

KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

FINDIK KURUTMA ŞARTLARININ BELİRLENMESİ

Mak. Yük. Müh. Cevdet DEMİRTAŞ

Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde
"Doktor"

Ünvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir

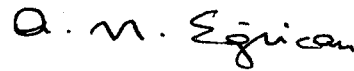
Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 08.07.1996

Tezin Savunma Tarihi : 30.07.1996

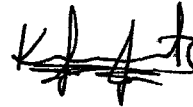
Tez Danışmanı : Prof. Dr. Teoman AYHAN



Jüri Üyesi : Prof. Dr. Nilüfer EĞRİCAN



Jüri Üyesi : Doç. Dr. Kamil KAYGUSUZ



Enstitü Müdürü : Prof. Dr. Fazlı ARSLAN



Temmuz 1996

TRABZON

ÖNSÖZ

Fındık, ülkemizin başlıca ihraç ürünlerinden biridir. Ülkemiz için son derece büyük öneme sahip olan fındığın yetiştiriciliğine ait son yıllarda bazı araştırmalar başlatılmış olmasına rağmen, teknolojisine yönelik araştırmalar yok denecek kadar azdır. Zira Türkiye fındık konusunda yeni teknolojik atılımlar yaparak, iç ve dış pazarlara sunulacak ürünlerin kalitesini artırmak zorundadır. Bunun sağlanabilmesi için fındığın teknolojik özelliklerinin araştırılması gerekmektedir. Bu nedenle gerçekleştirilen bu çalışma, fındık teknolojisinde son derece önemli bir yere sahip olan fındığın kurutulması konusunu kapsamaktadır.

Türkiye'de fındık üretim bölgesinin iklim şartlarının kurutmaya elverişli olmamasına rağmen fındığın kurutulması konusunda bugüne kadar çok az çalışmaya rastlanmıştır. Yörenin iklim şartlarının doğal kurutmaya fazla elverişli olmaması nedeniyle, geçmiş yıllarda ülkemizde büyük ekonomik kayıplara neden olan kurutma işleminin suni olarak yapılabilmesi için fındığın kurutma şartlarının belirlenmesi gerekmektedir. Bu çalışma bu amaçla ele alınmış olup, eksikliği tartışılmaz olan fındığın kurutulması konusunun araştırılmasında yalnız tımbul fındık incelenmiştir.

Dileğimiz, tüm fındık çeşitlerini kapsayacak şekilde fındığın teknolojik özelliklerinin belirlenmesidir. Bunu gerçekleştirebilmek için, fındık konusunda çalışan tüm birimlerin bu araştırmaya katkılarının sağlanması gerekmektedir.

Bu çalışmanın hazırlanması süresi boyunca maddi ve manevi yardımlarını esirgemeyen, başta sayın danışman hocam Prof. Dr. Teoman AYHAN'a, Doç. Dr. Kamil KAYGUSUZ'a, Araş. Gör. Hasan KARABAY'a, Araş. Gör. M. Sabri DUMAN'a, Uzm. Yusuf AZAK'a ve KTÜ Müh. Mim. Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümü teknisyenlerine teşekkür ederim.

Ayrıca bu çalışmayı mali yönden destekleyen KTÜ Araştırma Fonu , TÜBİTAK, DPT, KFMİB yetkililerine de teşekkür ederim.

Trabzon, Temmuz 1996

Cevdet DEMİRTAŞ

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖNSÖZ.....	II
İÇİNDEKİLER.....	III
ÖZET.....	VI
SUMMARY.....	VII
ŞEKİL LİSTESİ.....	VIII
TABLO LİSTESİ.....	XV
SEMBOL LİSTESİ.....	XVI
1. GENEL BİLGİLER.....	1
1.1. Giriş.....	1
1.2. Literatür Çalışması.....	2
1.3. Fındık Hakkında Genel Bilgiler.....	6
1.3.1. Fındığın Tarihçesi.....	6
1.3.2. Fındık Çeşitleri.....	6
1.3.3. Dünyada Fındık Üretimi ve Tüketimi.....	7
1.3.3.1. Üretim.....	7
1.3.3.2. Tüketim.....	8
1.4. Kurutma Hakkında Genel Bilgiler.....	8
1.4.1. Kurutma.....	8
1.4.2. Kurutmanın İç ve Dış Koşulları.....	9
1.4.3. Kurutmanın Bağlı Olduğu Parametreler.....	9
1.4.4. Denge Nemi.....	11
1.4.5. Kurutma Hızı.....	14
1.4.5.1. Sabit Kurutma Hız Periyodu.....	15
1.4.5.2. Azalan Kurutma Hız Periyodu.....	16
1.4.5.3. Kurutma Hızına Etki Eden Faktörler.....	16
2. TEORİK VE DENEYSEL ÇALIŞMA PROGRAMI.....	17
2.1. Teorik Çalışma.....	17

2.1.1. Isı Transfer Parametrelerinin Hesabı İçin Matematik Model.....	17
2.1.2. Isı Transfer Modellemesi.....	19
2.1.3. Kütle Transfer Modellemesi.....	24
2.1.3.1. Matematik Model ve Çözüm Yöntemi.....	24
2.1.3.2. a ve b katsayılarının ve B kurutma Parametresinin Tayini.....	27
2.2. Deneysel Çalışma Programı.....	28
2.2.1. Test Örnekleri ve Yöntem.....	28
2.2.2. Deney Düzeneklerinin Tanıtılması.....	28
2.2.2.1. Kurutma Deney Düzeneklerinin Tanıtılması.....	28
2.2.2.2. Isı Transfer Parametrelerinin Belirlendiği Deney Düzenekleri.....	34
2.2.2.3. Nem Tayini ve Denge Nemi Deney Düzenekleri.....	34
2.2.3. Deneysel Ölçümler.....	36
2.2.3.1. Sıcaklıkların Ölçülmesi.....	36
2.2.3.1.1. Kurutma İşleminde Sıcaklıkların Ölçümü.....	36
2.2.3.1.2. Isı Transfer Parametrelerinin Belirlenmesinde Sıcaklıkların Ölçümü.....	37
2.2.3.2. Parti Ağırlık Değişimlerinin Ölçülmesi.....	37
2.2.3.3. Nem İçeriği Değerlerinin Ölçülmesi.....	38
2.2.3.4. Duyusal Değerlendirme.....	38
2.2.3.5. Fındık Analizi.....	39
2.2.3.5.1. Nümuneye Alma.....	39
2.2.3.5.2. Ham Yağ Tayini.....	39
2.2.3.5.3. Ham Protein Tayini.....	40
2.2.3.5.4. Ham Lif Tayini.....	41
2.2.4. Deneysel Hesaplama Yöntemi.....	41
2.2.4.1. Fındığın Küresellik Oranı.....	42
2.2.4.2. Isı Transfer Parametrelerinin Belirlenmesinde Uygulanan Hesap Yöntemi.....	43
2.2.4.3. Kütle Transferinin Belirlenmesinde Uygulanan Hesap Yöntemi.....	43
3. BULGULAR.....	47
4. İRDELEME.....	56
5. SONUÇLAR.....	58
6. ÖNERİLER.....	59

7. KAYNAKLAR.....	60
8. EKLER.....	66
8.1. Fındığın literatür bilgileri.....	66
8.2. Deneylerde ölçülen kurutma havası ve fındık merkez sıcaklık grafikleri.....	70
8.3. Fındık partilerindeki nemin zamana göre değişim grafikleri.....	91
8.4. Deneyler sonunda elde edilen difüzyon grafikleri.....	105
9. ÖZGEÇMİŞ.....	134



ÖZET

Gıda maddelerinin kurutularak kullanılması, günümüzde çok yaygın olarak görülmektedir. Dolayısıyla gıda maddelerinin kurutulması gıda sanayisinde oldukça geniş uygulama alanı bulmaktadır. Kurutma işlemleri pratikte çoğunlukla ilkel olarak uygulanmaktadır. Bu da ürünü çeşitli zararlı etkenlerden koruyamamakta ve her yıl çok büyük ürün kaybına sebep olmaktadır. Teknolojik özellikleri bilinmeyen gıdaların kurutulmasında değişik zorluklarla karşılaşmaktadır. Doğal kurutmada, gıdaların teknolojik özelliklerinin bilinmesi yeterli olmamaktadır. Çünkü doğal kurutma şartlarını gıdanın teknolojik özelliklerine göre ayarlayabilmek oldukça zordur. Bu nedenle istenilen kurutma şartlarını elde edebilmek ve kurutma esnasında gıdaya zarar verebilecek etkenleri ortadan kaldırabilmek için suni kurutma işlemini tercih etmek en iyi yoldur.

Bu çalışmada, dalından toplanmış, nem oranı yüksek fındığın, kurutulması için kurutma şartlarının belirlenmesi ele alınmıştır. Fındığın kurummasına etki eden faktörlerin belirlenmesi ile optimum kuruma şartının elde edilmesi amaçlandı. Çalışma kapsamında, kurutma havasının sıcaklığı, nemi, hızı ve sergi kalınlığının, denge neminin ve fındığın geometrik şeklinin, fındığın kurutulmasındaki etkinliği incelendi. Bu maksatla, fındık kurutmada etken olan bu parametreleri inceleyebilmek amacıyla KTÜ Müh. MİM. Fak. Makina Mühendisliği Termodinamik Laboratuvarında bir deney düzeneği imal edilmiştir. Deney düzeneği, kurutma havasının şartlandırılmasında en önemli kriterler olan, havanın yaş ve kuru termometre sıcaklığı, özgül nemi ve hızının ölçümleri dikkate alınarak dizayn edildi.

Çalışmalar, kurutma havasının dört farklı bağıl neminde (% 0.45-0.70 arası), beş farklı sıcaklığında (25-50°C arası) ve üç farklı hızlarında (0.2-0.6 m/s arası) yapıldı.

Yapılan deneyler sonunda, Tombul fındığın ortalama olarak üç günde kurumakta olduğu tesbit edildi. Bu süre fındığın başlangıç nemine bağlı olarak değişmektedir. Çalışma sonucunda tombul fındığın içindeki sıcaklık dağılımı, ısı iletim katsayısı, ısı taşınım katsayısı ve sıcaklığa bağlı olarak difüzyon katsayısı belirlendi.

Anahtar Kelimeler: Fındık, Kurutma, Difüzyon Katsayısı, Isı Taşınım Katsayısı, Bağıl Nem.

SUMMARY

DETERMINATION OF HAZELNUT DRYING CONDITIONS

The drying of foods is widely used in practical applications. Natural sun drying of products has been used in a primitive manner for many years. In this technique, production can not be protected from harmful effects, and a large amount of products can be damaged. When the therm physical properties of food products are not known, several difficulties take place in the drying applications. In the natural drying, the information on the therm physical properties of the foods is not sufficient for the control of natural sun drying conditions with relation to the foods therm physical properties. So that, in order to obtain desired drying conditions and to get ride of harmful effects in a drying process artificial drying applications can be considered the best way.

In this study, the drying conditions have been investigated for the hazelnut which were harvested on commercial farms at high moisture content. The main objective of this study is to determine the effects of drying parameters on the hazelnut-drying process and to obtain optimum hazelnut drying conditions. The experimental apparatus is designed and built in the Department of Mechanical Engineering of Karadeniz Technical University for measurement the air-dry and wet bulb temperatures, specific moistures and velocities .

In the drying experiments, relative humidity, temperature and velocity of drying air were selected as 0.45-0.70 %, 25-50 °C and 0.2-0.6 m/s respectively.

Drying times of Tombul hazelnut were estimated approximately three day, and this period was varied with the moisture content of hazelnut. As a result of this study, the temperature variation in Tombul hazelnut and average heat transfer coefficient and diffusion coefficient of hazelnut in conjunction with the drying air temperature are estimated.

Key Words : Hazelnut, Drying, Coefficient of diffusion, Relative humidity, Coefficient of heat convection

ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1. Nem sorpsiyon izotermi.....	12
Şekil 2. Adsorpsiyon ve desorpsiyon izotermi.....	13
Şekil 3. Çeşitli maddelerin sorpsiyon izoterm eğrileri.....	14
Şekil 4. Özgül nemin bir fonksiyonu olarak kurutma hızının değişimi.....	15
Şekil 5. Kurutma eğrisinin zamana göre değişimi.....	15
Şekil 6. Fındığın kurutulmasında uygulanan işlem akış şeması.....	29
Şekil 7. Dene düzenineşinin şematik görünüşü.....	30
Şekil 8. Dene düzenineşinden bir görünüş.....	31
Şekil 9. Dene düzenineşinde kanalların klima odasına bağlanışı.....	31
Şekil 10. Şartlandırma odasının klimaya bağlanışı.....	32
Şekil 11. Klima santralından bir görünüş.....	32
Şekil 12. Sistemin psikrometrik diyagramı.....	33
Şekil 13. Isı Transfer Parametrelerinin ve sıcaklık dağılımının belirlendiğı dene düzenineş.....	35
Şekil 14. Denge nem tayin düzenineş.....	36
Şekil 15. Termoelemanların bilgisayara bağlantı sistemi.....	37
Şekil 16. Şekil değeri için dikkate alınan fındık boyutları.....	42
Şekil 17. Katmansız kürede, çeşitli Bi sayıları için merkez sıcaklığının zamanla değışımi.....	44
Şekil 18. Fındıkta \bar{M}_{av} -t değışımi.....	45
Şekil 19. Fındıkta \bar{M}_{av} - τ 'nın kurutma parametresi B'ye göre değışımi.....	46
Şekil 20. Fındıkta türetilen D_e - \bar{M}_{av} bağıntılarının eğrileri.....	46
Şekil 21. Fındığın soğuma eğrisi.....	48
Şekil 22. Fındık içerisinde sıcaklık dağılımı.....	49
Şekil 23. Deneşlerde kurutma havasının ve fındık merkez sıcaklığının değışımi (U=0.6m/s)....	49
Şekil 24. Deneşlerde kurutma havasının ve fındık merkez sıcaklığının değışımi (U=0.3m/s)....	50
Şekil 25. Deneşlerde kurutma havası sıcaklığının değışımi (U=0.2m/s).....	50
Şekil 26. Fındıkta \bar{M}_{av} -t değışımi (T=45°C, ϕ =0.60).....	51
Şekil 27. Fındıkta \bar{M}_{av} -t değışımi (T=40°C, ϕ =0.70).....	51
Şekil 28. Fındıkta \bar{M}_{av} -t değışımi (T=33°C, ϕ =0.45).....	52

