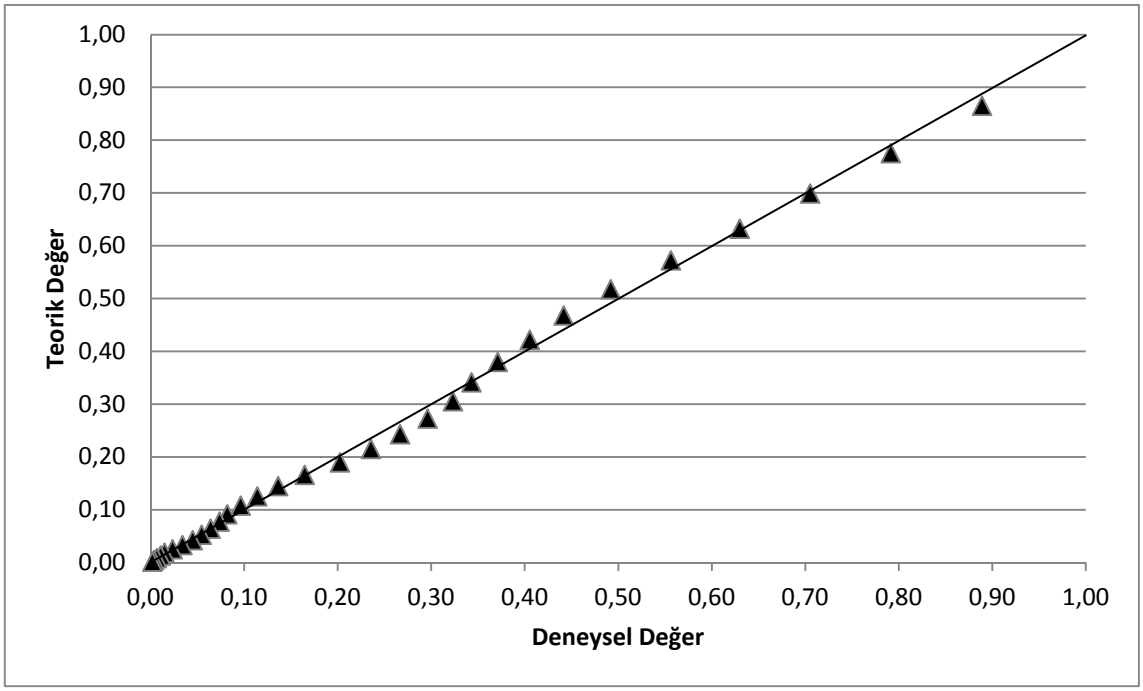
MODEL NO	KATSAYILAR		R^2	RMSE ($x10^{-3}$)	KİKARE ($x10^{-5}$)
1	k=0,498251		0,3287	70,47	496,627
2	k=0,736417	n=0,632878	0,4682	59,99	359,826
3	k= 0,616658	n= 0,632878	0,4682	59,99	359,826
4	a= 0,540737	k= 0,263058	0,9887	1,18	0,139
5	a= 0,560552 k= 0,223817	c= -0,030920	0,9955	0,47	0,022
6	a= 0,270369 k_o= 0,263058	b= 0,270369 k_1= 0,263058	0,9887	1,18	0,139
7	a= 0,230720	k= 1,706683	0,3910	63,93	408,665
8	a=	b=			
9	a= -0,405636 k= 0,498251	b= 1	0,3287	70,47	496,627
10	a=-0,920010 k=0,498251	g=0,498251	0,3287	70,47	496,627
11	a=0,180246 k=0,263058 b=0,180246	g=0,263058 c=0,180246 h=0,263058	0,9887	1,18	0,139
12	a=0,508079 k=0,161894	n=1,250815 b=-0,000523	0,9989	0,11	0,001
13	a=-0,009098 b=-0,517755	k=0,162465 n=1,235100	0,9990	0,1	0,001
14	k_1=0,728553	k_2=0,132786	0,3937	63,65	405,145
15	a_o=0,815057 a=0,604147	k=0,402097	0,9989	0,11	0,001
16	a=0,560552 k=0,323501	n=0,691863 c=-0,030919	0,9955	0,47	0,022
17	a=-0,179460 k=-0,806024 n=0,746850	b=-0,315460 g=0,702297	0,9978	0,23	0,005
18	a=0,529659 k=0,290609	b=0,133564 c=-0,018466	0,9979	0,21	0,005
19					
20	k=0,002174	n=0,632454	0,4286	59,99	359,827
21					



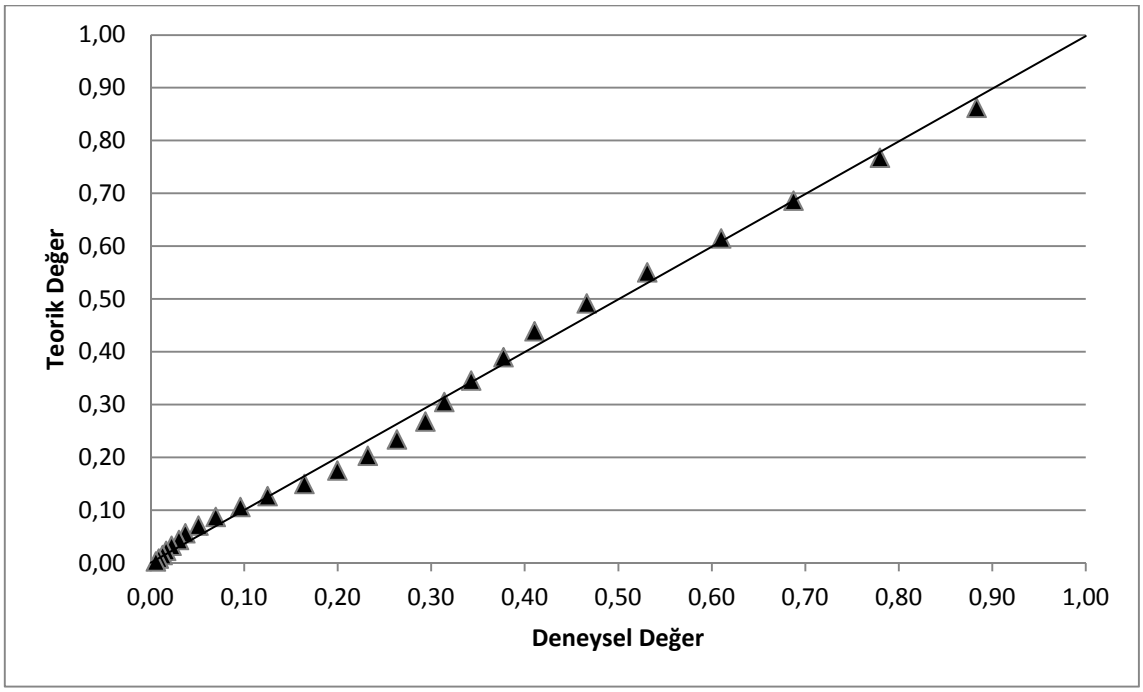
Şekil 5.117. Teorik değerin deneysel değerle değişimi (açık güneş, tuzsuz, model no:12)



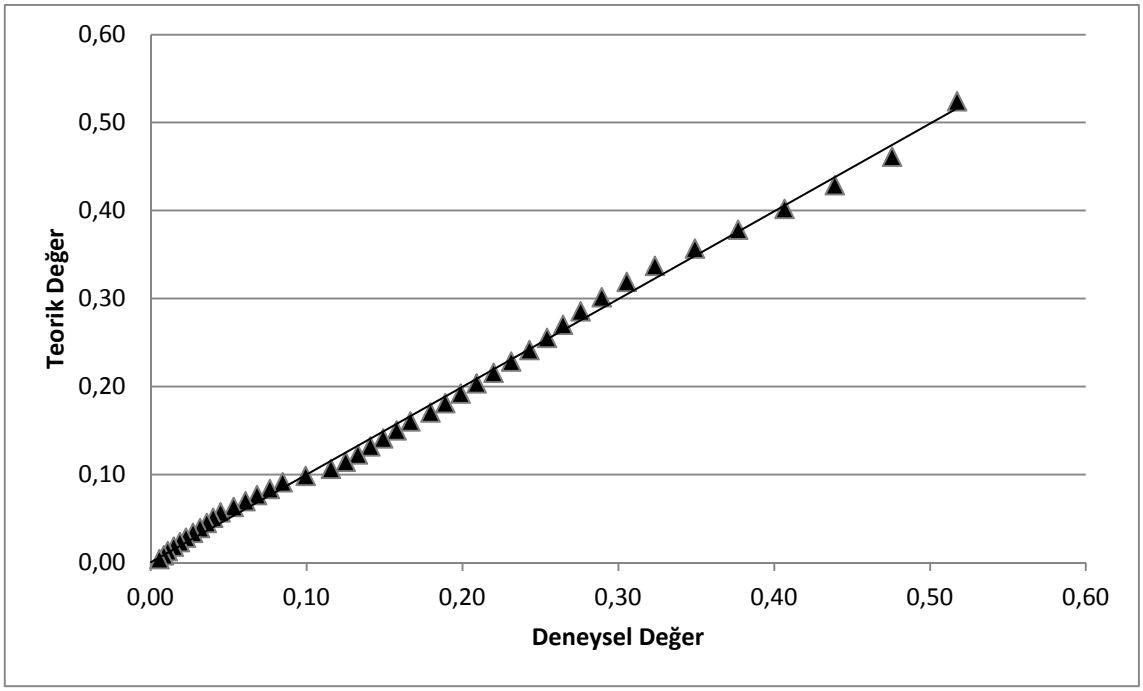
Şekil 5.118. Teorik değerin deneysel değerle değişimi (V=2 m/s, tuzsuz, model no:13)



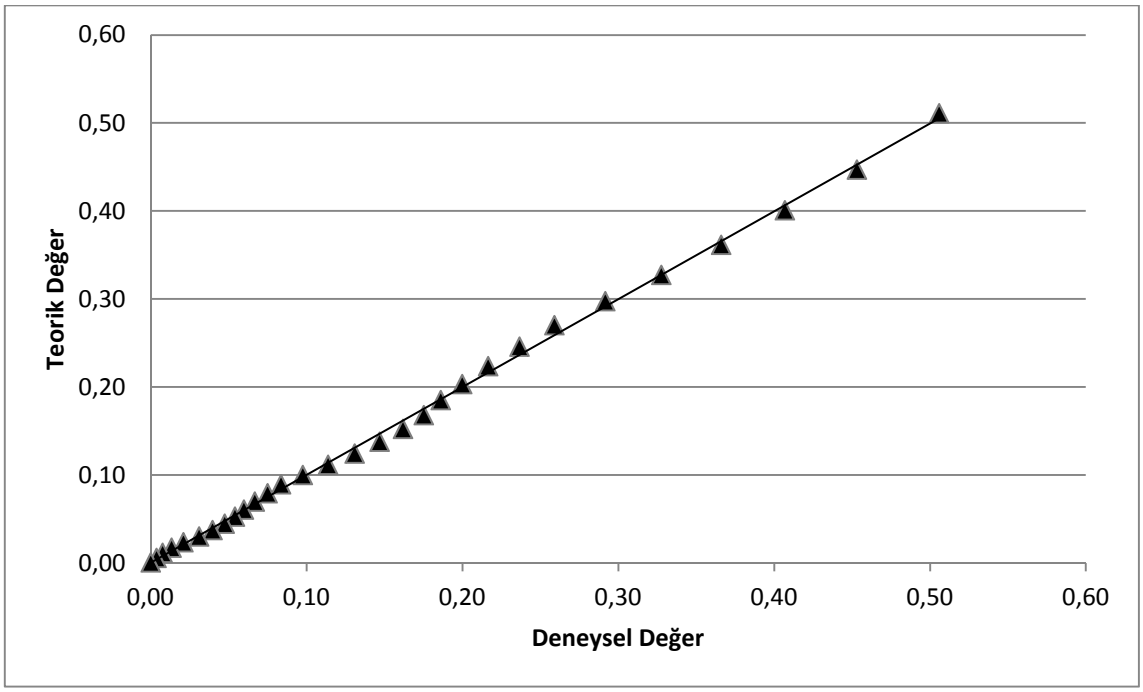
Şekil 5.119. Teorik değerin deneysel değerle değişimi (V=3 m/s, tuzsuz, model no:13)



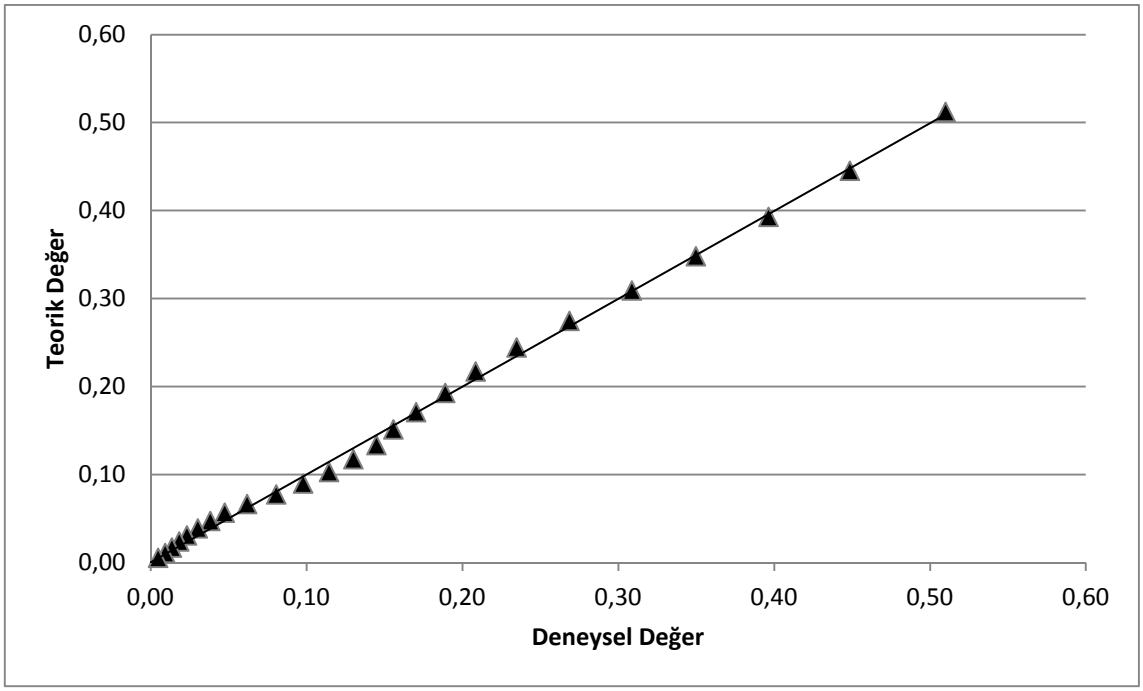
Şekil 5.120. Teorik değerin deneysel değerle değişimi (V=4 m/s, tuzsuz, model no:12)



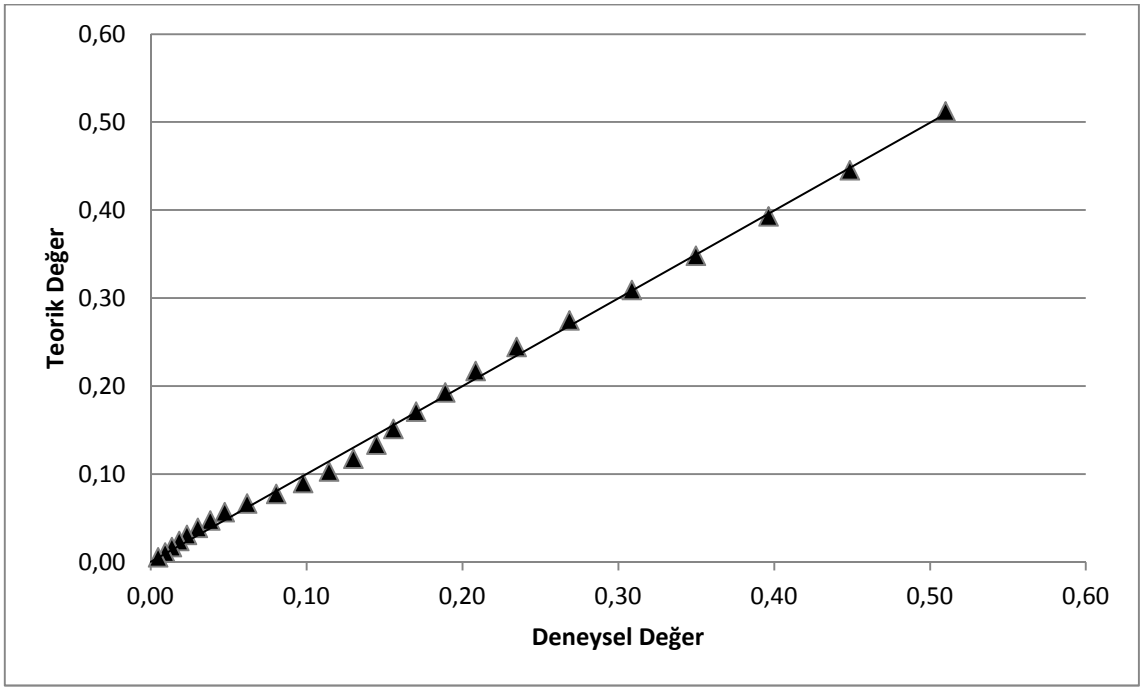
Şekil 5.121. Teorik değerin deneysel değerle değişimi (açık ortam, tuzlu, model no:14)



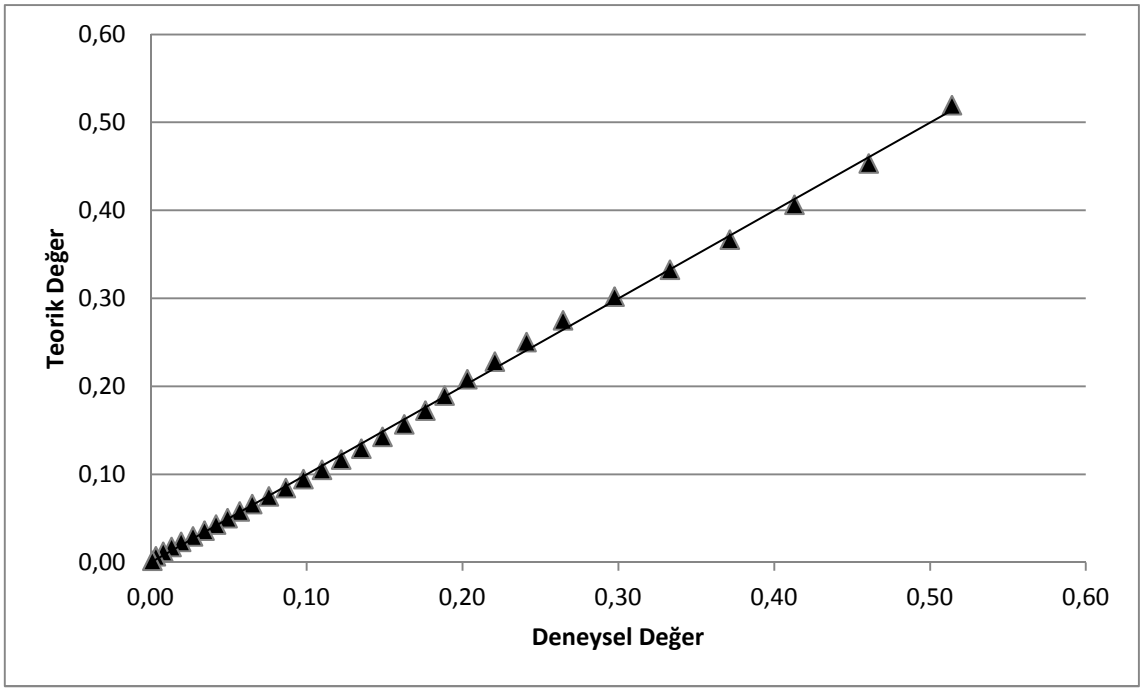
Şekil 5.122. Teorik değerin deneysel değerle değişimi (V=2 m/s, tuzlu, model no:10)