Şekil 29. Tombul fındığın denge nemi eğrisi ($T=20^{\circ}\text{C}$).....	52
Şekil 30. Fındık difüzyon katsayısı D_e 'nin kurutma havası sıcaklığı ve hızıyla değişimi.....	53
Şekil 31. Fındık kurutmada $\bar{M}_{av}-\tau$ 'nin teorik ve deneysel değişimi ($T=40^{\circ}\text{C}$, $\phi=0.60$, $u=0.3\text{m/s}$).....	57
Şekil 32. Fındık kurutmada $\bar{M}_{av}-\tau$ 'nin teorik ve deneysel değişimi ($T=25^{\circ}\text{C}$, $\phi=0.60$, $u=0.3\text{m/s}$).....	57
Ek Şekil 1. Fındığın meyve boyutları ve şekil değerinin hesabı.....	67
Ek Şekil 2. 1. Deneysel kurutma havası ve fındık merkez sıcaklığının değişimi ($u=0.6\text{m/s}$, $\phi=0.60$).....	70
Ek Şekil 3. 1. Deneysel kurutma havası ve fındık merkez sıcaklığının değişimi ($u=0.3\text{m/s}$, $\phi=0.60$).....	70
Ek Şekil 4. 1. Deneysel kurutma havası sıcaklığının değişimi ($u=0.2\text{m/s}$, $\phi=0.60$).....	71
Ek Şekil 5. 9. Deneysel kurutma havası ve fındık merkez sıcaklığının değişimi ($u=0.6\text{m/s}$, $\phi=0.60$).....	71
Ek Şekil 6. 9. Deneysel kurutma havası ve fındık merkez sıcaklığının değişimi ($u=0.3\text{m/s}$, $\phi=0.60$).....	72
Ek Şekil 7. 9. Deneysel kurutma havası sıcaklığının değişimi ($u=0.2\text{m/s}$, $\phi=0.60$).....	72
Ek Şekil 8. 3. Deneysel kurutma havası ve fındık merkez sıcaklığının değişimi ($u=0.6\text{m/s}$, $\phi=0.60$).....	73
Ek Şekil 9. 3. Deneysel kurutma havası ve fındık merkez sıcaklığının değişimi ($u=0.3\text{m/s}$, $\phi=0.60$).....	73
Ek Şekil 10. 3. Deneysel kurutma havası sıcaklığının değişimi ($u=0.2\text{m/s}$, $\phi=0.60$).....	74
Ek Şekil 11. 15. Deneysel kurutma havası ve fındık merkez sıcaklığının değişimi ($u=0.6\text{m/s}$, $\phi=0.45$).....	74
Ek Şekil 12. 15. Deneysel kurutma havası ve fındık merkez sıcaklığının değişimi ($u=0.3\text{m/s}$, $\phi=0.45$).....	75
Ek Şekil 13. 15. Deneysel kurutma havası sıcaklığının değişimi ($u=0.2\text{m/s}$, $\phi=0.45$).....	75
Ek Şekil 14. 11. Deneysel kurutma havası ve fındık merkez sıcaklığının değişimi ($u=0.6\text{m/s}$, $\phi=0.45$).....	76
Ek Şekil 15. 11. Deneysel kurutma havası ve fındık merkez sıcaklığının değişimi ($u=0.3\text{m/s}$, $\phi=0.45$).....	76
Ek Şekil 16. 11. Deneysel kurutma havası sıcaklığının değişimi ($u=0.2\text{m/s}$, $\phi=0.45$).....	77

Ek Şekil 17. 7. Deney kurutma havası ve findık merkez sıcaklığının değişimi ($u=0.6\text{m/s}$, $\phi=0.45$).....	77
Ek Şekil 18. 7. Deney kurutma havası ve findık merkez sıcaklığının değişimi ($u=0.3\text{m/s}$, $\phi=0.45$).....	78
Ek Şekil 19. 7. Deney kurutma havası sıcaklığının değişimi ($u=0.2\text{m/s}$, $\phi=0.45$).....	78
Ek Şekil 20. 2. Deney kurutma havası ve findık merkez sıcaklığının değişimi ($u=0.6\text{m/s}$, $\phi=0.45$).....	79
Ek Şekil 21. 2. Deney kurutma havası ve findık merkez sıcaklığının değişimi ($u=0.3\text{m/s}$, $\phi=0.45$).....	79
Ek Şekil 22. 2. Deney kurutma havası sıcaklığının değişimi ($u=0.2\text{m/s}$, $\phi=0.45$).....	80
Ek Şekil 23. 18. Deney kurutma havası ve findık merkez sıcaklığının değişimi ($u=0.6\text{m/s}$, $\phi=0.70$).....	80
Ek Şekil 24. 18. Deney kurutma havası ve findık merkez sıcaklığının değişimi ($u=0.3\text{m/s}$, $\phi=0.70$).....	81
Ek Şekil 25. 18. Deney kurutma havası sıcaklığının değişimi ($u=0.2\text{m/s}$, $\phi=0.70$).....	81
Ek Şekil 26. 14. Deney kurutma havası ve findık merkez sıcaklığının değişimi ($u=0.6\text{m/s}$, $\phi=0.70$).....	82
Ek Şekil 27. 14. Deney kurutma havası ve findık merkez sıcaklığının değişimi ($u=0.3\text{m/s}$, $\phi=0.70$).....	82
Ek Şekil 28. 14. Deney kurutma havası sıcaklığının değişimi ($u=0.2\text{m/s}$, $\phi=0.70$).....	83
Ek Şekil 29. 10. Deney kurutma havası ve findık merkez sıcaklığının değişimi ($u=0.6\text{m/s}$, $\phi=0.70$).....	83
Ek Şekil 30. 10. Deney kurutma havası ve findık merkez sıcaklığının değişimi ($u=0.3\text{m/s}$, $\phi=0.70$).....	84
Ek Şekil 31. 10. Deney kurutma havası sıcaklığının değişimi ($u=0.3\text{m/s}$, $\phi=0.70$).....	84
Ek Şekil 32. 4. Deney kurutma havası ve findık merkez sıcaklığının değişimi ($u=0.3\text{m/s}$, $\phi=0.70$).....	85
Ek Şekil 33. 4. Deney kurutma havası ve findık merkez sıcaklığının değişimi ($u=0.3\text{m/s}$, $\phi=0.70$).....	85
Ek Şekil 34. 4. Deney kurutma havası sıcaklığının değişimi ($u=0.3\text{m/s}$, $\phi=0.70$).....	86
Ek Şekil 35. 1. Deney kurutma havası ve findık merkez sıcaklığının değişimi	

($u=0.3\text{m/s}$, $\phi=0.55$).....	86
Ek Şekil 36. 16. Deney kurutma havası ve fındık merkez sıcaklığının değişimi ($u=0.3\text{m/s}$, $\phi=0.55$).....	87
Ek Şekil 37. 16. Deney kurutma havası sıcaklığının değişimi ($u=0.3\text{m/s}$, $\phi=0.55$).....	87
Ek Şekil 38. 12. Deney kurutma havası ve fındık merkez sıcaklığının değişimi ($u=0.6\text{m/s}$, $\phi=0.55$).....	88
Ek Şekil 39. 12. Deney kurutma havası ve fındık merkez sıcaklığının değişimi ($u=0.3\text{m/s}$, $\phi=0.55$).....	88
Ek Şekil 40. 12. Deney kurutma havası sıcaklığının değişimi ($u=0.2\text{m/s}$, $\phi=0.55$).....	89
Ek Şekil 41. 12. Deney kurutma havası ve fındık merkez sıcaklığının değişimi ($u=0.6\text{m/s}$, $\phi=0.55$).....	89
Ek Şekil 42. 12. Deney kurutma havası ve fındık merkez sıcaklığının değişimi ($u=0.3\text{m/s}$, $\phi=0.55$).....	90
Ek Şekil 43. 12. Deney kurutma havası sıcaklığının değişimi ($u=0.2\text{m/s}$, $\phi=0.55$).....	90
Ek Şekil 44. Fındıkta \bar{M}_{av} -t değişimi ($\phi=0.45$, $u=0.3\text{ m/s}$).....	91
Ek Şekil 45. Fındıkta \bar{M}_{av} -t değişimi ($\phi=0.55$, $u=0.3\text{ m/s}$).....	91
Ek Şekil 46 Fındıkta \bar{M}_{av} -t değişimi ($\phi=0.60$, $u=0.3\text{ m/s}$).....	92
Ek Şekil 47. Fındıkta \bar{M}_{av} -t değişimi ($\phi=0.70$, $u=0.3\text{ m/s}$).....	92
Ek Şekil 48. Fındıkta \bar{M}_{av} -t değişimi ($\phi=0.45$, $u=0.2\text{ m/s}$).....	93
Ek Şekil 49. Fındıkta \bar{M}_{av} -t değişimi ($\phi=0.55$, $u=0.2\text{ m/s}$).....	93
Ek Şekil 50. Fındıkta \bar{M}_{av} -t değişimi ($\phi=0.60$, $u=0.2\text{ m/s}$).....	94
Ek Şekil 51. Fındıkta \bar{M}_{av} -t değişimi ($\phi=0.70$, $u=0.2\text{ m/s}$).....	94
Ek Şekil 52. Fındıkta \bar{M}_{av} -t değişimi ($\phi=0.45$, $u=0.6\text{ m/s}$).....	95
Ek Şekil 53. Fındıkta \bar{M}_{av} -t değişimi ($\phi=0.55$, $u=0.6\text{ m/s}$).....	95
Ek Şekil 54. Fındıkta \bar{M}_{av} -t değişimi ($\phi=0.60$, $u=0.6\text{ m/s}$).....	96
Ek Şekil 55. Fındıkta \bar{M}_{av} -t değişimi ($\phi=0.70$, $u=0.6\text{ m/s}$).....	96
Ek Şekil 56. Fındıkta \bar{M}_{av} -t değişimi ($T=30^\circ\text{C}$, $u=0.3\text{ m/s}$).....	97
Ek Şekil 57. Fındıkta \bar{M}_{av} -t değişimi ($T=33^\circ\text{C}$, $u=0.3\text{ m/s}$).....	97
Ek Şekil 58. Fındıkta \bar{M}_{av} -t değişimi ($T=35^\circ\text{C}$, $u=0.3\text{ m/s}$).....	98
Ek Şekil 59. Fındıkta \bar{M}_{av} -t değişimi ($T=70^\circ\text{C}$, $u=0.3\text{ m/s}$).....	98
Ek Şekil 60. Fındıkta \bar{M}_{av} -t değişimi ($T=45^\circ\text{C}$, $u=0.3\text{ m/s}$).....	99

Ek Şekil 61. Fındıkta \bar{M}_{av} -t değişimi (T=30°C, u=0.2 m/s).....	99
Ek Şekil 62. Fındıkta \bar{M}_{av} -t değişimi (T=33°C, u=0.2 m/s).....	100
Ek Şekil 63. Fındıkta \bar{M}_{av} -t değişimi (T=35°C, u=0.2 m/s).....	100
Ek Şekil 64. Fındıkta \bar{M}_{av} -t değişimi (T=40°C, u=0.2 m/s).....	101
Ek Şekil 65. Fındıkta \bar{M}_{av} -t değişimi (T=45°C, u=0.3 m/s).....	101
Ek Şekil 66. Fındıkta \bar{M}_{av} -t değişimi (T=30°C, u=0.6 m/s).....	102
Ek Şekil 67. Fındıkta \bar{M}_{av} -t değişimi (T=33°C, u=0.6 m/s).....	102
Ek Şekil 68. Fındıkta \bar{M}_{av} -t değişimi (T=35°C, u=0.6 m/s).....	103
Ek Şekil 69. Fındıkta \bar{M}_{av} -t değişimi (T=40°C, u=0.6 m/s).....	103
Ek Şekil 70. Fındıkta \bar{M}_{av} -t değişimi (T=45°C, u=0.6 m/s).....	104
Ek Şekil 71. Fındıkta D_e - \bar{M}_{av} değişimi (T=45°C, ϕ =0.45, u=0.2 m/s).....	105
Ek Şekil 72. Fındıkta D_e - \bar{M}_{av} değişimi (T=45°C, ϕ =0.45, u=0.3 m/s).....	105
Ek Şekil 73. Fındıkta D_e - \bar{M}_{av} değişimi (T=45°C, ϕ =0.45, u=0.6 m/s).....	106
Ek Şekil 74. Fındıkta D_e - \bar{M}_{av} değişimi (T=40°C, ϕ =0.45, u=0.2 m/s).....	106
Ek Şekil 75. Fındıkta D_e - \bar{M}_{av} değişimi (T=40°C, ϕ =0.45, u=0.3 m/s).....	107
Ek Şekil 76. Fındıkta D_e - \bar{M}_{av} değişimi (T=40°C, ϕ =0.45, u=0.6 m/s).....	107
Ek Şekil 77. Fındıkta D_e - \bar{M}_{av} değişimi (T=35°C, ϕ =0.45, u=0.2 m/s).....	108
Ek Şekil 78. Fındıkta D_e - \bar{M}_{av} değişimi (T=35°C, ϕ =0.45, u=0.3 m/s).....	108
Ek Şekil 79. Fındıkta D_e - \bar{M}_{av} değişimi (T=35°C, ϕ =0.45, u=0.6 m/s).....	109
Ek Şekil 80. Fındıkta D_e - \bar{M}_{av} değişimi (T=30°C, ϕ =0.45, u=0.2 m/s).....	109
Ek Şekil 81. Fındıkta D_e - \bar{M}_{av} değişimi (T=30°C, ϕ =0.45, u=0.3 m/s).....	110
Ek Şekil 82. Fındıkta D_e - \bar{M}_{av} değişimi (T=30°C, ϕ =0.45, u=0.6 m/s).....	110
Ek Şekil 83. Fındıkta D_e - \bar{M}_{av} değişimi (T=45°C, ϕ =0.70, u=0.2 m/s).....	111
Ek Şekil 84. Fındıkta D_e - \bar{M}_{av} değişimi (T=45°C, ϕ =0.70, u=0.3 m/s).....	111
Ek Şekil 85. Fındıkta D_e - \bar{M}_{av} değişimi (T=45°C, ϕ =0.70, u=0.6 m/s).....	112
Ek Şekil 86. Fındıkta D_e - \bar{M}_{av} değişimi (T=40°C, ϕ =0.70, u=0.2 m/s).....	112
Ek Şekil 87. Fındıkta D_e - \bar{M}_{av} değişimi (T=40°C, ϕ =0.70, u=0.3 m/s).....	113
Ek Şekil 88. Fındıkta D_e - \bar{M}_{av} değişimi (T=40°C, ϕ =0.70, u=0.6 m/s).....	113
Ek Şekil 89. Fındıkta D_e - \bar{M}_{av} değişimi (T=35°C, ϕ =0.70, u=0.2 m/s).....	114
Ek Şekil 90. Fındıkta D_e - \bar{M}_{av} değişimi (T=35°C, ϕ =0.70, u=0.3 m/s).....	114
Ek Şekil 91. Fındıkta D_e - \bar{M}_{av} değişimi (T=35°C, ϕ =0.70, u=0.6 m/s).....	115

Ek Şekil 92. Fındıkta $D_e-\bar{M}_{av}$ değişimi ($T=30^\circ\text{C}$, $\phi=0.70$, $u=0.2$ m/s).....	115
Ek Şekil 93. Fındıkta $D_e-\bar{M}_{av}$ değişimi ($T=30^\circ\text{C}$, $\phi=0.70$, $u=0.3$ m/s).....	116
Ek Şekil 94. Fındıkta $D_e-\bar{M}_{av}$ değişimi ($T=30^\circ\text{C}$, $\phi=0.70$, $u=0.6$ m/s).....	116
Ek Şekil 95. Fındıkta $D_e-\bar{M}_{av}$ değişimi ($T=45^\circ\text{C}$, $\phi=0.55$, $u=0.2$ m/s).....	117
Ek Şekil 96. Fındıkta $D_e-\bar{M}_{av}$ değişimi ($T=45^\circ\text{C}$, $\phi=0.55$, $u=0.3$ m/s).....	117
Ek Şekil 97. Fındıkta $D_e-\bar{M}_{av}$ değişimi ($T=45^\circ\text{C}$, $\phi=0.55$, $u=0.6$ m/s).....	118
Ek Şekil 98. Fındıkta $D_e-\bar{M}_{av}$ değişimi ($T=40^\circ\text{C}$, $\phi=0.55$, $u=0.2$ m/s).....	118
Ek Şekil 99. Fındıkta $D_e-\bar{M}_{av}$ değişimi ($T=40^\circ\text{C}$, $\phi=0.55$, $u=0.3$ m/s).....	119
Ek Şekil 100. Fındıkta $D_e-\bar{M}_{av}$ değişimi ($T=40^\circ\text{C}$, $\phi=0.55$, $u=0.6$ m/s).....	119
Ek Şekil 101. Fındıkta $D_e-\bar{M}_{av}$ değişimi ($T=35^\circ\text{C}$, $\phi=0.55$, $u=0.2$ m/s).....	120
Ek Şekil 102. Fındıkta $D_e-\bar{M}_{av}$ değişimi ($T=35^\circ\text{C}$, $\phi=0.55$, $u=0.3$ m/s).....	120
Ek Şekil 103. Fındıkta $D_e-\bar{M}_{av}$ değişimi ($T=35^\circ\text{C}$, $\phi=0.55$, $u=0.6$ m/s).....	121
Ek Şekil 104. Fındıkta $D_e-\bar{M}_{av}$ değişimi ($T=33^\circ\text{C}$, $\phi=0.45$, $u=0.2$ m/s).....	121
Ek Şekil 105. Fındıkta $D_e-\bar{M}_{av}$ değişimi ($T=33^\circ\text{C}$, $\phi=0.45$, $u=0.3$ m/s).....	122
Ek Şekil 106. Fındıkta $D_e-\bar{M}_{av}$ değişimi ($T=33^\circ\text{C}$, $\phi=0.45$, $u=0.6$ m/s).....	122
Ek Şekil 107. Fındıkta $D_e-\bar{M}_{av}$ değişimi ($T=40^\circ\text{C}$, $\phi=0.70$, $u=0.2$ m/s).....	123
Ek Şekil 108. Fındıkta $D_e-\bar{M}_{av}$ değişimi ($T=40^\circ\text{C}$, $\phi=0.70$, $u=0.3$ m/s).....	123
Ek Şekil 109. Fındıkta $D_e-\bar{M}_{av}$ değişimi ($T=40^\circ\text{C}$, $\phi=0.70$, $u=0.6$ m/s).....	124
Ek Şekil 110. Fındıkta $D_e-\bar{M}_{av}$ değişimi ($T=25^\circ\text{C}$, $\phi=0.60$, $u=0.2$ m/s).....	124
Ek Şekil 111. Fındıkta $D_e-\bar{M}_{av}$ değişimi ($T=25^\circ\text{C}$, $\phi=0.60$, $u=0.3$ m/s).....	125
Ek Şekil 112. Fındıkta $D_e-\bar{M}_{av}$ değişimi ($T=25^\circ\text{C}$, $\phi=0.60$, $u=0.6$ m/s).....	125
Ek Şekil 113. Fındıkta $D_e-\bar{M}_{av}$ değişimi ($T=40^\circ\text{C}$, $\phi=0.60$, $u=0.2$ m/s).....	126
Ek Şekil 114. Fındıkta $D_e-\bar{M}_{av}$ değişimi ($T=40^\circ\text{C}$, $\phi=0.60$, $u=0.3$ m/s).....	126
Ek Şekil 115. Fındıkta $D_e-\bar{M}_{av}$ değişimi ($T=40^\circ\text{C}$, $\phi=0.60$, $u=0.6$ m/s).....	127
Ek Şekil 116. Fındıkta $D_e-\bar{M}_{av}$ değişimi ($T=35^\circ\text{C}$, $\phi=0.60$, $u=0.2$ m/s).....	127
Ek Şekil 117. Fındıkta $D_e-\bar{M}_{av}$ değişimi ($T=35^\circ\text{C}$, $\phi=0.60$, $u=0.3$ m/s).....	128
Ek Şekil 118. Fındıkta $D_e-\bar{M}_{av}$ değişimi ($T=35^\circ\text{C}$, $\phi=0.60$, $u=0.6$ m/s).....	128
Ek Şekil 119. Fındıkta $D_e-\bar{M}_{av}$ değişimi ($T=30^\circ\text{C}$, $\phi=0.60$, $u=0.2$ m/s).....	129
Ek Şekil 120. Fındıkta $D_e-\bar{M}_{av}$ değişimi ($T=30^\circ\text{C}$, $\phi=0.60$, $u=0.3$ m/s).....	129
Ek Şekil 121. Fındıkta $D_e-\bar{M}_{av}$ değişimi ($T=30^\circ\text{C}$, $\phi=0.60$, $u=0.6$ m/s).....	130
Ek Şekil 122. Fındıkta $D_e-\bar{M}_{av}$ değişimi ($T=33^\circ\text{C}$, $\phi=0.60$, $u=0.2$ m/s).....	130

Ek Şekil 123. Fındıkta $D_e-\bar{M}_{av}$ değişimi ($T=33^\circ\text{C}$, $\phi=0.60$, $u=0.3$ m/s).....	131
Ek Şekil 124. Fındıkta $D_e-\bar{M}_{av}$ değişimi ($T=33^\circ\text{C}$, $\phi=0.60$, $u=0.6$ m/s).....	131
Ek Şekil 125. Fındıkta $D_e-\bar{M}_{av}$ değişimi ($T=45^\circ\text{C}$, $\phi=0.60$, $u=0.2$ m/s).....	132
Ek Şekil 126. Fındıkta $D_e-\bar{M}_{av}$ değişimi ($T=45^\circ\text{C}$, $\phi=0.60$, $u=0.3$ m/s).....	132
Ek Şekil 127. Fındıkta $D_e-\bar{M}_{av}$ değişimi ($T=45^\circ\text{C}$, $\phi=0.60$, $u=0.6$ m/s).....	133



TABLO LİSTESİ

Sayfa No

Tablo 1. Sudaki doymuş çözeltileri, bulunduğu ortamı farklı bağıl nemde tutan maddeler.....	12
Tablo 2. Kurutma deney bulguları.....	54
Tablo 3. Fındık partilerinin iç fındık kimyasal analizi.....	55
Tablo 4. Duyusal değerlendirme analiz sonuçları (tombul fındık).....	55
Ek Tablo 1. Fındık meyvelerinin şekil (pamolojik) grupları ve bu gruplara giren kültür çeşitleri	66
Ek Tablo 2. Kabuklu fındıklarda bazı nitelik değerlerinin karşılaştırılması.....	68
Ek Tablo 3. Dünya fındık üretimi (bin ton-kabuklu/yıl).....	69
Ek Tablo 4. Türkiye'nin yıllara göre fındık ihracatı.....	69

SEMBOL LİSTESİ

a [m^2/s]	: Isı yayınım katsayısı
a, b	: (41) denkleminin katsayıları
A_j	: Sabit
B	: Kurutma parametresi
B_j	: Sabit
Bi	: Biyot sayısı
C [$1/s$]	: Soğutma katsayısı
C_j	: Sabit
c_p [kJ/kgK]	: Özgül ısı
D [m^2/dak]	: Difüzyon katsayısı
D_j	: Sabit
$ Fo$: Fourier sayısı
h [W/m^2K]	: Isı taşınım katsayısı
J	: Gecikme faktörü
k [W/mK]	: Isı iletim katsayısı
M_{av} [%]	: Nem içeriği
N_A [gr/lt]	: Asitin normalitesi
N_B [gr/lt]	: Bazın normalitesi
q [W/m^2]	: Isı akısı
R [m]	: Fındık yarı çapı
r [m]	: Radyal koordinat
S_A [ml]	: Asitin sarfiyatı
S_B [ml]	: Bazın sarfiyatı
t [s]	: Zaman
T [$^{\circ}C$]	: Sıcaklık
V [m^3]	: Hacim
W [%]	: Su içeriği
θ [$^{\circ}C$]	: Sıcaklık farkı ($T-T_a$)
μ	: Transcendental denklemin kökü
ρ [kg/m^3]	: Yoğunluk
τ	: Boyutsuz zaman
λ	: $(D_j \Delta \tau / (\Delta r)^2)$

Alt indisler:

- a : Kanaldaki hava sıcaklığı
- ϕ : Çıkış
- e : Denge değeri
- g : Giriş
- i : İlk değer
- j : Nokta sayısı
- k : Katman sayısı
- m : Merkez
- n : Kök sayısı
- w : Ürün sıcaklığı
- 0 : $t=0$ değeri
- 1,2,3 : Katman numarası
- ∞ : Ortam sıcaklığı

Üst indisler:

- * : Boyutsuz büyüklük
- + : $\tau+\Delta\tau$ anındaki değer
- : Avaraj değeri

1. GENEL BİLGİLER

1.1. Giriş

Doğu Karadeniz Bölgesi'nin tipik ürünlerinden olan fındığın işleme teknolojisi geliştirilerek, fındığın daha erken dünya pazarlarına arzının sağlanması ülkemiz ekonomisi için kaçınılmazdır.

Türkiye fındık konusundaki yeni atılımların kaynağını ve temelini oluşturabilecek paha biçilmez değerlerde materyal, deneyim, bilgi birikimi, doğal kaynak ve potansiyele sahiptir. Nitekim üreticilerimiz, özellikle son 20 yıl içerisinde yüksek verimli ve düzenli bahçeler kurarak, modern bakım teknikleri ve şartların elverdiği ölçülerde mekanizasyon uygulayarak kaliteli ve düşük maliyetli fındık yetiştirebilmektedir.

Ancak ticarete sunulan fındığın en önemli işleme devresi olan kurutma ne yazık ki bu gelişmelere ayak uyduramamıştır. Fındığın geleneksel yöntemlerle kurutulması için güneşli ve yağışsız günlere ihtiyaç vardır. Fındık hasat sezonunda yörenin ekolojik yapısından dolayı, bir biri ardına devam eden güneşli günlere pek ender rastlanmaktadır. Fındık hasat sezonunda sürekli bir fındık kurutma fırsatı bulmak genellikle çok zor olmaktadır. Yapay kurutucular ise, ülkemizde fındık kurutma alanında henüz uygulama imkanı bulamamıştır. Üretici ekonomik nedenlerden ötürü fındığı erken satabilmek için, fındığını erken harmanlamak zorunda kalmaktadır. Bu ise fındığın kalitesinin düşmesine neden olmaktadır [1].

Günümüzde uygulanan geleneksel fındık kurutma yönteminde karşılaşılan zorluklar ve meydana gelen ürün kayıpları çok fazladır. Geleneksel kurutma işlemi için, uygun yer tayini, olayı takip etme, hava şartlarının tayini ve kurutma sonunun tesbiti oldukça zordur. Yapay kurutmada ise kurutma parametrelerinin kontrol ve tayini doğal kurutmaya oranla daha kolaydır. Ayrıca temizlik, kalite kontrol kolaylığı ve beklenmedik hava şartlarının zararlarından korunma gibi faktörler, yapay kurutmanın bazı üstünlüklerindedir.

Türkiye tüm dünya ülkeleri dikkate alındığında, en fazla fındık üreten ülke olup, dünya fındık üretiminin %70'ine sahiptir. Türkiye fındık ticaretinden yılda yaklaşık olarak 500 milyon dolar gelir sağlamaktadır [2]. Kaliteli ürün eldesi ile bu gelirin artması mümkündür. Türkiye'nin kalite açısından karşılaşmış olduğu en büyük sorunlardan birisi de kurutmanın iyi bir şekilde yapılamamasıdır. Uygun olmayan kurutma fındıkta, depolama, kırma ve ambalajlama sorunlarını beraberinde getirmektedir.

Bu nedenlerden dolayı, uygun kurutma sisteminin tasarımı ve imalatı zorunlu hale gelmiştir.

Sistem tasarımının yapılabilmesi için fındığın kurutma şartlarının belirlenmesi gerekmektedir. Optimum kurutma şartlarının belirlenmesi ile sanayi ve müstahsile yönelik pilot kurutma tesislerinin tasarımına geçilmelidir.

1.2. Literatür Çalışması

Fındık konusunda Türkiye'de TS 3074 kabuklu fındık, TS 3075 iç fındık olmak üzere iki standard geliştirilmiştir [3]. Bu standartlar, kabuklu ve iç fındığın tamamına, sınıflandırma ve özelliklerine, nümune alma, muayene ve deneylerine, piyasaya arz şekli ile denetleme esaslarına göre hazırlanmıştır.

Bıçakçı, M. ve Özkaya, L.[4,5] tasarlamış oldukları havalı güneş kolektörleri ile fındık kurutma deney düzeneğini Doğu Karadeniz Bölgesi için incelemiş olup, diğer bölgeler için de geçerli olduğunu belirtmişlerdir. Sistemde ısıtıcı olarak kanatlı soğuruculu düzlemsel havalı kolektörler kullanılmıştır. Yüksek sıcaklıklarda ($>50^{\circ}\text{C}$) kurutulan fındığın tadında bozulmalar tesbit edilmiştir.

Tunavelioğlu, A.T. [6,7], fındığın doğal kurutma ile dünya piyasalarına daha erken sürülebileceği ve bunun ise, Türkiye ekonomisine büyük bir katkı sağlayacağını ifade etmektedir. Örneğin; 1988 hasat yılında havaların bozuk gitmesi nedeniyle iyi kurutulmamış fındık Türkiye'ye büyük ekonomik kayıplara malolmuştur.

Sabır, S. [8], Türk fındığında kalite bakımından en mühim hususun kurutma olduğunu, ikincisinin ise vurgun olduğunu belirtmiştir. İyi kurutulmuş bir fındık partisinin içine sonradan harman artığı denilen fındıkların, yarım kurutma işleminden sonra karıştırılmasının dahi, depolanması sonucunda, fındıkta çürüme ve tadında bozulmaların olabildiğini belirtmektedir.

Karabay, H. ve Yıldırım, G. [1,9], fındığın yapay kurutma çalışmalarında, kurutma havasının sıcaklığı, hızı, nemi, birim alana yüklenen ürün miktarı ve yerleştirme şeklinin, fındığın kurumasına olan etkilerini araştırmışlardır. Sonuç olarak fındıklar, başlangıç nemine bağlı olmakla birlikte yaklaşık 2-3 günde kurutulabilmektedir. Kuruma şartlarına bağlı olarak yeşil fındığın yapay kurutulması sonucunda fındık tadında istenilmeyen bozulmalar ortaya çıkmaktadır. Ancak, kademeli ısıtma uygulandığı takdirde bu mahsur giderilebilmektedir. Dalından toplanmış fındığın kurutma sıcaklığı 40°C nin üzerine çıkınca fındığın biyolojik yapısında değişimler meydana gelmektedir.

Ayhan, T. ve diğeri [10], fındığın güneş enerjisinden de yararlanılarak kurutma teknolojisinin geliştirilmesi konusunda bir çalışma yapmışlardır. Bu çalışmada ince ve kalın serginin kurutmaya etkileri araştırılmıştır. Güneş enerjisi destekli ve enerji depolu ısı pompası sisteminin, yaz mevsimlerinde fındık kurutma için uygun olduğu belirlenmiştir. İnce serginin kalın sergiye oranla daha iyi kurutma sağladığı belirlenmiştir. Düşük kurutma hızlarının olumsuz etkileri belirlenmiştir. Geliştirilen matematik modelle fındık difüzyon katsayısı bulunmuştur.