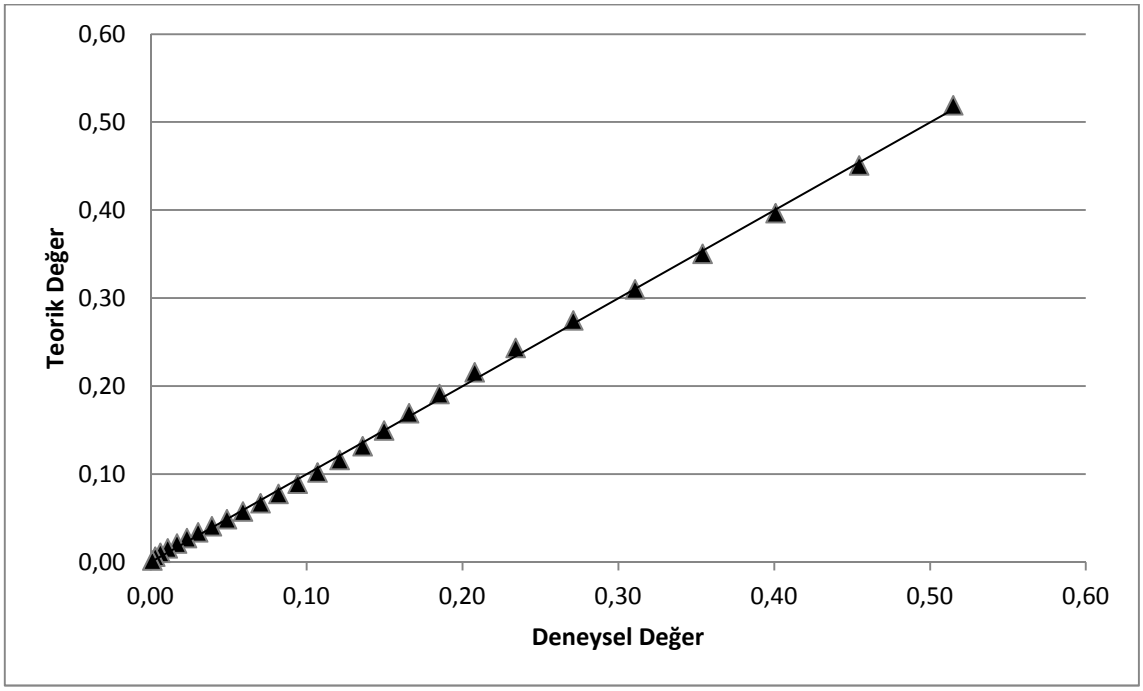
Şekil 5.123. Teorik değerin deneysel değerle değişimi (V=3 m/s, tuzlu,, model no:12)



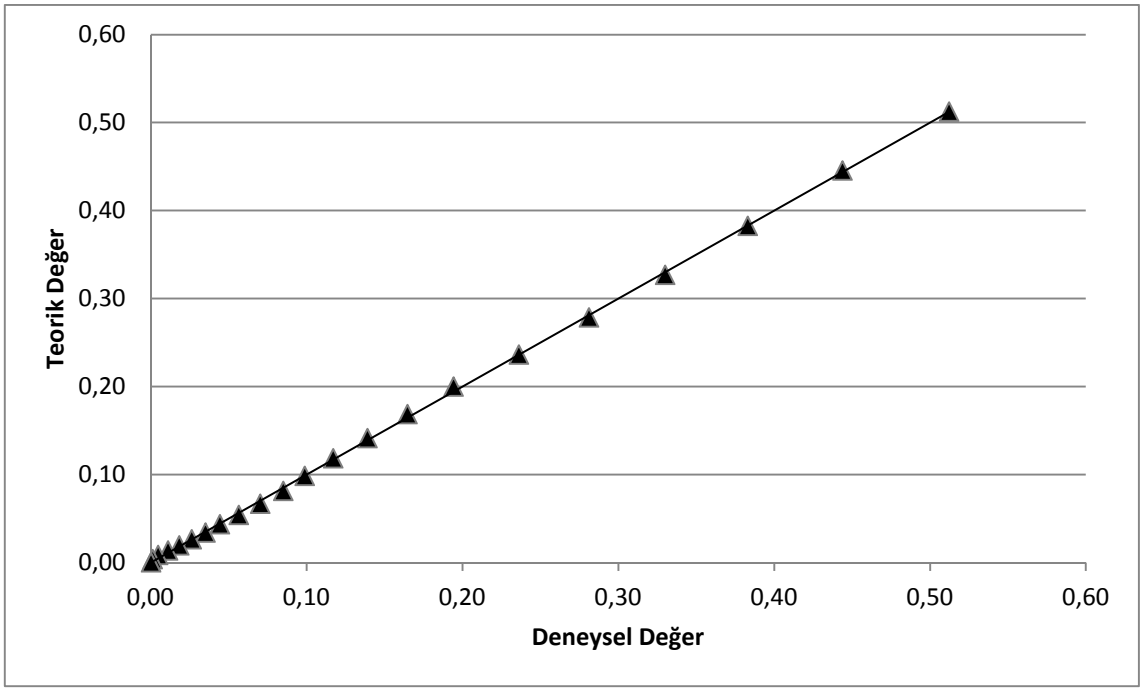
Şekil 5.124. Teorik değerin deneysel değerle değişimi (V=4 m/s, tuzlu, model no:11)



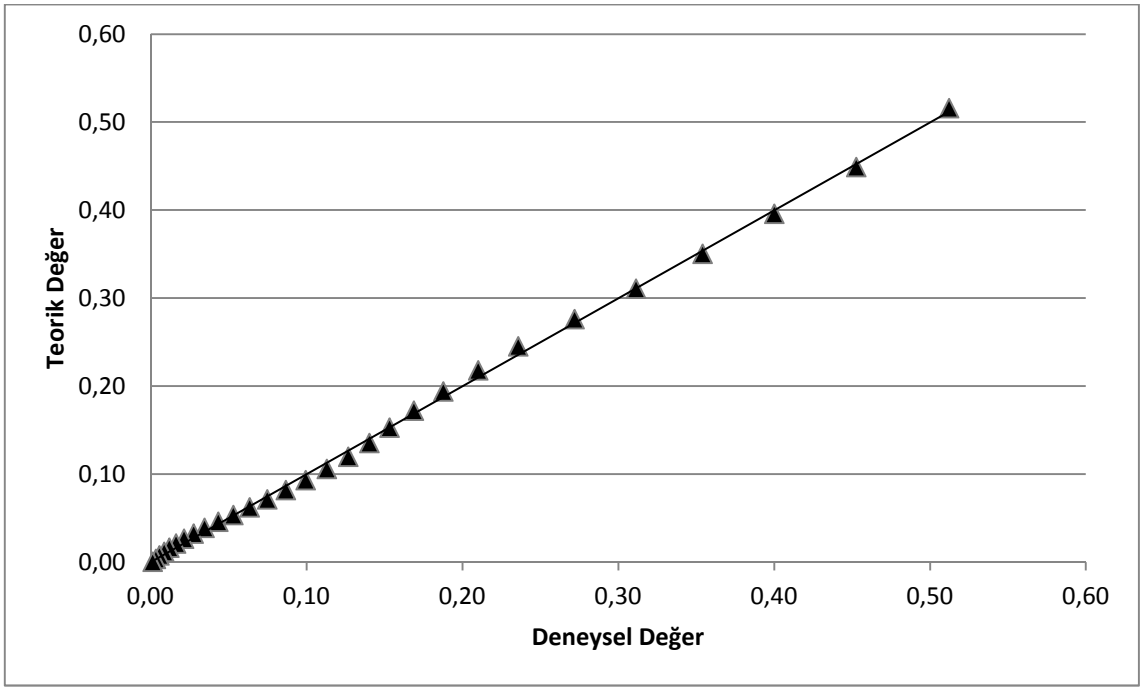
Şekil 5.125. Teorik değerin deneysel değerle değişimi (V=3 m/s, T= 50 ^{o}C, tuzlu, model no:10)



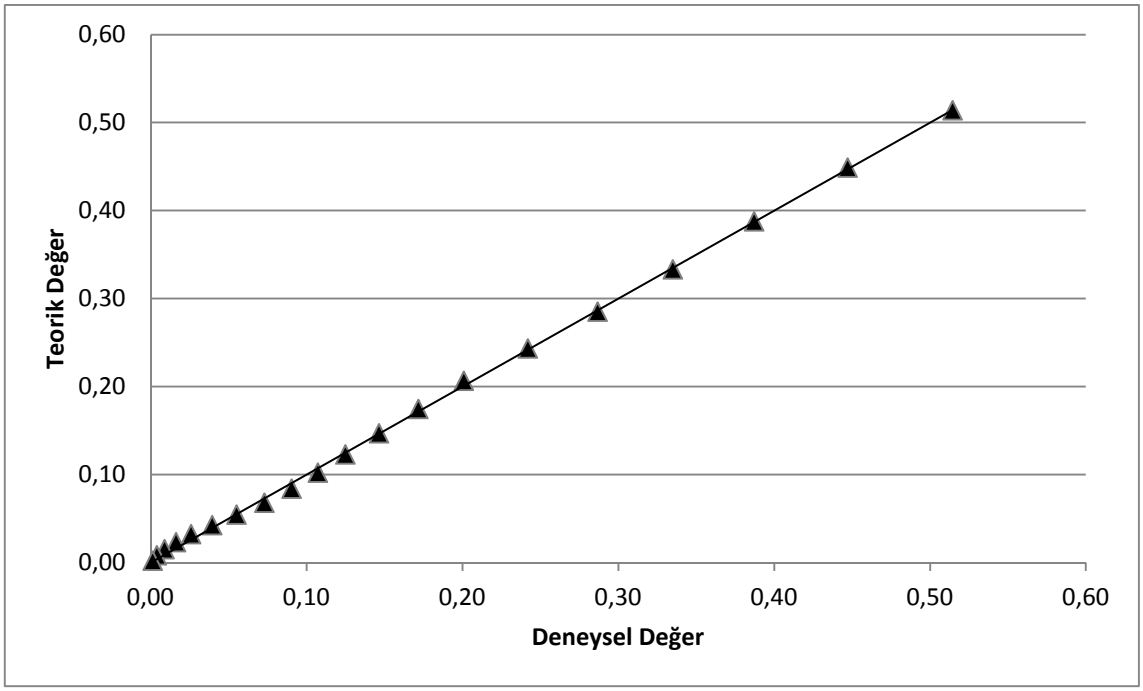
Şekil 5.126. Teorik değerin deneysel değerle değişimi (V=3 m/s, T= 60 ^{o}C, tuzlu, model no:10)