Şahin, İ. ve diğeri [2], Orta ve Doğu Karadeniz Bölgesi'nde yetiştirilen fındık çeşitlerinin teknolojik özelliklerini araştırmışlardır. Sonuç olarak, fındıkların teknolojik yönden kalite etkeni olarak kabul edilen özelliklerinin öncelikle çeşidine, yıla, yöreye, bakıma, yöne ve arazinin eğimine göre az çok farklılık gösterdiği belirlenmiştir. Yapılan kimyasal ve fiziksel analizler ve duyu test sonuçlarında, beyazlatılmış ve kavrulmuş tane fındık üretimi için tad, bileşim, zar atma ve renk bakımından en uygun çeşitlerin tombul ve palaz tipi fındıkların olduğu ortaya çıkmıştır. Fındığın değerlendirilmesi üzerinde çalışan araştırmacıların diğer teknolojik özellikleri de kapsayan, daha çok sayıda örnek ve çeşitle çalışıp, yeni teknolojiler geliştirilmesi yönünde daha fazla çaba harcamaları gerekmektedir.

İlbaşı, S. [11], sert kabuklu meyvelerin soğuk ortamda muhafaza edilmesinde, muhafaza koşullarını etkileyen sıcaklık ve nem parametrelerini belirlemiştir. Yüksek sıcaklık, nem ve bunlara ilaveten yüksek güneş ışığı meyvelerde küflenmeyi artırmaktadır. En iyi muhafaza koşulları, düşük sıcaklık, düşük nem ve az ışık koşullarıdır.

Daloğlu, A. [12], örnek olarak fındığın alındığı, katmanlı kürede ısı transferini incelemiştir. Fındık katmanlı bir küre özelliği taşımakta olup, aradaki katmanın hava olması durumunda taşınım olan ısı transferinin çok küçük olması nedeniyle sadece iletimle ısı transferinin olduğu kabulü yapılmıştır. Katmanlı malzeme olarak fındığa uygun malzemeler seçilmiştir.

Ünal, A. ve Daloğlu, A. [13], küresel şekilli kompozit sistemlerde ısı transferinde, geçici rejimde bir boyutlu ısı iletim probleminin analitik ve nümerik çözümlerini elde etmiştir. Elde edilen sonuçlarla, fındık üzerinde yapılan çalışmaların uygun olduğu tespit edilmiştir.

Kanca, M.A. [14], fındığın fiziksel ve kimyasal analizlerini yapmıştır. Trabzon yöresinde yetiştirilen tombul ve sivri fındık örneklerinde, randıman, nem, kül, protein, karbonhidrat, ham lif ve yağ tainleri yapıp, FİSKOBİRLİK verileri ile karşılaştırılıp sonuçların uygunluğu görülmüştür.

Baş, F. [15], fındığın gerek kurutma, depolama ve nakliye ve gerekse işleme sırasında birçok

kalite kaybına ve bozulmalara uğramakta olduğunu ifade etmektedir. Bileşimlerinde yüksek oranda (%60-70) yağ içermeleri, fındıkların depolanmasında ve işlenmesinde büyük önem taşımaktadır. Meydana gelen bozulmalar, diğer yağlı gıda maddelerinde olduğu gibi fındıklarda da büyük çoğunlukla içerdikleri yüksek orandaki yağlardan meydana gelmektedir. Önemli fındık çeşitlerinin kabuklu ve iç fındık örneklerin muhafazası üzerinde yapılan çalışmalar sonucunda, en iyi muhafaza koşullarının, 1°C sıcaklık ve %50-60 bağıl nem olduğu belirlenmiştir. Bu koşullarda kabuklu fındık 24 ay, iç fındık 8 ay süre ile kaliteli olarak muhafaza edilmiştir. Doğal koşullarda 20°C sıcaklık ve %50-60 bağıl nemde muhafaza başarısız olmuştur. %5.12-6.36 nem içeren fındık örneklerinde, polietilen torbalar nem kaybını engellediği için küf oluşturmuştur. Muhafaza koşullarını en fazla etkileyen kriterin fındığın yağlı ve yağsız kısmındaki nem oranlarıdır. Bu durum fındık çeşitleri ve üretim yörelerine göre değişmektedir.

Keskin, H. [16], fındıktaki yağların genel olarak, ısı, ışık, su ve hava gibi dış etkenlerle, bakteri ve küf mantarları gibi mikroorganizmaların etkilerine karşı duyarlı olduğunu ifade etmektedir. Depolanmaları sırasında, bu etkiler altında olan yağlar, kimyasal olarak çok yönlü değişimlere uğrayarak bozulmaktadır.

Ayfer, M. [17], Tombul, Palaz ve Sivri fındık çeşitlerinin kabuklu ve kabuksuz olarak, 3 ve 6 ay muhafaza edilebildiğini tesbit etmiştir. Muhafaza sırasında kalite kayıplarının ve kalite ile yağ asitlerinin değişimleri arasındaki ilişkiler araştırılmıştır. Yapılan çalışmada muhafaza süresince yağ ve yağ asitlerinin oluşturduğu kalite bozuklukları tesbit edilmiştir. Sonuçta, yağ asitlerinin oranlarında meydana gelen değişimler belli nem ve sıcaklıklarla değişmektedir.

Baş, H. [18], fındık kırmada geliştirdiği yeni bir metodla, fındıkta kırma sonucu oluşan vurgun olayını çok düşük seviyelere indirebilmiştir. Kabuklu fındıklarda kabuk ile iç arasındaki ortalama çap farkının, değişen fındık boyutuyla doğru orantılı olması, küçük boyutlu fındıklardaki kırılma veriminin düşük olmasına neden teşkil etmektedir.

Dinçer, İ. ve Erdal, Y. [19], kurutma ile ilgili temel kavramlar ile açıklamaları incelemiş ve gıda maddelerinin kurutulması sırasındaki ısı ve kütle transferinin analizi için detaylı bilgi ve formülasyonu vermişlerdir.

Demirtaş, C. ve diğerleri [20], şartlandırılmış hava ile fındık kurutma şartlarının belirlenmesi amacı ile yeni bir deney düzeneği geliştirmişlerdir. Dalından toplanmış, nem oranı yüksek yaş fındığın yapay olarak kurutulması durumunda, fındığın kuruma şartlarının tayini ve bu şartların fındıkta doğurabileceği etkilerin deneysel olarak araştırılmasının yapıldığı bir kurutma deneyi

düzeneği kurmuşlardır.

Dinçer, İ. [21], küresel şekilli ürünlerin merkez, merkez ile yüzey arasındaki orta nokta ve yüzey kısımları için deneysel ve teorik boyutsuz sıcaklık dağılımlarını ortaya koymuştur. Elde edilen deneysel ve teorik sonuçlar arasında oldukça iyi bir uyum olduğunu belirlemiştir.

Can, A. [22], belirli kurutma koşullarında biyolojik ürünler içinden nem geçişinin kinetiği konusunda bir çalışma yapmıştır. Patates , elma, ekmekek mayası, yumurta akı gibi biyolojik ürünler içinden nem geçişini deneysel ve teorik olarak incelemiş olup deneysel sonuçlarını vermiştir.

Whitaker, S. [23], gözenekli yapıda ısı ve kütle transferini, yapıyı iki kısma ayırarak incelemiştir. Birincisi, içinde sürekli boşluğu olan sürekli katı yapı, ikincisi ise içinde sürekli boşluğu olan süreksiz katı yapıdır.

Schadler, N. ve Kast, W. [24], higroskopik olmayan cisimleri çeşitli sıvılarla doyurduktan sonra kurutmuştur. Sonuçta kurutucunun, sıvıların ve çeşitli yapılardaki cisimleri belirli bir şekilde değiştirerek deneysel ve teorik bulguları karşılaştırmıştır.

Berger, D. ve Pei, D.C.T. [25], kurutma hızını çeşitli iç ve dış parametrelere bağlı olarak incelemiştir.

Luikov, A.V. [26,27,28], kapiler gözenekli cisimlerde ısı ve kütle transferini incelemiş ve kendi adı ile anılan bir kurutma modeli geliştirmiştir. Gözenekli ortamlarda nem ve sıcaklığın zamana ve kurutulan malzemenin içindeki konumuna bağlı olarak değişimini gösteren denklemler geliştirmiştir.

Gupta, L.N. [29] ve Mikhailov, M.D. [30], hareketli buharlaşma cephesi tekniğini kullanarak kurutma probleminin sayısal çözümlerini vermiştir.

Semirnov, M.S. ve Lyssenko, V.I.L. [31], deneysel veriler kullanarak hata fonksiyonları yardımıyla kurutma eğrilerinin nasıl belirleneceği üzerinde durmuştur.

Stanisch, M.A. ve diğerleri [32], higroskopik gözenekli ortamlar için geliştirdikleri modellerini örnek bir kurutma işlemine uygulayarak teorik ve deneysel sonuçların uyum içinde olduğunu belirlemiştir.

Dutta, S.K. ve diğerleri [33], küresel taneciklerin kurutulması sonucu transfer katsayılarını belirlemiştir.

Eckert, E.R.G. ve Faghari, M. [34], bir yüzeyin sıcaklığının aniden daha yüksek bir değere çıkması durumunda, doymamış gözenekli malzeme tabakasında nem hareketini açıklayan genel

bir analiz vermiştir.

Wang, B.X. ve Fang, Z.H. [35], ıslak ve gözenekli ortamda ısı ve kütle transferi ve nem taşıma özelliklerinin belirlenmesi için bir yöntem geliştirmiştir. Isı ve kütle transferi için bağıntıları vermiştir.

1.3. Fındık Hakkında Genel Bilgiler

1.3.1. Fındığın Tarihçesi

Fındığa ilişkin ilk bulguların Milattan çok önce Doğu Asya'ya ait olduğu belirtilmekte ise de, ilk kültüre alınışının 2500 yıl önceye ait olduğu ve bunun da Trabzon ve çevresinde gerçekleştiği kaydedilmektedir [36].

Fındık tarımı, gerçekten uzun yıllar Doğu Karadeniz kıyı şeridinde sınırlı olarak, Giresun, Ordu, Trabzon, Rize ve Artvin illerinde yapılmışsa da, Karadeniz'in kıyı şeridinde batıya doğru bir yayılma göstermiş ve doğuda diğer ürünlere (çay ve turunçgiller) kaptırmış olduğu alandan daha fazlasını batıda kazandığı için, üretim alanında önemli bir artış göstermiştir. Karadeniz'in batısında Bolu, Sakarya, Kocaeli ve Zonguldak illerinde de fındık tarımına başlanmıştır [37,38].

Dünya ülkeleri dikkate alındığında, 1992 rakamlarına göre 657 bin ton olan toplam fındık üretiminin, % 75'ini Türkiye (531 bin ton), % 11'ini İtalya (73 bin ton), % 6'sını İspanya (33 bin ton), % 2'sini ABD (12 bin ton) ve % 1'ini Yunanistan gerçekleştirmiştir. Dünya fındık ihracatının da % 70-80'ini Türkiye gerçekleştirmektedir [39].

Ülke ekonomisinde bu kadar önemli olan bu tarım ürününün değerlendirilmesi uzun yıllar ihmal edilmiş, teknolojik özellikler ve teknoloji yönünden konuya önem verilmemiştir. Ancak son yıllarda, üretimi yapılan fındık çeşitlerinin fiziksel ve kimyasal bileşimi araştırılmaya başlanmıştır. Teknolojik değerlere ilişkin araştırmalar oldukça azdır.

1.3.2. Fındık Çeşitleri

Fındık türlerinin ayrılmasında en başta dikkate alınan nitelik, zurufun şekli ve yapısıdır. Aynı türe giren fındıklarda, meyve ve şekil değerleri geniş ölçüde değişebilir [40]. Ticaret ve standartlarda fındıklar, meyve şekli ve biçimlerine göre üç gruba (pamolojik grup)

ayrılmaktadır, Ek Tablo 1. Türlerine göre fındığın şekil değerleri çok değişmektedir. Ek Şekil 1'de fındığın şekil değerinin belirlenmesi ve Ek Tablo 2'de de türlerine göre kabuklu fındıklarda bazı nitelik değerlerinin karşılaştırması verilmiştir.

Fındık sahip olduğu yağ ve protein içeriği nedeniyle çok kıymetli bir gıda maddesidir. Türk fındıklarında yağ oranının % 60'ın üzerinde ve proteinin ise orta seviyede olduğu tesbit edilmiştir [2]. Ayrıca fındık bol miktarda vitamin de içermektedir [37].

1.3.3. Dünyada Fındık Üretimi ve Tüketimi

1.3.3.1. Üretim

Dünyada fındık beş kıta üzerinde üretilmekle birlikte en çok yetiştirildiği bölge Kuzey Anadolu'dur. Anadolu, fındığın anavatanı ve dünya üretiminin ilk yapıldığı yerlerden birisidir. Kuzey Anadolu'nun fındık üretimine elverişli ekolojik özelliklere sahip olması, dünyanın en kaliteli fındıkların burada yetiştirilmesine neden olmuştur [41].

Bugün dünyada ekonomik değeri yüksek olan fındık üretimine sahip başta Türkiye olmak üzere, İtalya, İspanya ve ABD'nin dışında, İran, BDT, Yunanistan, Portekiz, Fransa, Macaristan gibi ülkelerde de fındık yetiştirilmektedir. Bu ülkelerin çok küçük miktarlardaki üretimleri ile dünya fındık ticaretinde etkin olmadıkları görülmektedir [42]. Geçmiş yıllar için ülkelere göre dünya fındık üretimi Ek Tablo 3.'de verilmiştir [41, 43]. Ek Tablo 3.'de de görüldüğü gibi, dünyada en fazla fındık üretimi yapan ülke Türkiye'dir. Yıllardır dünya üretiminin % 70'ini sağlayan Türkiye 1961'li yıllarda 211.000 ha. olan fındık dikim alanları halen 410.000 ha.'ya yükselmiş bulunmaktadır. Ancak üretim alanlarında görülen bu artış verimlilikte görülmemiştir. Verimlilik 75 kg/dekar civarındadır [44].

Türkiye'nin fındık ticaretindeki payı yıllara göre % 70-80 arasında değişmekte olup, 1986 yılı itibariyle % 82 olmuştur. Bu ihracatın % 95'i Avrupa ülkelerine yöneliktir. Türkiye'deki fındık ihracatında FİSKOBİRLİK ve diğer özel kuruluşların 1985-1995 yılları arasında ihraç ettiği ürün miktarları ve elde ettiği gelir, Ek Tablo 4.'te verilmiştir [45].

AET ülkelerinin ihracatımızdaki payı yıllardır artış göstermekte olup, 1986 yılında % 75 olarak gerçekleşmiştir. Bir AET ülkesi olan Almanya'ya yönelen ihracatımız ise fındık

ihracatımızın % 50'sini teşkil etmektedir. İhracatımızda önem arz eden diğer ülkeler ise Fransa (% 8), BDT (%7.45), Avusturya (%6.6) ve İngiltere (%6) dir [45].