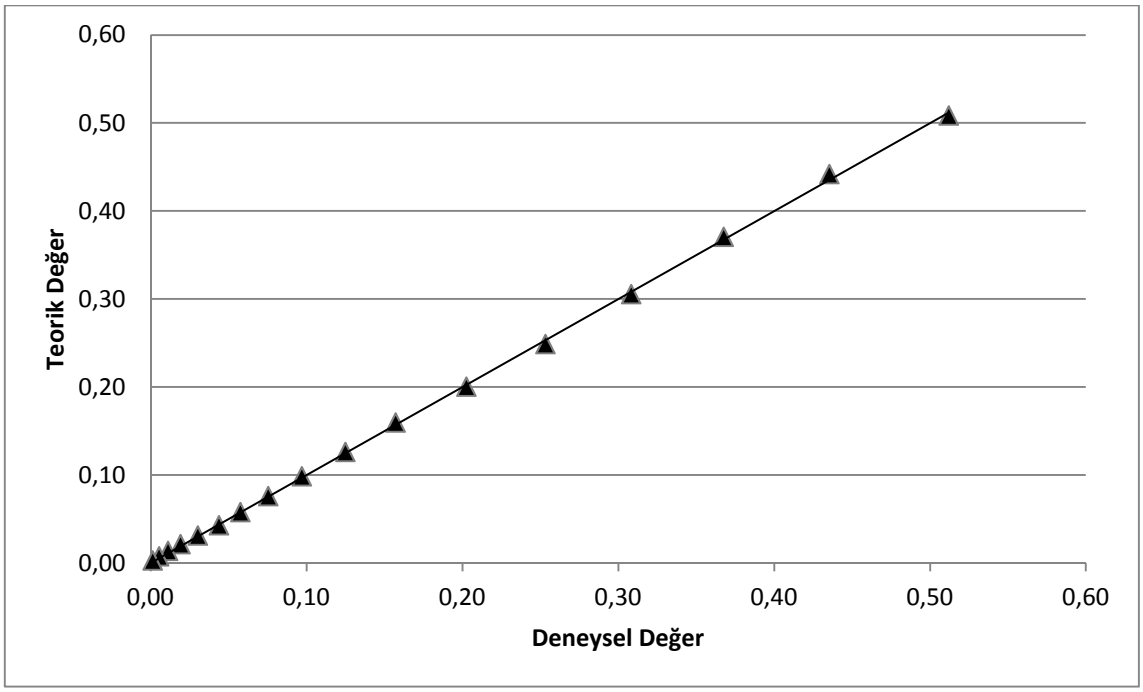
Şekil 5.127. Teorik değerin deneysel değerle değişimi (V=3 m/s, T= 70 ^{o}C, tuzlu, model no:9)



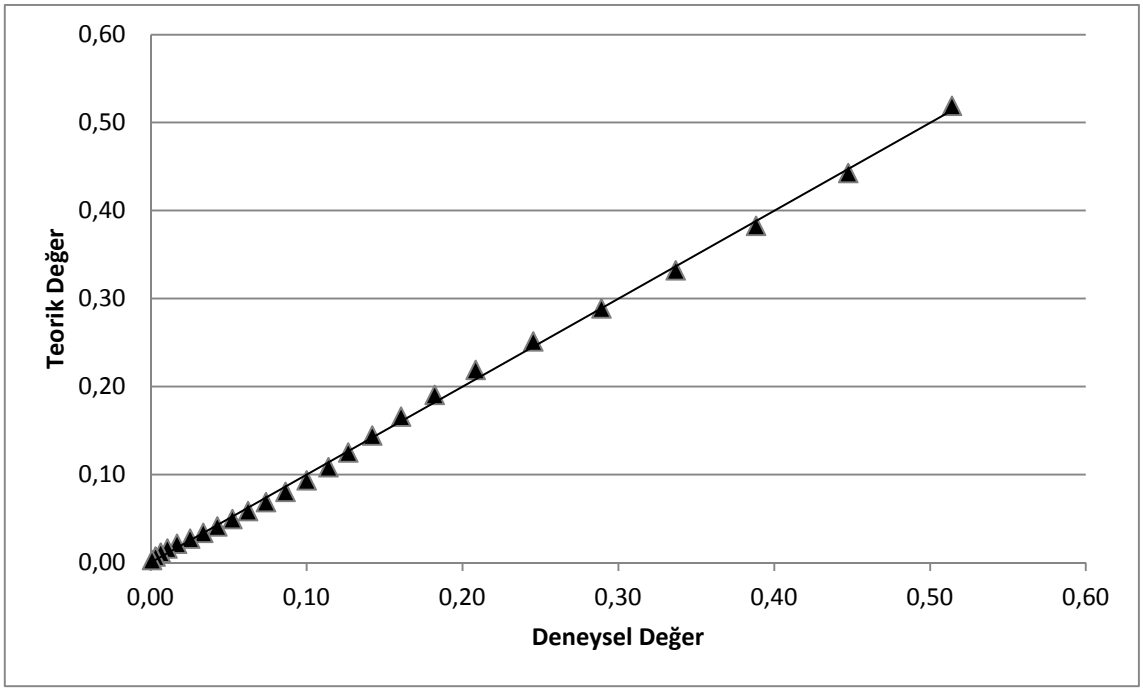
Şekil 5.128. Teorik değerin deneysel değerle değişimi (V=4 m/s, T= 50 ^{o}C, tuzlu, model no:9)



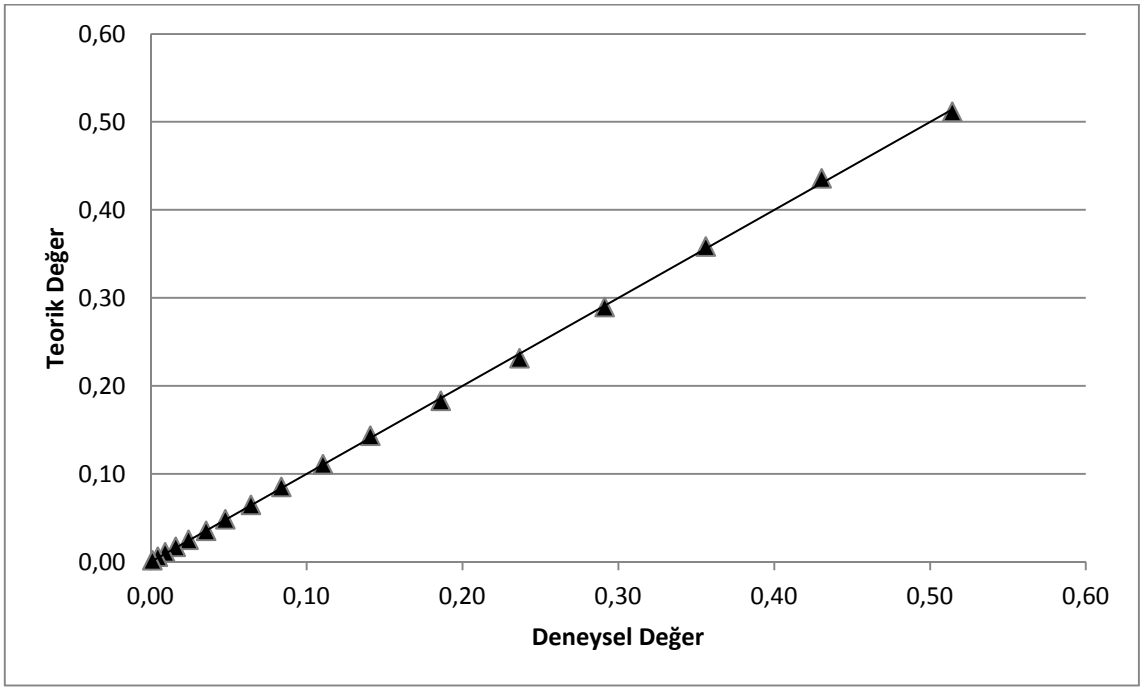
Şekil 5.129. Teorik değerin deneysel değerle değişimi (V=4 m/s, T= 60 ^{o}C, tuzlu, model no:9)



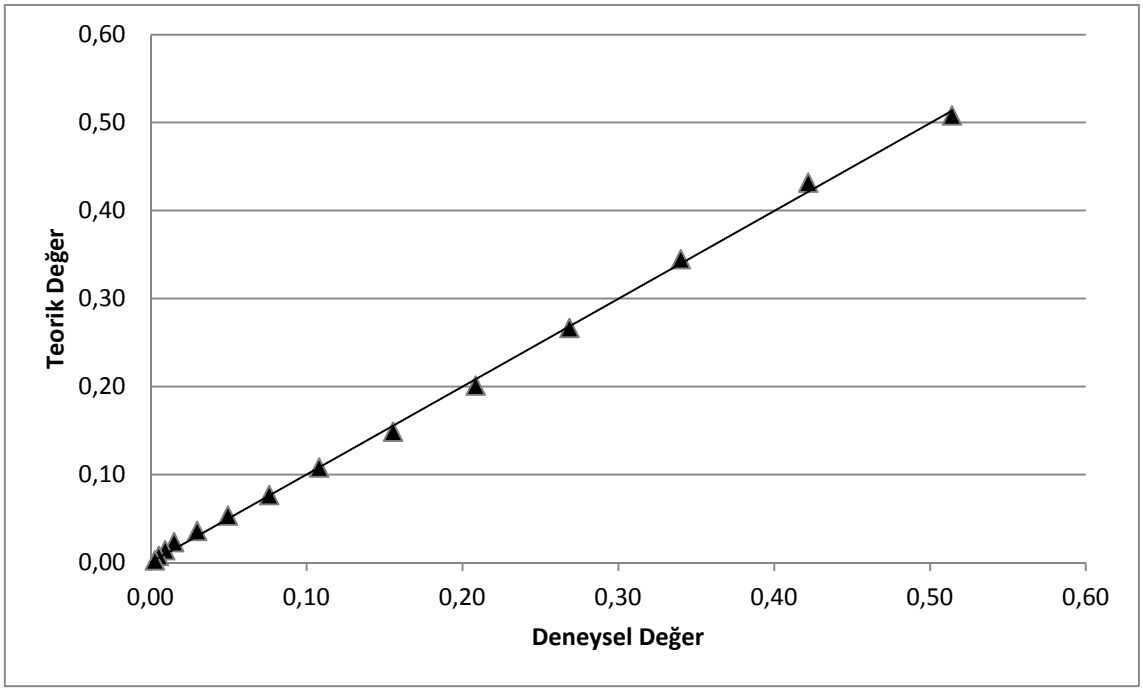
Şekil 5.130. Teorik değerin deneysel değerle değişimi (V=4 m/s, T= 70 ^{o}C, tuzlu, model no:9)



Şekil 5.131. Teorik değerin deneysel değerle değişimi (V=5 m/s, T= 50 ^{o}C, tuzlu, model no:10)



Şekil 5.132. Teorik değerin deneysel değerle değişimi (V=5 m/s, T= 60 ^{o}C, tuzlu, model no:10)



Şekil 5.133. Teorik değerin deneysel değerle değişimi (V=5 m/s, T= 70 ^{o}C, tuzlu, model no:12)

5.6 Kurutucunun Enerji Analizi

Deneylerde kullandığımız kurutucunun enerji analizi Termodinamiğin I. Kanuna göre yapılmıştır. Bu analizler yapılırken Sistemin Sürekli Akışlı Sürekli Açık (SASA) sistemi kabulu yapılmıştır. Yani kurutucuda kurutma havasının tamamının sistemin dışına çıktığı kabul edilmiştir.Kontrol hacminin her noktasında akışkanın özellikleri sabit kabul edilmiştir. Ayrıca sistemdeki potansiyel , kinetik, kimyasal ve nükleer enerji değişimleri ihmal edilmiştir. Kurutucudaki kütlenin korunumu aşağıdaki gibi yazılırsa [50];

$$\sum \dot{m}_g = \sum \dot{m}_ç \tag{5.11}$$

Nem için ;

$$\sum (\dot{m}_g w_g + \dot{m}_h) = \sum (\dot{m}_ç w_ç) \tag{5.12}$$

Termodinamiğin I. Kanunun en genel haldeki ifadesi;

$$Q - W + \sum E_g - \sum E_ç = \Delta E_{KH} \tag{5.13}$$

Denklem (5.13) denklemi SASA şartları için yazarsak;

$$Q - W = \sum m_{ç}\left(h_{ç} + \frac{V_{ç}^2}{2} + gz_{ç} \right) - \sum m_{g}\left(h_{g} + \frac{V_{g}^2}{2} + gz_{g} \right) \tag{5.14}$$

Elde edilir. Bu denklemde potansiyel ve kinetik enerji değişimleri ihmal edilirse;

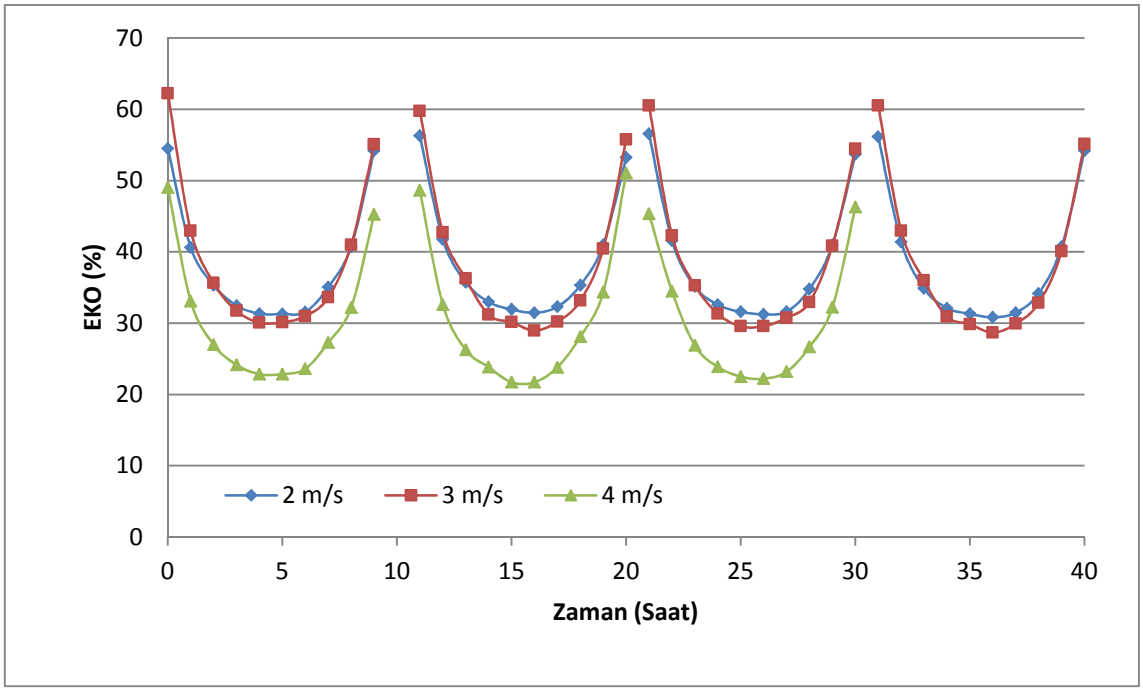
$$Q_g = \dot{m}_g . c_{p_g} . \left(T_g - T_o \right) \tag{5.15}$$

$$Q_{ç} = \dot{m}_{ç} . c_{p_{ç}} . \left(T_{ç} - T_o \right) \tag{5.16}$$

Denklemleri elde edilir. Enerji kullanım oranı (EKO) aşağıdaki denklem ile hesaplanabilir.

$$EKO = \frac{Q_g - Q_{ç}}{Q_g} \tag{5.17}$$

Yukarıdaki denklemlere göre kurutucunun 2,3 ve 4 m/s'ye hızlardaki enerji kullanım oranları hesaplanmıştır. Hesaplamalar sonucunda bulunan değerler şekil 5.134'de gösterilmiştir. Enerji kullanım oranları debinin artması ile birlikte azalmaktadır. Bunun nedeni debinin artması ile birlikte kurutucuda dolaşan havanın kurutucuda kalma süresinin azalmasıdır. Buna bağlı olarak ta kurutucu hava moleküllerinin enerjisinin daha az bir kısmını sisteme bırakmasıdır. EKO değeri saat 13:00'a kadar azalmakta 14:00'dan sonra ise artmaktadır. Bunun nedeni 13:00'a kadar kurutucunun ve balığın ısınma evresinde olması buna bağlı olarak da bir önceki zaman dilimindeki giriş ısısına göre yüzde olarak daha az enerji çekmesidir. 14:00'da ise bu olayın tam tersi gelişmektedir. 13:00-14:00 arasında giren ve çıkan enerji arasındaki fark maksimuma ulaşmaktadır. Ancak bu artış giren enerji miktarının artışıyla doğru orantılı değildir. Yani 13:00'a kadar balığın ve kurutucunun iç sıcaklıkları kararlı hale yaklaşmaktadır.



Şekil 5.134.EKO'nun zamanla değişimi

5.7. Ekserji Analizi

Kurutucunun ekserji dengesi aşağıdaki şekilde yazılırsa [5];

$$\sum Ex_g = \sum Ex_ç + \sum Ex_k \qquad (5.18)$$

Kurtucuya giren ekserji miktarı;

$$Ex_g = \dot{m}_g \left[\left(h_g - h_o \right) - T_o \left(s_g - s_o \right) \right] \qquad (5.19)$$

Kurutucudan çıkan ekserji miktarı ;

$$Ex_ç = \dot{m}_ç \left[\left(h_ç - h_o \right) - T_o \left(s_ç - s_o \right) \right] \qquad (5.20)$$