1.3.3.2. Tüketim

Dünyada sert kabuklu meyveler içinde %26-28 oranıyla en fazla tüketilen meyve fındıktır. Bunu sırayla, %20-22 ile badem, %18-20 ile Hint Bademi (Cashew nut), %15-16 ile ceviz, %10-11 ile Brezilya bademi (Brazil nut), %3 ile Antep fıstığı ve %1 ile Amerikan cevizi (Pecan) izlemektedir.

Fındık bir çok ülkede çeşitli şekilde tüketilmektedir. Herhangi bir işlem görmeden, doğrudan taze olarak tüketildiği gibi diğer yiyeceklere katkı malzemesi olarak da ilave edilerek tüketilmektedir. Fındık, dünya çikolata sanayinin en önemli hammaddesini oluşturmaktadır. Bu dalda fındıkla badem arasında büyük bir rekabet bulunmaktadır. Yapılan araştırmalar, fındığın şekerleme sanayinde de pazarı kapma yarışında olduğunu göstermektedir [41].

1.4. Kurutma Hakkında Genel Bilgiler

1.4.1. Kurutma

Kurutma kelimesi, genel anlamıyla bir maddenin bünyesinde bulunan nemin alınmasını belirtir. Fakat teknikte bu işlem çok değişik metodlarla yapıldığından, bu metotları birbirinden ayırmak için daha dar bir anlamda kullanılır. Buna göre teknik anlamda kurutma; bir katının bünyesinde bulunan nemin bir gaz akımı içinde buharlaştırılarak gaza geçirilmek suretiyle alınmasını belirtir [46]. Kısaca kurutma, katı bir maddeden uygun miktarda suyun uzaklaştırılması işlemidir. Şayet katıdaki su miktarı fazla ise, en basit olarak presleme veya santrifüjleme uygulanabilir. Bu tip bir işleme uygun değilse katı yüzeyine ısı transferi uygulanarak uçma (sublimasyon) veya buharlaşma yolu ile sağlanır. Bu ısı, katının gözeneklerinde bulunan nemin buharlaşmasında kullanılır. Dolayısıyla kurutma işleminde ısı ve kütle transferi birbirini tamamlayan iki unsur olarak değerlendirilir [47].

Kurutmanın pratik önemine ilaveten, kuramsal olarak incelenmesi akademisyenler tarafından da daima cazip bulunmuştur. Buna da sebep olarak kurutma mekanizmasının karmaşık ısı ve

kütle transferinin meydana geldiği bir ortama sahip olmasıdır. Bu sebeplerdendir ki kurutma konusunda kuramsal ve pratik olarak oldukça fazla çalışma yapılmış ve mekanizmalar değişik biçimlerde açıklanmıştır. Fakat bütün bu önerilere rağmen kurutma konusunun tam ve doğru olarak açıklandığı pek söylenememektedir. Hatta daha ileri gidilerek kurutmanın bir mühendislik işleminden ziyade bir sanat dalı olduğunu kabul edenlere bile rastlanmaktadır [1].

Endüstriyel katı maddelerin kurutulması mühendisliğin en önemli uğraşlarından biridir. İmalat sırasında kurutulmaya uğramayan katılar yok denecek kadar azdır. Tarım ürünleri açısından kurutma ise, en kolay ve en ucuz saklama yöntemlerinden biridir. Ayrıca kurutma işlemiyle tohumların filizlenme yetenekleri de daha uzun süre korunabilmektedir [10, 48, 49].

1.4.2. Kurutmanın İç ve Dış Koşulları

Bir katının kurutulması sırasında aynı anda iki temel prensip birden oluşur.

- a) Sıcak gazdan, katı bünyesinden buharlaşan sıvıya doğru "ısı transferi" ve
- b) Katının iç kısımlarından dış yüzeyine doğru, sıvı yada buhar olarak, dış yüzeyden sıcak gaz içine doğru ise "kütle transferi" işlemleridir.

Bu işlemleri belirleyen koşullar aynı zamanda kurutma işlemlerini de belirleyen koşullardır. Bunlar iki kısımda incelenir.

a) Katı bünyesindeki sıvının katı yüzeyine gelmesi sürecinde oluşan, iç difüzyon, kılcallık gibi iç koşullar.

b) Kurutucu olarak kullanılan sıcak gazın hızı, sıcaklığı ve nemi gibi dış koşullar.

Kurutma üzerinde yapılan araştırmalarda önceleri iç koşullara bağlı çalışmalar esas alındı. Son zamanlarda, daha kolay uygulama imkanları vermesi, daha çabuk tasarım ve değerlendirmeler yapılabilmesi, en önemlisi de kontrol edilebilir olması nedeniyle dış koşullara bağlı çalışmalar genellik kazanmıştır [50].

1.4.3. Kurutmanın Bağlı Olduğu Parametreler

A- Isı Transferi

1. Isıtma ortamından sıvı yüzeye ısı transferi.
2. Yapışkan katmanlarda ısı transferi.

3. Katıdan sıvıya direkt ısı transferi.
4. Katı kütlenin gözenekleri içinde, yüzey filmi tarafından sıvıya katıdan ısı transferi.
5. Yaklaşık olarak ısıtma ortamından kuru maddeye ısı transferi.
6. Sıvının ısı iletkenliği.
7. Islak katının ısı iletkenliği.
8. Kuru maddenin yaklaşık ısı iletkenliği
9. Sıvının gizli ısısı.
10. Hidrasyon ısısının kurutma işlemi sonunda alınması.
11. Islak malzemede sıcaklık ve çözelti arasındaki ilişki; bazı kurutucularda tüm sıvı buharlaştırılmadan önce eriyiği besler.
12. Sıvı içerisinde mevcut olan elektrolit malzemelerinin kuruma üzerindeki etkisi. Örneğin, çamur.

B - Kurutma Atmosferi

13. Kurutma atmosferi sıcaklığı ve basıncı.
14. Kurutma atmosferinin bileşimi; kuruma işlemi boyunca sıvının kısmi basıncını da içermektedir.
15. Kuruma yüzeyindeki havanın izafi hızı.
16. Kurutma işlemi boyunca kaynama noktasındaki değişimi hesaba katarak sıvının etkin buhar basıncı.
17. Katı bir tabaka içerisindeki kurutma atmosferinin doyma derecesi.

C - Katı Sıvı Sistemin Genel Fiziksel Özelliği

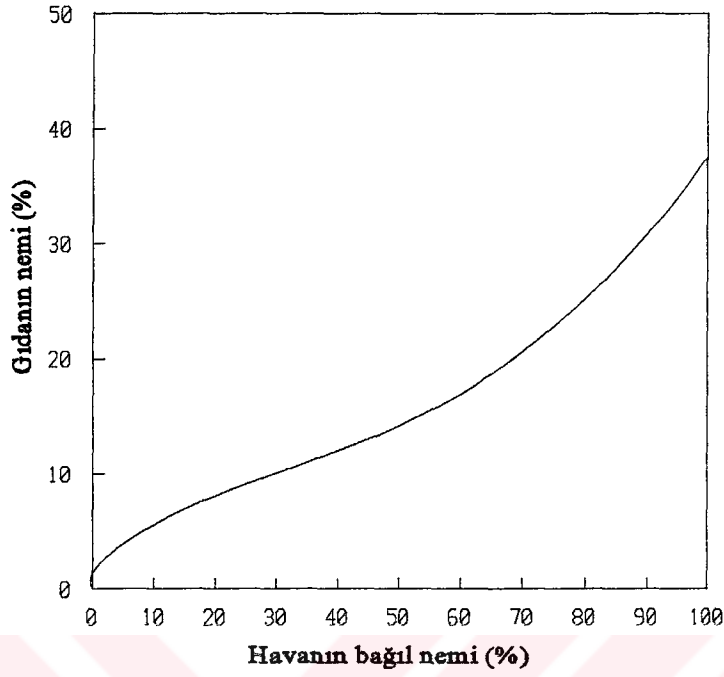
18. Katı sıvı arasındaki yüzey gerilmesi.
19. Katı sıvı arasındaki yapışkan film kalınlığı.
20. Gözenekler içinde yüzey alanının sıvı hacmine oranı.
21. Gözenekler arasında buharın difüzyon katsayısı.
22. Gözenekler içinde sıvının kılcal emmesi.
23. Gözenekler içinde sıvının konsantrasyonu veya bileşim gradyanı.
24. Katı yüzey içinde elyaf malzemenin bulunması.
25. Bazı organik sıvılarla alakalı sıvı moleküllerinin boyutları.
26. Çözünebilen yabancı maddelerin maksimum bileşimi.

D - Katıların Özellikleri

27. Parçacık boyutu.
28. Katının etken alanı.
29. Katının gözenekliliği.
30. Sıvı içinde katının çözünürlüğü.
31. Kuruma sırasında sulu çamurların yüzey sertleşmesi.
32. Kuruma sırasında tozların genel katılaşması.,
33. Kuruyan malzemenin sürtünme direnci.
34. Kuruyan ürünün maksimum nem miktarı [50].

1.4.4. Denge Nemi

Bir kap içindeki su buharlaşarak kendisini çevreleyen atmosferle dengeye eriştiği gibi, herhangi ıslak bir madde de aynı davranışı göstererek bulunduğu sıcaklıkta kendisini çevreleyen atmosferle nem açısından bir dengeye ulaşır. Şekil 1.'de belli bir sıcaklık derecesinde farklı bağıl nem içeren koşullarda tutularak dengeye erişmiş bir gıdada gıdanın nem içeriği ile çevre havasının bağıl nemi arasındaki ilişki gösterilmektedir. Bu ilişkiye "sorpsiyon izotermi" denir. Şekil 1'de görüldüğü gibi % 80 bağıl neme sahip olan bu gıdanın, atmosfer altında belli bir sıcaklıkta daima % 20 su içerdiği, yani bu koşullarda denge neminin % 20 olduğu anlaşılmaktadır. Dolayısıyla her gıdanın belli koşullarda ulaştığı denge nemi farklıdır ve kendine özgüdür. Yukardaki açıklamalarla, bir gıda maddesinin sorpsiyon izoterminin nasıl belirleneceği ortaya çıkmıştır. Bu amaçla uygulanan en basit yöntemde, sorpsiyon izotermi saptanacak gıda maddesi, bağıl nemi sabit kalabilen kavanozlarda belli sıcaklıkta, dengeye erişilene kadar tutulur. Bir kavanozda istenen düzeyde nem içeren bir atmosfer oluşturmak için, kavanozun içine konan değişik tuzların çözeltilerinden yararlanılır (Tablo 1). Böylece, içindeki atmosferin bağıl neminin sabit kaldığı kavanozlara gıda maddesi uygun bir şekilde yerleştirilip, 20 °C'deki sorpsiyon izotermi bulunmuş olur [51].



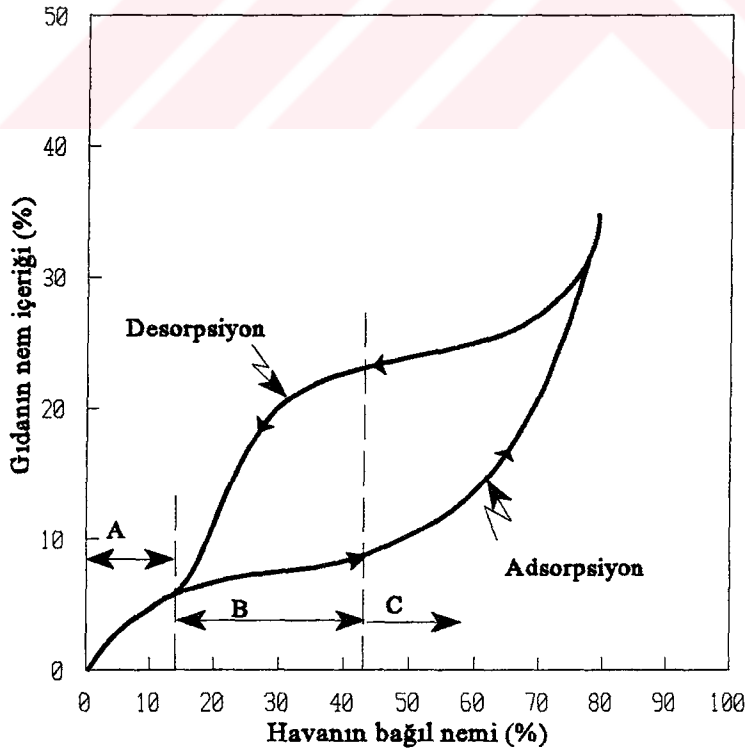
Şekil 1. Nem sorpsiyon izotermi [19].

Tablo 1. Sudaki doymuş çözeltileri, bulunduğu ortamı farklı bağıl nemde tutan maddeler[51].

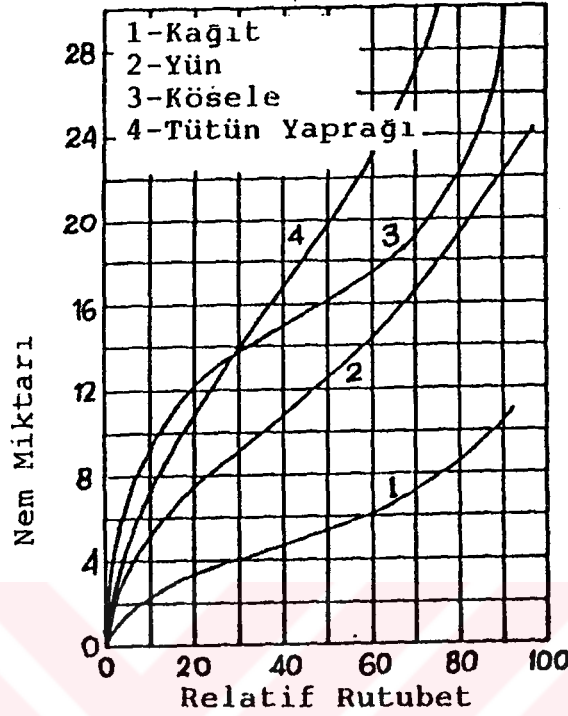
Tuz Adı	Kimyasal Formülü	Bağıl Nem (%)	Madde Miktarı (gr)	Su Miktarı (mlt)
POTASYUM ASETAT	CHCOOK	22	200	65
MAGNEZYUM KLOORUR	MgCl ₂	32	200	25
POTASYUM KARBONAT	K ₂ CO ₃	41	200	30
MAGNEZYUM NİTRAT	Mg(NO ₃) ₂	53	200	80
SODYUM BROMİT	NaBr	57	200	50
SODYUM NİTRAT	NaNO ₃	66	200	50
STRONSYUM KLOORUR	SrCl ₂	70	200	60
SODYUM KLOORUR	NaCl	75	200	60
AMONYUM SULFAT	(NH ₄) ₂ (SO ₄) ₄	90	200	60
POTASYUM KLOORUR	KCl	67	200	90
BARYUM KLOORUR	BaCl ₂	90	250	70
LİDYUM KLOORUR	LiCl	11	200	70

Gerçekte gıdaların sorpsiyon izoterm eğrilerinin belirlenmesinde gıdanın yaş veya kuru olmasının etkisi vardır. Çünkü yaş gıdanın nemini vermesi (desorpsiyon) ile, kuru gıdanın nem alması (adsorpsiyon) olgusu tam olarak aynı yolu izleyen bir dönüşüm değildir. Buna göre, ıslak maddenin farklı bağıl nemli atmosferde tutulup, dengeye erişmesi beklendikten sonra tartılarak, ağırlık kaybının saptanmasıyla elde edilen eğriye "desorpsiyon izotermi" denir. Buna karşın başlangıçta tam anlamıyla kuru olan aynı materyalin, yine değişik bağıl nemli ortamlarda tutularak elde edilen eğriye "adsorpsiyon izotermi" denir. Her ikisine beraber "sorpsiyon izotermi" denir. Bu durum Şekil 2.'de gösterilmiştir.