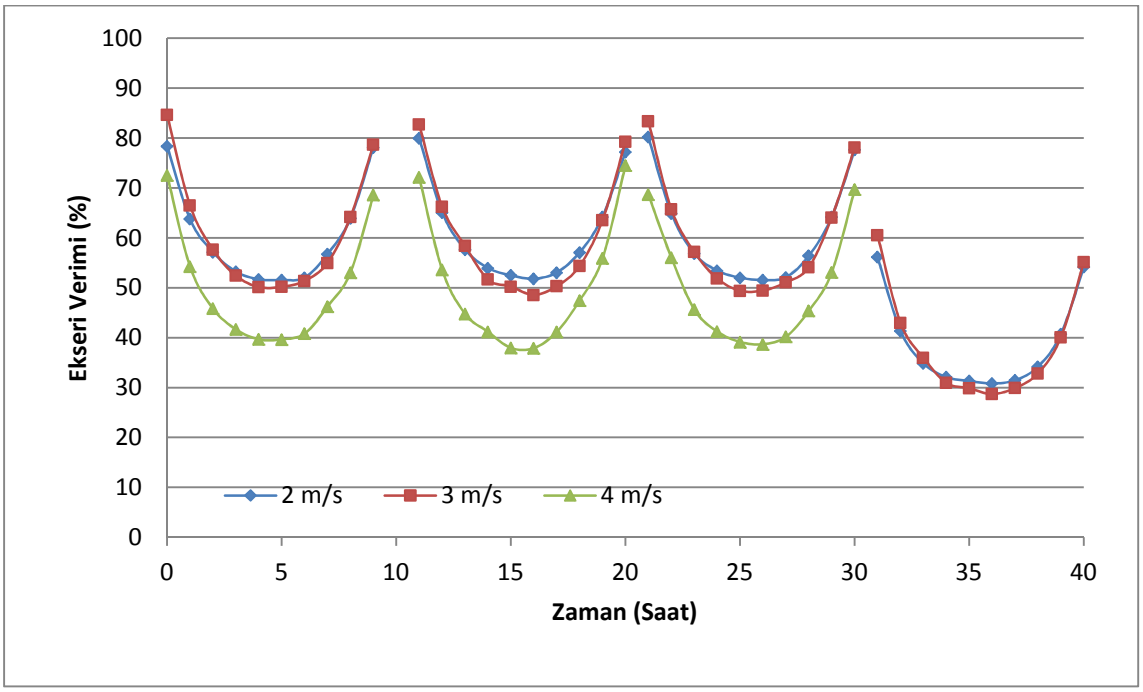
Eşitlik (5.20) ve (5.21)'deki entalpi ve entropi değişimleri yerlerine yazılırsa giren ve çıkan ekserji miktarları aşağıdaki gibi yazılır.

$$Ex_g = \dot{m}_g C_p \left[\left(T_g - T_o \right) - T_o \ln \left(\frac{T_g}{T_o} \right) \right] \qquad (5.21)$$

$$Ex_{ç} = \dot{m}_{ç} C_p \left[\left(T_{ç} - T_o \right) - T_o \ln \left(\frac{T_{ç}}{T_o} \right) \right] \qquad (5.22)$$

Ekserji verimi net ekserjinin giren ekserjiye olan oranıdır.

$$\eta_{ex} = \frac{Ex_g - Ex_k}{Ex_g} \qquad (5.23)$$



Şekil 5.135 Ekserji veriminin zamanla değişimi

Şekil 5.135'da Ekserji veriminin değişimi verilmiştir. Ekserji verimi hız ile azalmaktadır. Bunun nedeni hızın artması ile birlikte kurutucu giriş ve çıkış sıcaklıkları farkının düşmesi ve çevre sıcaklığına yaklaşmasıdır.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada alabalığın güneş enerjili bir kurutucuda kurutulmasında ısı ve kütle transferi incelenmiştir. Elde edilen bulgular aşağıda sıralanmıştır

1. Deneysel çalışmanın ilk aşaması olan kolektör deneylerinin sonucunda Tip –III'ün I. Ve II. Kanun veriminin daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Türblansın ve yüzey genişliğinin artmasının verim üzerinde etkili olduğu gözlemlenmiştir.
2. Tüm kolektör tipleri için debinin artması ile birlikte I. Kanun verimin arttığı, II. Kanun veriminin ise azaldığı gözlemlenmiştir.
3. Kurutucudaki kurutuma işleminin açık güneşte yapılan kurutma işleminden daha kısa sürede tamamlandığı görülmüştür.
4. Hızın artması ile birlikte kuruma süresinin azaldığı gözlemlenmiştir.
5. Elektrik ısıtıcı olmadan yapılan kurutma işleminde gün içerisinde kuruma havasının sıcaklığının artması ile birlikte kuruma hızının arttığı tespit edilmiştir. Buda sıcaklığın kuruma üzerinde önemli bir parametre olduğunu göstermektedir.
6. Balığın nem içeriğinin düşmesi ile birlikte kuruma hızının azaldığı gözlemlenmiştir.
7. Elektrikli ısıtıcının aktif olduğu sistemde hızın artması ile aynı sıcaklık için kuruma hızının arttığı; sıcaklığın artması ile birlikte aynı hız için de kuruma hızının arttığı tespit edilmiştir.
8. Balığın tuzda bekletilmesi ile kuruma süresinin azaldığı gözlemlenmiştir. 24 saatlik bekletmede nemin yaklaşık %30'unu bıraktığı gözlemlenmiştir.
9. Tuzlama işlemi sonucunda balığın mikroorganizmalara daha dayanıklı hale gelerek kokuşma olmamıştır.
10. Balığın denge nem oranının ortalama %18 olduğu tespit edilmiştir.
11. Balığın boyutunun küçültülmesi ile kurumanın daha hızlı olduğu gözlemlenmiştir.

Yapılan bu çalışmada kurutma ürünü olarak alabalık kullanılmıştır. Diğer balık türlerinin de kuruma karekteristikleri incelenebilinir. Balık boyutları ve kesim şekilleri değiştirilebilinir. Kurutma işlemi öncesinde farklı aromalar (baharatlar) kullanılarak kurutma işlemi tekrardan denenebilir. Sıcaklıklar ve hızlar değiştirilerek optimum nokta tespit edilinebilinir.

KAYNAKLAR

[1] **Selçuk DARICI, Soner ŞEN,** 2011. Kivi Meyvesinin Kurutulmasında Kurutma Havası Hızının Kurumaya Etkisinin İncelenmesi ,X. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi

[2] İzci L., Günlü, A., Bilgin, Ş., 2009. Ülkemizde Gökkuşağu Alabalığı 'nın Değerlendirlme şekilleri, *Süleyman Demirel Üniversitesi Eğridir Su Ürünleri Fakültesi Dergis*i, **5**, 73-79.

[3] S. VijayaVenkataRamana, S. Iniyanb , Ranko Goicc., 2012. A review of solar drying Technologies, *Renewable and Sustainable Energy Reviews,* **16** , 2652-2670.

[4] **İlhan CEYLAN, Mustafa AKTAŞ, Hikmet DOĞAN,** 2006. Güneş Enerjili Kurutma Fırınında Elma Kurutulması, *Politeknik Dergisi, 5* , 289-294.

[5] **V.S. Hans , R.P. Saini , J.S. Saini.,** 2010. Heat Transfer and Friction Factor Correlations For A Solar Air Heater Duct Roughened Artificially With Multiple V-Ribs, *Solar Energy,* **84** , 898–911.

[6] **A.A. El-Sebaii , S. Aboul-Enein , M.R.I. Ramadan , S.M. Shalaby , B.M. Moharram**, 2011 Investigation of Thermal Performance of-Double Pass-Flat and V-Corrugated Plate Solar Air Heaters, *Energy* **36** , 2011, 1076-1086.

[7] **R.S. Gill , Sukhmeet Singh, Parm Pal Singh,** 2012. Low Cost Solar Air Heater, *Energy Conversion and Management,* **57**, 131–142.

[8] **Irfan Kurtbas , Aydın Durmuş,** 2004. Efficiency and Exergy Analysis of A New Solar Air Heater, *Renewable Energy* **29**, 1489–1501.

[9] **Hikmet Esen,** 2008. Experimental Energy and Exergy Analysis of A Double-Flow Solar Air Heater Having Different Obstacles on Absorber Plates, *Building and Environment* **43** , 1046–1054.

[10] **Hüseyin Benli,** 2013. Experimentally Derived Efficiency and Exergy Analysis of A New Solar Air Heater Having Different Surface Shapes, *Renewable Energy* **50**, 58-67.

[11] **A.A. El-Sebaii, H. Al-Snani,** 2010. Effect of selective coating on thermal performance of flat plate solar air heaters, *Energy* **35**, 1820–1828.

[12] **Deniz Alta, Emin Bilgili, C. Ertekin, Osman Yaldiz,** 2010. Experimental İnvestigation of Three Different Solar Air Heaters: Energy and Exergy Analyses, *Applied Energy* **87**,2953–2973.

[13] **A.Ucar , M. Inallı,** 2006. Thermal and Exergy Analysis of Solar Air Collectors With Passive Augmentation Techniques, *International Communications in Heat and Mass Transfer* **33**, 1281–1290.

[14] **Suleyman Karsli,** 2007. Performance Analysis of New-Design Solar Air Collectors for Drying Applications, *Renewable Energy* **32**, 1645–1660.

[15] **N. Moummi, S. Youcef-Ali, A. Moummi, J.Y. Desmons,** 2004. Energy Analysis of A Solar Air Collector Withrows of Fins, *Renewable Energy 29*, 2053–2064.

[16] **M.A. Karim , M.N.A. Hawlader,** 2004. Development of Solar Air Collectors for Drying Applications, *Energy Conversion and Management* **45**, 329–344.

[17] **Md Azharul Karim , M.N.A. Hawlader**, 2006. Performance Evaluation of A V-Groove Solar Air Collector For Drying Applications, *Applied Thermal Engineering* **26**, 121–130.

[18] **N. Hatami , M. Bahadorinejad** , 2008. Experimental Determination of Natural Convection Heat Transfer Coefficient in A Vertical Flat-Plate Solar Air Heater, *Solar Energy* **82**, 903–910.

[19] **Ming Yang, Pengsu Wang, Xudong Yang, Ming Shan,** 2012. Experimental Analysis on Thermal Performance of A Solar Air Collector With A Single Pass, *Building and Environment* **56**, 361-369.

[20] **Ebru Kavak Akpinar , Fatih Koçyiğit,** 2010. Energy and Exergy Analysis of A New Flat-Plate Solar Air Heater Having Different Obstacles on Absorber Plates, *Applied Energy* **87**, 3438–3450.

[21] **Donggen Peng, Xiaosong Zhang, Hua Dong, Kun Lv,** 2010. Performance Study of A Novel Solar Air Collector, *Applied Thermal Engineering* **30**, 2594-2601.

[22] **Turhan Koyuncu,** 2006. Performance of Various Design of Solar Air Heaters For Crop Drying Applications, *Renewable Energy* **31**, 1073–1088.

[23] **Alok Chaube, P.K. Sahoo, S.C. Solanki,** 2006. Analysis of Heat Transfer Augmentation and Flow Characteristics Due to Rib Roughness Over Absorber Plate of A Solar Air Heater, *Renewable Energy* **31**, 317–331.

[24] **G. Alvarez, J. Arce, L. Lira, M.R. Heras,** 2004. Thermal Performance of An Air Solar Collector With An Absorber Plate Made of Recyclable Aluminum Cans, *Solar Energy* **77**, 107–113.

[25] **G.M. Kituu , D. Shitanda , C.L. Kanali , J.T. Mailutha , C.K. Njoroge , J.K. Wainaina , V.K. Silayo**, 2010. Thin Layer Drying Model For Simulating The Drying of Tilapia Fish (Oreochromis niloticus) in A Solar Tunnel Dryer, *Journal of Food Engineering* **98**, 325–331.

[26] **Dilip Jain ve Pankaj B. Pathare**, 2007 Study The Drying Kinetics of Open Sun Drying of Fish, *Journal of Food Engineering* **78**, 1315–1319.

[27] **Dilip Jain,** 2006. Determination of Convective Heat and Mass Transfer Coefficients For Solar Drying of Fish, *Biosystems Engineering* **94 (3),** 429–435.

[28] **S. Bellagha , A. Sahli , A. Farhat , N. Kechaou , A. Glenza,** 2007. Studies on Salting and Drying of Sardine (Sardinell Aurita): Experimental Kinetics and Modeling, *Journal of Food Engineering* **78,** 947–952.

[29] **A.Vega-Gálveza, A. Andrésb, E. Gonzaleza, E. Notte-Cuelloc, M. Chacanaa, R. Lemus-Mondacaa,** 2009. Mathematical Modelling on The Drying Process of Yellow Squat Lobster (Cervimunida Jhoni) Fishery Waste for Animal Feed, *Animal Feed Science and Technology* **151**, 268–279.

[30] **Zhen-hua Duan, Li-na Jiang, Ju-lan Wang, Xiao-yang Yu, Tao Wang**, 2011. Drying and Quality Characteristics of Tilapia Fish Fillets Dried With Hot Air-Microwave Heating, *Food and Bioproducts Processing* **89**, 472–476.

[31] **Hosain Darvishi , Mohsen Azadbakht , Abbas Rezaeiasl , Asie Farhang,** 2012. Drying Characteristics of Sardine Fish Dried With Microwave Heating, *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*

[32] **Nadia Djendoubi, Nourhène Boudhrioua, Catherine Bonazzi, Nabil Kechaoua,** 2009. Drying of Sardine Muscles: Experimental and Mathematical Investigations, *Food and Bioproducts Processing* **87**, 115–123.

[33] **O.P. Sobukola, S.O. Olatunde,** 2011. Effect of Salting Techniques on Salt Uptake and Drying Kinetics of African Catfish (Clarias Gariepinus), *Food and Bioproducts Processing* **89**,2011, 170–177.

[34] **Ana Brás ve Rui Costa,** 2010. Influence of Brine Salting Prior to Pickle Salting in The Manufacturing of Various Salted-Dried Fish Species, *Journal of Food Engineering* **100**, .490–495.

[35] **J.S. Goddard ve J.S.M. Perret,** 2005, Co-drying Fish Silage For Use in Aquafeeds, *Animal Feed Science and Technology,* **118**, 337–342.

[36] **A. Heredia , A. Andre´s, N. Betoret, P. Fito**, 2007. Application of The SAFES (Systematic Approach of Food Engineering Systems) Methodology to Salting, Drying and Desalting of Cod, *Journal of Food Engineering* **83**, 267–276.

[37] **R. Borquez , W. Wolf, W.D. Koller, W.E.L. Spieû,** 1999, Impinging Jet Drying of Pressed Fish Cake , *Journal of Food Engineering* **40**, 113-120.

[38] **Mortaza Aghbashlo, Hossien Mobli, Shahin Rafiee, Ashkan Madadlou**, 2012. Energy and Exergy Analyses of The Spray Drying Process of Fish Oil Microencapsulation, *Biosystems Engeneering* **111**, 229-241.

[39] **E. Marquez-Rios , V.M. Ocaño-Higuera , A.N. Maeda-Martínez , M.E. Lugo-Sánchez , M.G. Carvallo-Ruiz , R. Pacheco-Aguilar,** 2009. Citric Acid As Pretreatment in Drying of Pacific Lion's Paw Scallop (Nodipecten subnodosus) Meats, *Food Chemistry* **112**, 599–603.

[40] **A.Teixeira, E. Pereira, E.S. Rodrigues,** 2011. Goat Meat Quality. Effects of Salting, Air-Drying and Ageing Processes, *Small Ruminant Research* **98**, 55–58.

[41] **P. Sebastian , D. Bruneau , A. Collignan , M. Rivier,** 2005. Drying and Smoking of Meat: Heat and Mass Transfer Modeling and Experimental Analysis, *Journal of Food Engineering* **70**, 227–243

[42] **G. Clemente , J. Bon, N. Sanjuán, A. Mulet**, 2011. Drying Modelling of Defrosted Pork Meat Under Forced Convection Conditions, *Meat Science* **88**, 374–378.

[43] **Francisco Javier Trujillo, Chaiyan Wiangkaew, Q. Tuan Pham,** 2007. Drying Modeling and Water Diffusivity in Beef Meat, *Journal of Food Engineering* **78**, 74–85.

[44] **Susana Simal , Antoni Femenia , Pablo Garcia-Pascual , Carmen Rossell,** 2003. Simulation of The Drying Curves of A Meat-Based Product: Effect of The External Resistance To Mass Transfer, *Journal of Food Engineering* **58**, 193–199.

[45] **Adisak Nathakaranakule , Worawit Kraiwanichkul, Somchart Soponronnarit,** 2007. Comparative Study of Different Combined Superheated-Steam Drying Techniques for Chicken Meat, *Journal of Food Engineering* **80**, 1023–1030.

[46] **E. Kavak Akpinar , Y. Bicer,** 2008. Mathematical Modelling of Thin Layer Drying Process of Long Green Pepper in Solar Dryer and Under Open Sun, *Energy Conversion and Management* **49,** 1367–1375.

[47] **P.P. Tripathy, Subodh Kumar,** 2009. A Methodology for Dermination of Temperature Dependent Mass Transfer Coefficients From Drying Kinetics: Application to Solar Drying, *Journal of Food Engineering* **90**, 212–218.

[48] **P.P. Tripathy, Subodh Kumar,** 2008. Determination of Temperature Dependent Drying Parameters For Potato Cylinders and Slices During Solar Drying, *Energy Conversion and Management* **49,** 2941–2948.

[49] **P.P. Tripathy, Subodh Kumar,** 2009. Modeling of Heat Transfer and Energy Analysis of Potato Slices and Cylinders During Solar Drying, *Applied Thermal Engineering* **29**,884–891.

[50] **Abdullah Akbulut, Aydin Durmuş**, 2010. Energy and Exergy Analyses of Thin Layer Drying of Mulberry in A Forced Solar Dryer, *Energy* **35**, 1754–1763.

[51] **E. Kavak Akpinar**, 2010, Drying of mint leaves in a solar dryer and under open sun: Modelling,performance analyses, *Energy Conversion and Management* **51**, 2407–2418.

[52] **Varun Sunil, Avdhesh Sharma, Naveen Sharma,** 2012. Construction and Performance Analysis of An Indirect Solar Dryer Integrated With Solar Air Heater, *Procedia Engineering* **38**, 3260-3269.

[53] **Dattatreya M. Kadam, D.V.K. Samuel**, 2006. Convective Flat-plate Solar Heat Collector for Cauliflower Drying, *Biosystems Engineering* ,**93 (2),** 189–198.

[54] **I.Montero , J. Blanco, T. Miranda, S. Roja, A.R. Celma**, 2010. Design, Construction and Performance Testing of A Solar Dryer For Agroindustrial By-Products, *Energy Conversion and Management* **51,** 1510–1521.

[55] **J. Banout, P. Ehl, J. Havlik, B. Lojka, Z. Polesny, V. Verner**, 2011. Design and Performance Evaluation of A Double-Pass Solar Drier For Drying of Red Chilli (CapsicumAnnum L.), *Solar Energy* **85**, 506–515.

[56] **A.R. Celma , F. Cuadros,** 2009. Energy and Exergy Analyses of OMW Solar Drying Process, *Renewable Energy* **34,** 660–666.

[57] **Boudhrioua Nourh`ene, Kouhila Mohammed, Kechaou Nabil,** 2008. Experimental and Mathematical Investigations of Convective Solar Drying of Four Varieties of Olive Leaves, *Food and Bioproducts Processing* **86** , 176–184.

[58] **Amel Boulemtafes-Boukadoum, Ahmed Benzaoui,** 2011. Energy and Exergy Analysis of Solar Drying Process of Mint, *Energy Procedia* **6**, 583–591.

[59] **M.M.I. Chowdhury, B.K. Bala, M.A. Haque**, 2011 Energy and Exergy Analysis of The Solar Drying Of Jackfruit Leather, *Biosystems Engineering* **110,** 22-229.

[60] **Chr. Lamnatou, E. Papanicolaou, V. Belessiotis, N. Kyriakis**, 2012. Experimental Investigation and Thermodynamic Performance Analysis of A Solar Dryer Using An Evacuated-Tube Air Collector, *Applied Energy* **94**,232–243.

[61] **A.O. Dissa , D.J. Bathiebo, H. Desmorieux, O. Coulibaly, J. Koulidiati,** 2011. Experimental Characterisation and Modelling of Thin Layer Direct Solar Drying of Amelie and Brooks Mangoes, *Energy* **36** ,2517-2527.