Sorpsiyon izotermlerinden değişik amaçlarla yararlanılmaktadır. Nitekim desorpsiyon izotermi, ürünlerin kurutulma işleminin izlenmesi ve incelenmesinde yararlı bilgiler vermektedir. Adsorpsiyon izotermi ise kurutulmuş ürünlerin higroskopik nitelikleri ile bunların depolanma koşullarını ortaya koymaktadır [19]. Bazı maddelerin sorpsiyon izoterm eğrileri Şekil 3.'te verilmiştir [52].



Şekil 2. Adsorpsiyon ve desorpsiyon izotermi [19].



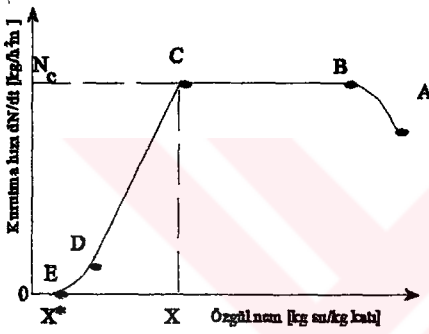
Şekil 3. Çeşitli maddelerin sorpsiyon izoterm eğrileri [52].

1.4.5. Kurutma Hızı

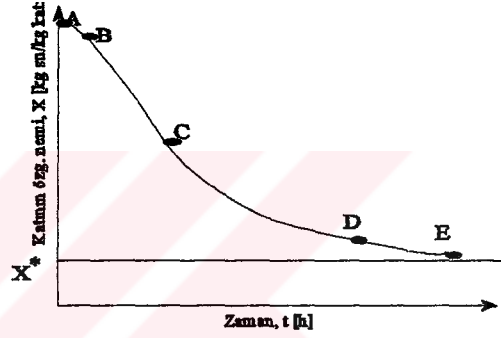
Kurutmacılıkta esas, kurutulacak üründeki suyu buharlaştırmak, sonra da bu buharı ortamdan uzaklaştırmaktır. Bu durumda buharlaşma ısıyı sağlamak gerekir. Bu ısı normal sıcaklıklarda buharlaştırılacak 1 kg su için 590 kcal'dir [47]. Kurutma işlemi Şekil 4 ve 5'de gösterilmiştir. Birim zamanda birim alandan buharlaşan su kütlesi kurutma hızını belirler. Kaliteli ürün eldesi ve ısı ekonomisi açısından kurutma hızı büyük önem taşımaktadır. Bir ürünü kuruturken en elverişli kurutma hızını elde etmek için örnek kurutma çalışmaları yaparak kurutma eğrilerini belirlemek gerekmektedir.

Kurutucularda ürünün kurutulması için kullanılan havanın hızı, nemi, sıcaklığı ve kuruyan yüzey üzerindeki akış yönü sabittir. Kurutulacak olan ürünün ağırlığı zamanın bir fonksiyonu olarak belirlenerek (kuru madde baz alınarak) nem içeriği tespit edilebilir. Şekil 4'de bu durumun değişim grafiği görülmektedir. Burada C değeri, kurutulacak ürünün özellikleri ile ilgili bir çok faktöre bağlı olan kritik nem miktarını göstermektedir. Yüzeyde ilk kuru noktanın oluştuğu duruma kritik nokta adı verilir. Kritik nokta sabit kuruma periyodunun sonunu ve

azalan hızda kuruma periyodunun başlangıcını simgeler. Şekil 5'de AB bölgesi kurutucu ve ürünün ısınma süresini göstermektedir. BC bölgesinde buharlaşma ürünün yüzeyinde oluşan sıvı film tabakasıyla gerçekleşmektedir. Şekil 4'de gösterilen kurutma hızı eğrisi kurumadaki çeşitli periyodları içermektedir. Başlangıçta nem, doymuş halde bulunan yüzeyden buharlaştırılarak uzaklaştırılır. Kurutma ilerledikçe doymuş halde bulunan yüzey alanı kademeli olarak azalır. Bunu maddenin iç kısmındaki suyun buharlaşması izler. CD bölgesinde ise ürün yüzeyine difüze edilebilen su buharlaşmaktadır. Bu nedenle BC bölgesinde kurutma hızı sabit kalmakta



Şekil 4. Özgül nemin bir fonksiyonu olarak kurutma hızının değişimi [53].



Şekil 5. Kurutma eğrisinin zamana göre değişimi [53].

ve CD bölgesinde ise doğrusal olmaktadır. DE bölgesi, ürün içindeki suyun yüzeye çok yavaş difüze edildiği bölgedir. Şekil 4'deki AB kararsız durumu, BC ise sabit hız periyodunu göstermektedir [19,53].

1.4.5.1. Sabit Kurutma Hız Periyodu

Sabit hızla kurutma periyodunda, sıcak havadan katı maddeye ısı transferinde azalma olmamasına rağmen kurutma ilerledikçe katı içindeki nem miktarında devamlı olarak azalma meydana gelir. Bunun sonucunda yüzeyin devamlı olarak ıslak kalması zorlaşır. Bu periyod sırasında katı yüzeyi ıslaktır. Su, katı yüzeyini uçma veya buharlaşma yolu ile terk eder. Bu esnada kapiler kuvvetler sayesinde katı içerisinden yüzeye nem iletilir. Bu periyotta kuruma, katı yüzeyinden hava akımı içerisine kütle transferi şeklinde olur. Havadan katıya olan ısı

transferi, taşınım ile iletim ve radyasyon ihmal edilebilir. Pratikte ısı transfer denklemi, kurutma hızının belirlenmesinde kütle transferi denkleminden daha güvenilirdir [4].

1.4.5.2. Azalan Kurutma Hız Periyodu

Azalan hızda kuruma periyodunda yüzeydeki ıslak alan miktarında sürekli bir azalma olur. Bu devredeki kuruma hızı, ürünün iç gözenek yapısının ve katının içindeki nemin yüzeye doğru akmasına neden olan kuvvetlerin etkisi altındadır. Azalan kuruma hızı periyodunda eğri çoğunlukla süreksizlik gösterir. Bu periyotta, hava hızının kuruma hızına etkisi daha zayıf olup, onun yerini katının iç yapı özellikleri almıştır. Katı madde yüzeyindeki kuru alan zamanla arttığı için yüzeyin hatta katının yaş hava sıcaklığında kaldığı söylenemez. Bunun sonucu olarak, kurutma hızının hesaplanmasında katının nem dağılımı yanında sıcaklık dağılımının da göz önünde bulundurulması gereklidir. Azalan hız periyodunda kurutma zamanının hesaplanmasında Fick'in II. kanunu kullanılmaktadır [1,4,27].

1.4.5.3. Kurutma Hızına Etki Eden Faktörler

Kurutulacak ürünün fiziki ve kimyevi yapısı, kesik veya tam olması ve başlangıç nemliliği gibi özelliklerinin kuruma hızı üzerindeki etkisi büyüktür. Çoğunlukla kurutma hızı, ürün kalınlığının karesi ile ters orantılıdır [1,27]. Rafların diziliş şekli, hava hızları ve türbülans derecesi kuruma hızına etki etmektedir. Kurumanın ilk safhalarında kuruma hızına etki eden en önemli faktör, kurutma havasının kuru termometre sıcaklığı ile yaş termometre sıcaklığı arasındaki farktır. Başlangıçta kuruma hızı ile ters orantılı olan yaş termometre sıcaklık farkı, sonradan önemini kaybeder ve kurumanın sonuna doğru kuruma hızına etkisi kalmaz. Kurutma havası sıcaklığının kuruma hızına etkisi, kuru nemliliğin ortalama %40-60 değerine düşmesine kadar hissedilmez. Kurumanın bundan sonraki bölümünde ise sıcaklığın rolü büyüktür. Hava hızının kuruma zamanına etkisi çok azdır. Ancak yüksek birim yüklemelerde kuruma başlangıcında, kuruma hızının yüksek hava hızından etkilendiği görülmüştür. Hava akımı türbülanslı olduğu müddetçe hava hızının kuruma üzerinde önemli bir etkisi olmamaktadır [1,27,54].

2. TEORİK VE DENEYSEL ÇALIŞMA PROGRAMI

2.1. Teorik Çalışma

2.1.1. Isı Transfer Parametrelerinin Hesabı İçin Matematik Model

Problemin çözümü için; başlangıçta sıcaklığı üniform T_b , yarı çapı R olan küresel bir ürün T_a sıcaklığındaki soğuk hava kanalına yerleştirilmektedir. Yüzey ısı transfer katsayısı h ve herhangi bir t anındaki sıcaklık T olmaktadır. Bu nedenle ürün sıcaklığı T , zaman ve yarı çapın bir fonksiyonu olarak $T(r,t)$ şeklinde belirlenmektedir. Sıcaklık dağılımlarının belirlenmesinde kullanılan kararsız ısı transferine ait formülasyon için aşağıdaki kabuller yapılmaktadır.

- ürünün yapısı homojen ve şekli küre,
- ısı özellikleri sabit,
- başlangıç sıcaklığı üniform,
- soğutma ortam sıcaklığı zamanla sabit,
- konveksiyon ısı transfer katsayısı zamanla sabit,
- iç ısı üretim yok,
- ısı iletimi tek boyutlu.

Değişkenlerin ayrıştırılması metodu ile kararsız durumdaki ısı transferine göre sıcaklık dağılımlarının belirlenmesine ait çözümler çeşitli kaynaklarda bulunabilmektedir. Böylece tek boyutlu iletimle ısı transferinin diferansiyel formu aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$\frac{1}{r^2} \cdot \left[\frac{\partial}{\partial r} \cdot \left(r^2 \frac{\partial T}{\partial r} \right) \right] = \frac{1}{a} \cdot \frac{\partial T}{\partial t} \quad (1)$$

Denklemin çözümünde $\theta = T - T_a$ şeklinde yeniden düzenleme yapılarak denklem (2) elde edilir.

$$\frac{\partial^2 \theta}{\partial r^2} + \left(\frac{2}{r} \right) \cdot \left(\frac{\partial \theta}{\partial r} \right) = \left(\frac{1}{a} \right) \cdot \left(\frac{\partial \theta}{\partial t} \right) \quad (2)$$

Başlangıç ve sınır şartları,

$$\theta(r,0) = \theta_i = T_i - T_a \quad (3)$$

$$\theta(0,t) = \text{sonlu} \quad (4)$$

$r=R$ 'de enerji dengesi için,

$$\left[\frac{\partial \theta(R,t)}{\partial r} \right] = \left(\frac{-h}{k} \right) \cdot \theta(R,t) \quad (5)$$

şeklinde yazılabilmektedir.

Küresel ürünün merkezi için boyutsuz sıcaklık dağılımını veren ifade aşağıdaki gibi bulunabilmektedir.

$$\theta_{km} = \sum_{n=0}^{\infty} (-1)^{n+1} \frac{2 \cdot Bi \cdot [(Bi-1)^2 + \mu_n^2]^{0.5}}{(\mu_n^2 + Bi^2 - Bi)} \cdot \exp(-\mu_n^2 \cdot Fo) \quad (6)$$

Seriye basitleştirmek için, Fourier sayısının 0.2'den büyük olduğunu varsayalım. Bu durum da serinin sadece ilk terimi dikkate alınıp gerisi ihmal edilmektedir. Bu yaklaşımla denklem (6) aşağıdaki forma indirgenebilir.

$$\theta = J_1 \cdot \exp(-\mu_1^2 \cdot Fo) \quad (7)$$

Burada,

$$\theta = \frac{(T - T_a)}{(T_i - T_a)} \quad (8)$$

$$J_1 = \frac{[2Bi \cdot (Bi-1)^2 + \mu_1^2]^{0.5}}{(\mu_1^2 + Bi^2 - Bi)} \quad (9)$$

olmaktadır.

Ayrıca ölçülen ürün sıcaklıklarına, üstel fonksiyon formunda (denklem 11) en küçük kareler yöntemi ile regresyon analizi uygulanır.

$$\theta = J_1 \cdot \exp(-ct) \quad (10)$$

Denklem (9) ve (10)'in taraf tarafa eşitlenmesiyle aşağıdaki denklem elde edilir.

$$\mu_1^2 \cdot Fo = ct \quad (11)$$

Burada,

$$Fo = at/R^2 \quad (12)$$

$$Bi = hR/k \quad (13)$$

$$\mu_1^2 = \frac{(10.3Bi)}{(3.2 + Bi)} \quad (14)$$

yazılır. Bu ifadeler denklem (11)'de yerine yazılıp düzenlemeler yapılırsa, küresel ürünlerin ısı transfer katsayısını veren model elde edilir.

$$h = \frac{(3.2kRc)}{(10.3a - cR^2)} \quad (15)$$

Meyve ve sebzelerin ısı iletkenlik ve ısı difüzyon katsayıları, nem içeriklerine bağlı olarak aşağıdaki denklemler ile belirlenebilmektedir, [27, 28, 54, 55, 56, 57].

$$k = 0.148 + 0.493 W \quad (16)$$

$$a_d = 0.08810^{-6} + (a_w - 0.08810^{-6}) W \quad (17)$$

Burada $a_w = 0.148 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ olarak literatürden alınmıştır, [21].

2.1.2. Isı Transfer Modellemesi

Fındığın yapısı itibarı ile çok katmanlı bir küre olarak ele alınabilirliği varsayımıyla, çalışmalar ilk önce katmanlı kürelerde bir boyutlu geçici rejimde ısı transferinin sayısal

çözümleri üzerine yoğunlaşmıştır.

Tek katmanlı küredeki ısı transferinin sayısal çözümü [58]'de verilmiştir. Yapılan çalışmada, sayısal metodla üç katmanlı küredeki ısı transferi çeşitli parametreler için elde edilmiştir. Katmanlar için aynı malzeme değerleri verilerek tek katmanlı küre gibi hesaplanmış ve sonuçların [12, 13]'de verilen değerlerle uyduğu görülmüştür.

Deneylede kurutulmuş tombul fındık kullanılarak soğuma eğrileri çizilmiştir. Burada fındık içerisindeki nem denge nemi değerindedir.

Ele alınan matematik modelde, tek fındık tanesi öz + hava + kabuk'tan oluşan katmanlı küre yaklaşımıyla modellenmiştir. Tombul fındık için hava katmanında Ra sayısı ($Ra = Gr \cdot Pr$) hesap edildi. $Ra < 1708$ olduğundan, bu katmanda hava hareketi olmadığından ısı geçişinin sadece iletimle olduğu kabul edilmiştir.

$$\frac{\partial^2 T}{\partial r^2} + \frac{2}{r} \cdot \frac{\partial T}{\partial r} = \frac{1}{a} \cdot \frac{\partial T}{\partial t} \quad (18)$$

buradan,

$$\frac{\partial T}{\partial t} = a \cdot \left(\frac{\partial^2 T}{\partial r^2} + \frac{2}{r} \cdot \frac{\partial T}{\partial r} \right) \quad (19)$$

yazılır.

Burada a yayılım katsayısı olup,

$$a = \frac{k}{\rho c_p} \quad (20)$$

şeklindedir.

Başlangıç ve sınır şartları:

Fındık içerisindeki sıcaklık dağılımının $r=0$ dan $r=R_1$ 'e kadar belirlenebilmesi için sınır şartlarının gözönünde bulundurulması gerekir.

Sınır şartları için aşağıdaki bağıntılar yazılır.

I. $r = 0$ da Fourier kanunu'ndan

$$\frac{\partial T}{\partial r} = 0 \quad (21)$$

II. $r = R_3$ ' de Fourier kanunu'ndan

$$-k_3 \frac{\partial T}{\partial r} \Big|_{r=R_{3-3}} = -k_2 \frac{\partial T}{\partial r} \Big|_{r=R_{3-2}} \quad (22)$$

III. $r=R_2$ 'de Fourier kanunundan

$$-k_2 \frac{\partial T}{\partial r} \Big|_{r=R_{2-2}} = -k_1 \frac{\partial T}{\partial r} \Big|_{r=R_{2-1}} \quad (23)$$

IV. $r = R_1$ 'de Fourier kanunu ve Newton'un soğuma kanunundan,

$$\dot{q} = h(T_y - T_\infty) = -k_1 \frac{\partial T}{\partial r} \Big|_{r=R_1} \quad (24)$$

yazılır.

Bu eşitliklerde q ısı akısını, T_y yüzey sıcaklığını, T_∞ ortam havası sıcaklığını, R_{3-3} , R_3 de hemen üçüncü katman tarafındaki yarıçapı, R_{3-2} , R_3 de ikinci katman tarafındaki yarıçapı, R_{2-2} ikinci katman tarafındaki yarıçapı, R_{2-1} , R_2 de hemen birinci katman tarafındaki yarıçapı göstermektedir.

Denklemin boyutsuzlaştırılması aşağıdaki şekilde verilmektedir.

$$\theta = \frac{T - T_{\infty}}{T_0 - T_{\infty}}, \quad r^* = \frac{r}{R_1}, \quad \tau = \frac{a_1 t}{R_1^2}, \quad a_i^* = \frac{a_i}{a_1} \quad (25)$$

Burada a_i katmanlardaki ısı yayılım katsayılarıdır.

Böylelikle eşitlik (19),

$$\frac{\partial \theta}{\partial \tau} = a_i^* \cdot \left(\frac{\partial^2 \theta}{\partial r^{*2}} + \frac{2}{r^*} \cdot \frac{\partial \theta}{\partial r^*} \right) \quad (26)$$

şekline gelir.

Sınır şartları için de,

$$\begin{aligned} \frac{\partial \theta}{\partial r^*} &= 0 \\ k_{2-3}^* &= \frac{k_2}{k_3} \quad \text{ve} \quad k_{1-2}^* = \frac{k_1}{k_2} \end{aligned} \quad (27)$$

tanımlarının yapılması ile,

$$-k_{2-3}^* \frac{\partial \theta}{\partial r^*} \Big|_{r=R_{3-2}} = \frac{\partial \theta}{\partial r^*} \Big|_{r=R_{3-3}} \quad (28)$$

$$-k_{1-2}^* \frac{\partial \theta}{\partial r^*} \Big|_{r=R_{2-1}} = \frac{\partial \theta}{\partial r^*} \Big|_{r=R_{2-2}} \quad (29)$$

şeklinde boyutsuzlaştırılır.

Eşitlik (24)'de r^* ve θ terimleri kullanılarak,

$$h \cdot \theta = -\frac{k_1}{R_1} \cdot \frac{\partial \theta}{\partial r^*} \quad (30)$$

küre için Bi sayısı,

$$Bi = \frac{hR_1}{k_1} \quad (31)$$

tanımlandığında,

$$\frac{\partial \theta}{\partial r^*} = -Bi \cdot \theta \quad (32)$$

olarak boyutsuzlaştırılır.

Diferansiyel denklemlerin sayısal çözümleri parabolik ve eliptik diferansiyel denklemler için farklıdır. Ele alınan modelde ısı transferi geçici rejimde olduğundan ve kürede sıcaklık sadece yarı çap boyunca değiştiğinden eşitlik (26)'de ifade edilen diferansiyel denklem iki boyutlu parabolik diferansiyel denklemdir. Diferansiyel denklem sonlu farklar yöntemi kullanılarak sonlu farklar denkleme haline getirildikten sonra implisit çözüm yöntemi kullanılarak Crank-Nicolson metodu kullanılır. Elde edilen sonlu fark denkleme çözüm bölgesinde genel olarak,

$$A_j \theta_{j-1} + B_j \theta_j - C_j \theta_{j+1} = D_j \quad (33)$$

şeklini alır.

Burada, A_j , B_j , C_j ve D_j katsayılarıdır. Bu denklemlerin çözümleri Gause-Eleminasyon TDMA yöntemi ile yapılır.

Küre merkezinde, $r = 0$ da ortaya çıkan süreksizliği kaldırmak için türev şartından yararlanılarak katmanların temas yüzeylerinde geçerli eşitlikler türetilerek iç süreksizlikler ortadan kaldırılabilir.

İmplicit çözüm yöntemi kullanılarak çeşitli parametreler için elde edilen sonuçlar grafikler halinde verilir [12, 13].

2.1.3. Kütle Transferi Modellemesi

Biyolojik gözenekli malzemelerin kurutulmasındaki mekanizmayı açıklayıcı çalışmalar üzerinde yapılan literatür araştırması Sharaf-Eldeed ve arkadaşları tarafından yapılmıştır. Literatür çalışmalarının sonucunda ortaya çıkan şudur ki; kuruma esnasında difüzyon katsayısı neme ve sıcaklığa bağlı olarak değiştiği vurgulanmaktadır [33, 59].

Bu iki parametrenin bir arada etkisinin görüldüğü öz + hava + kabuk yapısına haiz ürünlerde difüzyon katsayısı üzerindeki etkisinin modellemesi ile ilgili herhangi bir çalışmaya rastlanmamıştır.

2.1.3.1. Matematik Model ve Çözüm Yöntemi

Küresel koordinatlarda izotermik kuruma süreci için difüzyon denklemi,

$$\frac{\partial M}{\partial t} = \frac{1}{r^2} \cdot \frac{\partial}{\partial r} \left[r^2 \cdot D \cdot \frac{\partial M}{\partial r} \right] \quad (34)$$

şeklinde yazılır.

Çözümde yapılacak kabuller aşağıdaki gibi sıralanabilir.

- Fındık kabuğunda ve fındık içinde kuruma süresi boyunca nem hareketinin basınç ve sıcaklık gradyanından oluşmadığı var sayılmıştır.

- $r=R$ de yüzeyde buhar difüzyonuna karşı gösterilen direnç sıfır kabul edilmiştir.

Başlangıç ve sınır şartları;

$$M=M_0 \quad t=0 \quad \text{ve} \quad 0 < r < R \quad (35a)$$

$$M=M_e \quad t>0 \text{ ve } r=R \quad (35b)$$

$$\frac{\partial M}{\partial r}=0 \quad (35c)$$

şeklinde verildikten sonra difüzyon denklemini boyutsuzlaştırmak için aşağıdaki boyutsuz büyüklükler tanımlanmıştır.

$$\bar{M} = \frac{M-M_e}{M_0-M_e}, \quad \bar{r} = \frac{r}{R}, \quad \bar{D} = \frac{D}{D_e} \quad \text{ve} \quad \tau = \frac{\bar{D}_e t}{R^2} \quad (36)$$

Eşitlik (35) nonlinear kısmi türevli diferansiyel eşitlik olarak aşağıdaki şekilde yazılır.

$$\frac{\partial \bar{M}}{\partial \tau} = \frac{1}{\bar{r}^2} \cdot \frac{\partial}{\partial \bar{r}} \left[\bar{r}^2 \cdot \bar{D} \cdot \frac{\partial \bar{M}}{\partial \bar{r}} \right] \quad (37)$$

Başlangıç ve sınır şartları;

$$\bar{M}=1 \quad \tau=0 \quad \text{ve} \quad 0 \leq \bar{r} \leq 1 \quad (38a)$$

$$\bar{M}=1 \quad \tau>0 \quad \text{ve} \quad \bar{r}=1 \quad (38b)$$

$$\frac{\partial \bar{M}}{\partial \bar{r}}=0 \quad \tau>0 \quad \text{ve} \quad \bar{r}=0 \quad (38c)$$

Difüzyon katsayısı için tanımlanan matematik model

$$D = a \cdot \exp(b \cdot M) \quad (39)$$

şeklinde olsun. Böylelikle,

$$D_e = a \cdot \exp(b \cdot M_e) \quad (40)$$

ve

$$\bar{D} = \exp \left[b \cdot (M_0 - M_e) \cdot M \right] \quad (41)$$

yazılabilir.

Bu eşitlikte a ve b kurutma havası sıcaklığının bir fonksiyonu olarak ele alınacaktır.

(40) ve (42) eşitliklerinden yararlanılarak

$$\frac{\partial \bar{M}}{\partial t} = \bar{D} \cdot \left[\frac{2}{r} \cdot \frac{\partial \bar{M}}{\partial r} + (M_0 - M_e) \cdot \left(\frac{\partial \bar{M}}{\partial r} \right)^2 + \frac{\partial^2 \bar{M}}{\partial r^2} \right] \quad (42)$$

eşitliği yazılır.

Bu eşitliğin çözümü için Crank-Nicolson Implicit çözüm yöntemi kullanılmıştır.

(43) diferansiyel denkleminin cebrik diferansiyel denklem haline getirilmesi için Taylor seri açılımı kullanılarak,

$$\left[\frac{\Delta \bar{r}}{2\bar{r}} + \emptyset \cdot (\bar{M}_{j+1} - \bar{M}_{j-1}) - \frac{1}{2} \right] \cdot \bar{M}_{j+1}^+ + \left(\frac{\lambda_{j+1}}{\lambda_j} \right) \cdot \bar{M}_j^+ + \left\{ \left[\frac{\bar{r}}{2\bar{r}} + \emptyset \cdot (\bar{M}_{j+1} - \bar{M}_{j-1}) + \frac{1}{2} \right] \cdot \bar{M}_{j+1}^+ \right. \\ \left. - \left[\left(\frac{\Delta \bar{r}}{2\bar{r}} + \frac{1}{2} \right) \cdot \bar{M}_{j+1} - \left(\frac{\Delta \bar{r}}{2\bar{r}} - \frac{1}{2} \right) \cdot \bar{M}_{j-1} + \emptyset \cdot (\bar{M}_{j+1} - \bar{M}_{j-1})^2 \cdot \left(\frac{\lambda_{j+1} - 1}{\lambda_j} \right) \cdot \bar{M}_j^+ \right] \right\} \quad (43)$$

eşitliği elde edilir.

Bu eşitlik, fındık merkezinden fındık yüzeyine kadar uygulanır.

Eşitlik (44)'de

$$\emptyset = \frac{b \cdot (M_0 - M_e)}{8} \quad \text{ve} \quad \lambda_j = \frac{\bar{D} \cdot \Delta t}{(\Delta \bar{r})^2} \quad (44)$$

dir. Merkezdeki türev sınır şartı nedeniyle eşitlik (43)'teki süreksizlik giderilir.

Merkez için,

$$\bar{M}_1^+ = \frac{3\lambda_1 (\bar{M}_2^+ + \bar{M}_2 - \bar{M}_1) + M_1}{1 + 3\lambda_1} \quad (45)$$

yazılır.

Eşitlik (43) ve (45)'nin cebrik çözümünde TDMA kullanılarak çözümler elde edilir. Bu çözümlerde $\Delta r=0.1$ ve $\Delta \tau =0.01$ alınır.

Çözüm yöntemindeki işlemler aşağıdaki gibi sıralanabilir.

1. Kurutma parametresi B aşağıdaki gibi seçilir.

$$B = b(M_0 - M_e) \quad (46)$$

İlk çözüm için $B=0$ alınır.

2. Eşitlik (43)'ün çözüm sonuçları ile $M-\tau$ grafiği çizilerek bu grafikten bulunan teorik M_{av} değerleri hesaplanmalıdır.

3. Yukarıda belirtilen sıra B'nin 1 den 6'ya kadar değerleri için tekrarlanır.

2.1.3.2. a ve b Katsayılarının ve B kurutma Parametresinin Tayini

Deneysel verilere en küçük kareler yöntemi uygulandı. Elde edilen matematik bağıntı yardımıyla ve eşitlik (36) kullanılarak D_e-M_{av} bağıntıları türetilir.

D_e-M_{av} 'in sabit kaldığı B kurutma parametresi esas alınarak a ve b katsayıları aşağıdaki şekilde hesap edilir.

$$a = C_0 \exp(C_1 T) \quad (47)$$

$$b = C_0' \exp(C_1' T) \quad (48)$$

kurutma havası sıcaklığına bağlı olarak elde edilir.

Burada C_0 , C_1 , C_0' ve C_1' sabitlerdir.

2.2. Deneysel Çalışma Programı

2.2.1. Test Örnekleri ve Yöntem

Trabzon Beşikdüzü ilçesinde önceden belirlenmiş üreticilerin sergi alanlarında tesbit edilen findıklardan, zuruflu olarak örnekler alınarak K.T.Ü. Makina Mühendisliği Bölümü Termodinamik Laboratuvarı'nda imal edilmiş olan pilot tesise getirilmiştir. Pilot tesise getirilen findık örneklerine uygulanan işlem Şekil 6'da ki akış şemasında verilmiştir.

2.2.2. Deney Düzeneklerinin Tanıtılması

Findık kurutma deneyleri için işlem akış şemasına göre üç deney seti ayrı ayrı imal edilmiştir.