[62] **V. Shanmugama, E. Natarajan,** 2006. Experimental Investigation of Forced Convection and Desiccant Integrated Solar Dryer, *Renewable Energy* **31**, 1239–1251.

[63] **Gikuru Mwithiga , Stephen Njoroge Kigo,** 2006. Performance of A Solar Dryer With Limited Sun Tracking Capability, *Journal of Food Engineering* **74**, 247–252.

[64] **R. Smitabhindua, S. Janjai, V. Chankong,** 2008. Optimization of A Solar-Assisted Drying System For Drying Bananas, *Renewable Energy* **33** , 1523–1531.

[65] **James Stiling , Simon Li, Pieter Stroeve, Jim Thompson, Bertha Mjawa, Kurt Kornbluth, Diane M. Barrett ,** 2012. Performance Evaluation of An Enhanced Fruit Solar Dryer Using Concentrating Panels, *Energy for Sustainable Development* **16,** 224–230.

[66] **A. El-Beltagy, G.R. Gamea, A.H. Amer Essa,** 2007. Solar Drying Characteristics of Strawberry, *Journal of Food Engineering* **78,** 456–464.

[67] **A.Fadhel, S. Kooli, A. Farhat, A. Bellghith**, 2005. Study of The Solar Drying of Grapes By Three Different Processes, *Desalination* **185**, 535–541.

[68] **A. Zomorodian, D. Zare, H. Ghasemkhani,** 2007. Optimization and Evaluation of A Semi-Continuous Solar Dryer For Cereals (Rice, etc), *Desalination* **209**, 129–135.

[69] **A.O. Dissa, J. Bathiebo, S. Kam, P.W. Savadogo, H. Desmorieux , J. Koulidiati**, 2009. Modelling and Experimental Validation of Thin Layer Indirect Solar Drying of Mango Slices, *Renewable Energy* **34,** 1000–1008.

[70] **A.Saleh , I. Badran,** 2009. Modeling and Experimental Studies on A Domestic Solar Dryer, *Renewable Energy* **34**, 2239–2245.

[71] **T.Y. Tunde-Akintunde,** 2011. Mathematical Modeling of Sun and Solar Drying of Chilli Pepper, *Renewable Energy* **36**, 2139-2145.

[72] **N. Srisittipokakun, K. Kirdsiri, J. Kaewkhao,** 2012. Solar Drying of Andrographis Paniculata Using A Parabolic-Shaped Solar Tunnel Dryer, *Procedia Engineering* **32**,839-846.
[73] **A.Sreekumar, P.E. Manikantan, K.P. Vijayakumar,** 2008. Performance of Indirect Solar Cabinet Dryer, *Energy Conversion and Management* **49**, 1388–1395.
[74] **P.N. Sarsavadia,** 2007. Development of A Solar-Assisted Dryer and Evaluation of Energy Requirement for The Drying of Onion, *Renewable Energy* **32**, 2529–2547.
[75] **Kamil Sacilik , Rahmi Keskin, Ahmet Konuralp Elicin,** 2006. Mathematical Modelling of Solar Tunnel Drying of Thin Layer Organic Tomato, *Journal of Food Engineering* **73**, 231–238.
[76] **Kamenan Blaise Koua, Wanignon Ferdinand Fassinou, Prosper Gbaha , Siaka Toure,** 2009. Mathematical Modelling of The Thin Layer Solar Drying of Banana, Mango and Cassava, *Energy* **34**, 1594–1602.
[77] **Khalil E.J. Al-Juamily, Abdul Jabbar N. Khalifa, Tadahmun A. Yassen,** 2007. Testing of The Performance of A Fruit and Vegetable Solar Drying System in Iraq, *Desalination* **209**, 163–170.
[78] **L. Ait Mohamed, C.S. Ethmane Kane, M. Kouhila, A. Jamali , M. Mahrouz, N. Kechaou,** 2008. Thin Layer Modelling of Gelidium Sesquipedale Solar Drying Process, *Energy Conversion and Management* **49**, 940–946.
[79] **L. Ait Mohamed , M. Kouhila , A. Jamali, S. Lahsasni, N. Kechaou, M. Mahrouz**, 2005. Single Layer Solar Drying Behaviour of Citrus Aurantium Leaves Under Forced Convection, *Energy Conversion and Management* **46**, 1473–1483.
[80] **Subarna Maiti, Pankaj Patel, Kairavi Vyas, Kruthika Eswaran, Pushpito K. Ghosh,** 2011. Performance Evaluation of A Small Scale Indirect Solar Dryer With Static Reflectors During Non-Summer Months in The Saurashtra Region of Western India, *Solar Energy* **85**,.2686–2696.
[81] **S. Boughali, H. Benmoussa, B. Bouchekima, D. Mennouche, H. Bouguettaia, D. Bechki,** 2009.Crop Drying By Indirect Active Hybrid Solar – Electrical Dryer in The Eastern Algerian Septentrional Sahara*, Solar Energy* **83**, 2223–2232.
[82] **Gökoğlu, N.,** 2002. Su Ürünleri İşleme Teknolojisi, Akdeniz Üniversitesi Ziraat Fakültesi , Su Ürünleri Vakfı Yayınları, İstanbul.
[83] **Caroğlu , M. ,** 2007. Alternatif Enerji Kaynakları, Nobel Yayın Dağıtım, Ankara.
[84] **Özgen ,F.,** 2007. Yutucu Plakası Silindirik Teneke Kutulardan Yapılmış Bir Havalı Güneş Kollektörünün Isıl Performansının Deneysel Olarak Araştırılması, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisasns Tezi, Elazığ.
[85] **Karakaya , H.** ,2005, Değişik Yüzey Geometrilerine Sahip Havalı Kollektörlerin Tasarlanması ve Isıl Performansının Deneysel olarak İncelenmesi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisasns Tezi, Elazığ.
[86] **Koçyiğit, F. ,** 2008. Yutucu Plaka Üzerine Farklı Türde Kanatçıkların Yerleştirildiği Bir Havalı Kollektörün Enerji Ve Ekserji Analizi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisasns Tezi, Elazığ.
[87] http://www.enerji.gov.tr/index.php?dil=tr&sf=webpages&b=gunes&bn=233&hn=&nm=384&id=40695 (Erişim Tarihi : 12.12.2013)
[88] http://www.eie.gov.tr/MyCalculator/Default.aspx (Erişim Tarihi : 12.12.2013)
[89] http://tr.scribd.com/doc/35965062/6/Dunyada-guneş-enerjisi-potansiyeli (Erişim Tarihi : 12.12.2013)
[90] http://www.dektmk.org.tr/upresimler/GUNES.pdf (Erişim Tarihi : 12.12.2013)

[91] **Çakmak , G.,** 2008. Çekirdekli Üzüm Kurutmada Güneş Enerjisi Destekli Dönel Akışlı Kurutucu Tasarımı, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Elazığ.

[92] **Kaya , A.,** 2008,Kurutmada Isı Ve Kütle Transferinin Teorik Ve Deneysel Olarak İncelenmesi, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Trabzon.

[93] **Yağcıoğlu, A.,** 1999. Tarım ürünlerini kurutma tekniği, Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları, No: 536, İzmir.

[94] **Kocayiğit , F.,** 2010, Bazı Sebzelerin Kurutma Karakteristiklerinin İncelenmesi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisasns Tezi, İstanbul.

[95] **Bayhan, H.A.,** 2011, Kabin Tipi Bir Kurutucuda Kurutma Sürecini Etkileyen Parametrelerin Deneysel Olarak İncelenmesi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisasns Tezi, Isparta.

[96] **Gülçimen , F.,** 2008, Çekirdekli Üzüm Kurutmada Güneş Enerjisi Destekli Dönel Akışlı Kurutucu Tasarımı, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Elazığ.

[97] **Atul Sharma , C.R. Chen, Nguyen Vu Lan,** 2009. Solar-Energy Drying Systems: A Review, *Renewable and Sustainable Energy Reviews* **13**, 1185–1210.

[98] **A.Fudholi , K. Sopian, M.H. Ruslan, M.A. Alghoul, M.Y. Sulaiman,** 2010**.** Review of SolarDryers For Agricultural and Marine Products, *Renewable and Sustainable Energy Reviews* **14**, p.1–30.

[99] **Lyes Bennamoun,** 2011. Reviewing The Experience of Solar Drying in Algeria With Presentation of The Different Design Aspects of Solar Dryers, *Renewable and Sustainable Energy Reviews* **15**, 3371– 3379.

[100] **İbrahim Doymaz,** 2007**.** Air-Drying Characteristics Of Tomatoes, *Journal of Food Engineering* **78 ,** 1291–1297.

[101] **Alibaş İ.,** 2012. Sıcak Havayla Kurutulan Enginar (Cynara cardunculus L. var. scolymus) Dilimlerinin Kuruma Eğrilerinin Tanımlanmasında Yeni Bir Modelin Geliştirilmesi ve Mevcut Modellerle Kıyaslanması, *U. Ü. Ziraat Fakültesi Dergisi*, **26**, 49-61

ÖZGEÇMİŞ

1981 yılında Elazığ'da doğdu. İlkokulu, ortaokul ve lise öğrenimini Elazığ'da tamamladı. 2000 yılında Fırat Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü'nü kazandı ve Lisans eğitimini 2004 yılında tamamladı.2004 yılında Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü'nde Yüksek Lisans eğitimine başladı ve 2008 yılında doktora eğitimine başlamışdı. 2009 yılında Fırat Üniversitede Makine Mühendisliği Enerji Ana Bilim Dalı'da Araştırma Görevlisi kadrosuna atandı. Halen Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Termodinamik Bilim Dalı'nda doktora eğitimi yapmakta ve aynı zamanda Mühendislik Fakültesi'nde Araştırma Görevlisi olarak çalışmaya devam etmektedir.