2.2.2.1. Kurutma Deney Düzeneginin Tanıtımı

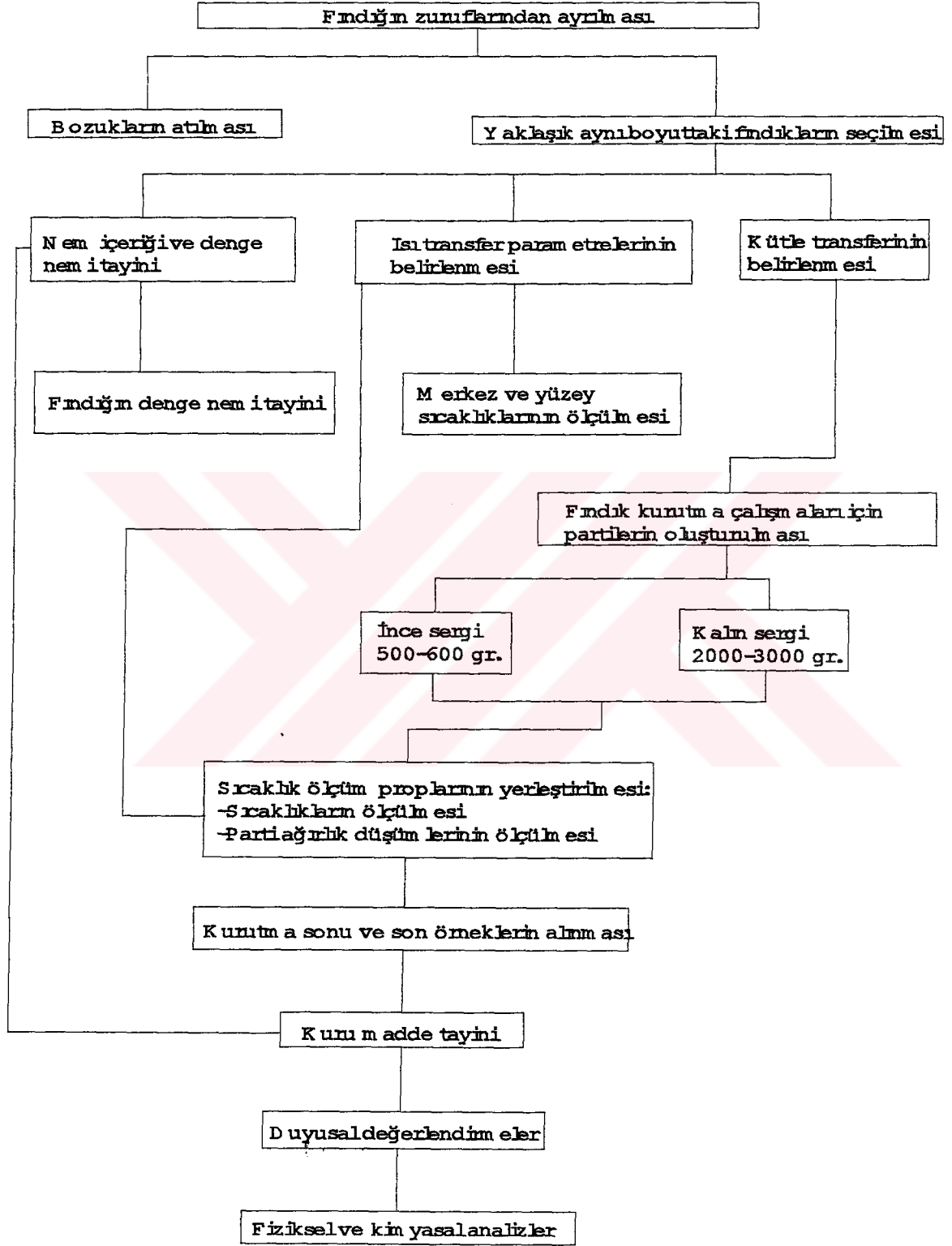
Findık kurutma için hazırlanan deney düzeneginin şematik resmi Şekil 7'de gösterilmiştir. Ayrıca deney düzeneginin fotoğrafları Şekil 8, 9, 10 ve 11'de verilmiştir.

Uygun kurutucu seçimi, kurutulacak maddenin kuruma özelliklerine ve şekline bağlıdır. Pratikte sürekli ve süreksiz çalışan çeşitli tipte kurutucular kullanılmaktadır. İstenilen kurutmayı gerçekleştirecek bir kurutucunun tasarlanması için en uygun yol, bir model kurutucu kurmak ve bununla test çalışmaları yapmaktır. Bu çalışmalarda amaç, uygun hava sıcaklığını, hızını ve nemini, dışarıya atılacak hava oranını ve kurutma süresini tesbit etmektir [20].

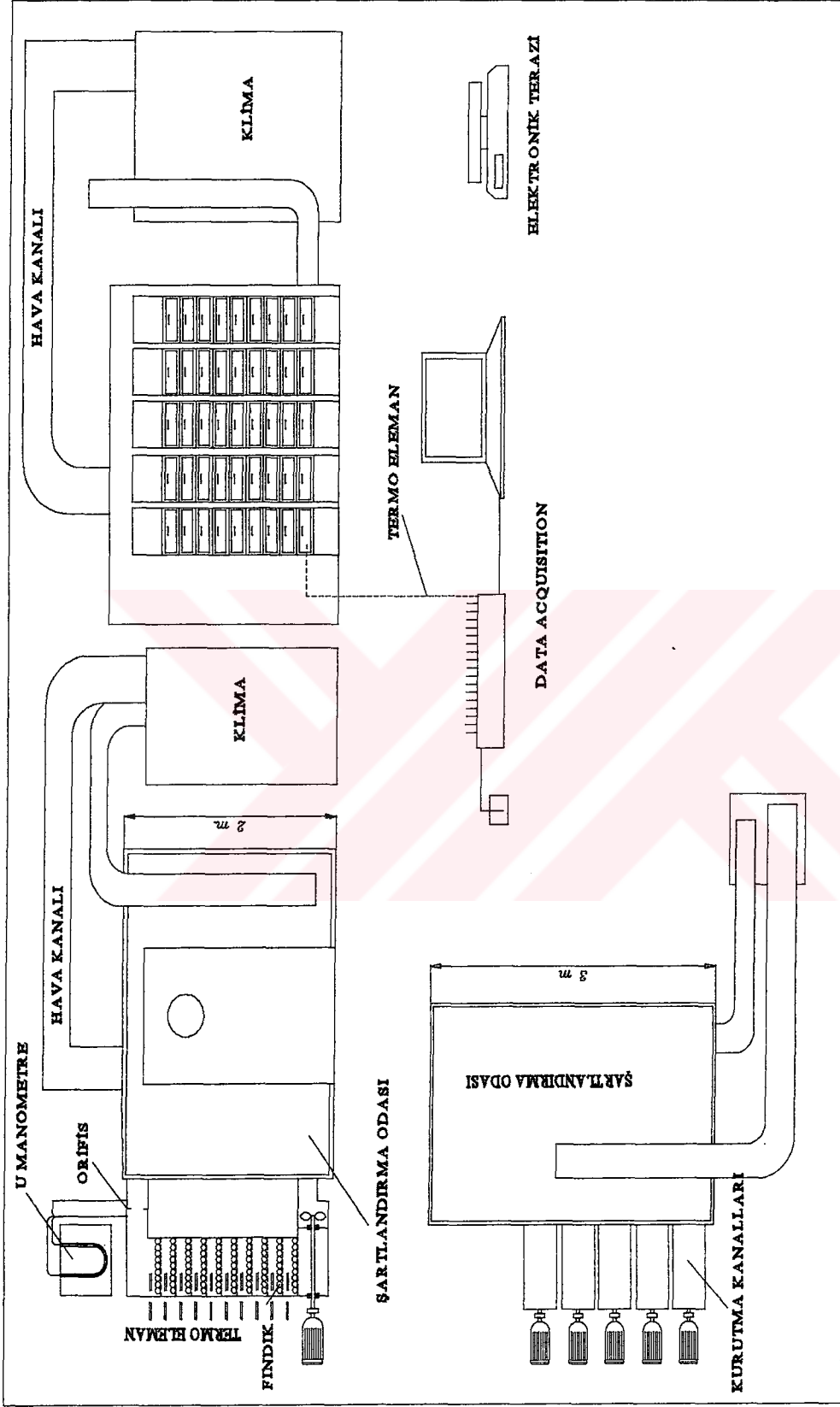
Tasarlanan deney düzenegi Şekil 7'de de görüldüğü gibi altı ana grupta toplanmıştır.

Şartlanmış havanın sağlandığı klima ünitesi sistemin önemli bir gurubudur. Klima, şartlandırma odasına bağlı olarak kapalı devre çalışmaktadır. Klimanın psikometrik diyagramı Şekil 12'de verilmiştir. Klimanın katalog değerleri aşağıdaki gibidir.

Sıcaklık aralığı 5-60 °C,	Çiğ noktası sıcaklığı 4-59 °C,
Nemlilik aralığı % 30-95,	Sıcaklık hassasiyeti ±1 °C,
Hava debisi 1600 m ³ /h,	Soğutma gücü 6.6 kW/h,
Isıtma gücü 6 kW/h,	Hava emiş hızı 4.5 m/s,
Emiş kesit alanı 0.0961 m ² ,	Havanın devir sayısı 2 tur/dak



Şekil 6. Fındığın kurutulmasında uygulanan işlem akış şeması.



Şekil 7. Deneysel düzenek şematik görünüşü.



Şekil 8. Deneş düzeneğinden bir görünüş.



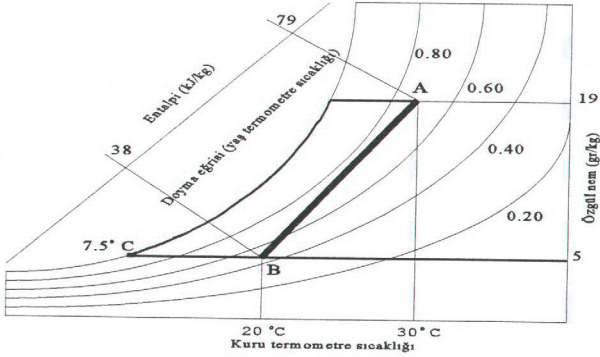
Şekil 9. Deneş düzeneğinde kanalların klima odasına bağlanması.



Şekil 10. Şartlandırma odasının klimaya bağlantısı.



Şekil 11. Klima santralinden bir görünüş.



Şekil 12. Sistemin psikrometrik diyagramı.

Klima kurutma havasını tavanından çekerek, havanın sıcaklık ve bağıl nemini ayarladıktan sonra odanın alt kısmından geri göndermektedir. İstenilen kurutma havası şartlarına ayarlanan klima, deney süresi boyunca aynı şartları korumaktadır.

Şartlandırma odası, 11.7 m³ iç hacme ve 33 m² dış yüzeye sahiptir. Çalışma süresi boyunca oda içindeki hava homojen kalacak şekilde imal edilmiştir. Klima hava kanallarının ve kurutma kanallarının ağızları, homojen bir hava karışımı sağlayabilecek şekilde yerleştirilmiştir. Oda, hava ve ısı geçişi olmayacak şekilde dış ortama karşı yalıtılmıştır.

Beş adet kurutma kanalı, şartlandırma odasının geniş yüzeyine, alttan ve üstten oda ile irtibatlı şekilde yerleştirilmiştir. Her bir kanalda 22×23×6.5 cm boyutlarında fındık rafları bulunmaktadır. Fındıklar bu raflara ince ve kalın sergi şeklinde yerleştirilebilmektedir. Rafların alt kısmı havanın geçişini engellemeyecek şekilde çelik tel kafesle kapatılmıştır. Kanal girişlerinde, hava hızını ayarlayan sürgülü vanalar bulunmaktadır.

Herbir kanal girişinde 0.75 kW gücünde elektrik motoru ile çalışan fanlar mevcuttur. Deney süresi boyunca, kurutma için gerekli havayı şartlandırma odasından emerek fındık sergileri üzerinden geçirdikten sonra üst kısımdan odaya geri göndermektedir.

Data acquisition sistemiyle, kurutma süresi boyunca sıcaklık okumaları yapılmaktadır. Ölçüm noktalarına yerleştirilen termoelemanlar bilgisayarla irtibatlandırılmıştır.

Kurutulan fındıkların parti ağırlık değişimlerinin belirlenmesi için de bir tartım grubu

bulunmaktadır. Tartım grubunda bir elektronik terazi ve değerlerin girildiği bir bilgisayar mevcuttur.

2.2.2.2. Isı Transfer Parametrelerinin Belirlendiği Deney Düzeneği

Literatürde verilen nümune alma yöntemlerine göre belirlenen fındık örneklerinin, önce ısıtılıp sonra soğutulması yöntemine dayanan bir deney düzeneği kurulmuştur. Deney düzeneği Şekil 13'de görülmektedir. Nümunelerin merkez ve yüzey sıcaklıklarının ölçümü için bakır-konstantan termoelemanlar kullanıldı. Hava kanalı içerisinde nümuneler önce ısıtılıp sonra soğutulmaya bırakılarak sisteme bağlı bir yazıcıyla soğuma eğrileri (sıcaklık-zaman grafikleri) elde edilmektedir.

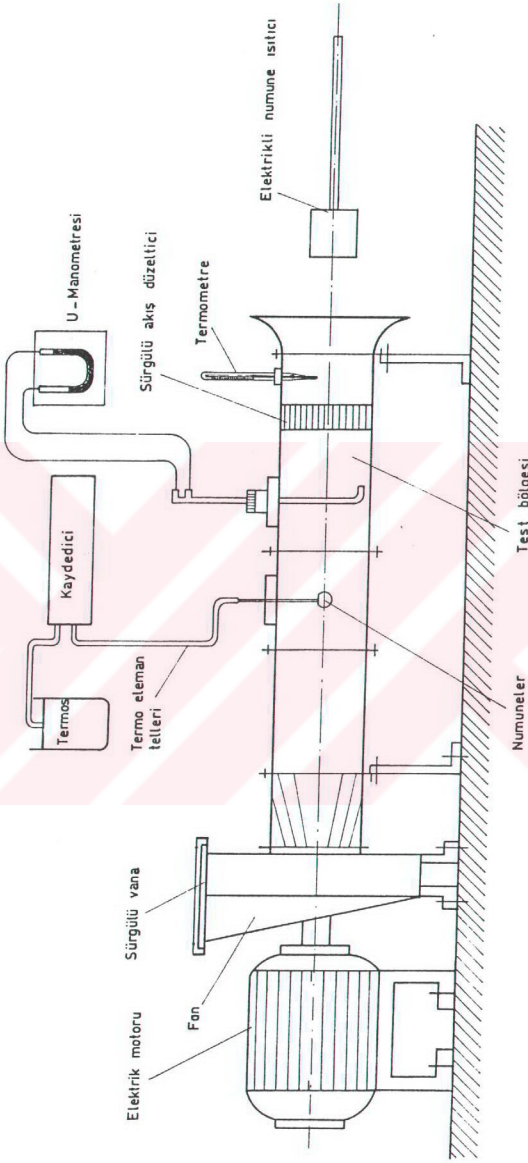
Deney düzeneğinde hava, test bölgesini geçerek nümuneler üzerinden akmaktadır. Kanal içerisinde havanın hızı pitot tüpü yardımıyla ölçülmektedir. Hava debisi ayarı ise fan çıkışına yerleştirilen sürgülü vana yardımıyla yapılmaktadır. Nümuneler kanal içersine yerleştirildikten sonra ısıtma elemanı ile ısıtılmaktadır. Akış ortamı içersinden ısıtma elemanı aniden çekilerek soğutma işlemi gerçekleştirilmektedir.

2.2.2.3. Nem Tayini ve Denge Nemi Deney Düzeneği

Parti ağırlık değişimlerinin ölçüm işlemleri bittikten sonra (hemen deney sonunda) partilerden alınan örnekler kabukları ile birlikte öğütüldükten sonra, Petri cam kaplarına yerleştirilerek 105-110°C sıcaklığındaki etüvde 6-8 saat arasında bekletildi ve kuru madde miktarı belirlenerek nem içeriği tayin edildi.

Deneylere başlamadan önce ve deney sonunda fındıktaki nem içeriği tayin edilmektedir. Fındık partilerinden alınan nümuneler öğütüldükten sonra, petri cam kaplara konularak 105-110°C sıcaklığındaki etüvde 4-8 saat arasında bekletilerek kuru madde miktarı tayin edilmektedir.

Fındığın denge nem değerleri, bulunduğu ortamı farklı bağlı nemde tutan, çeşitli kimyasal maddelerin doygun çözeltilerinin bulunduğu kapalı cam kavanozlarda belirlenmektedir Tablo 1, [51]. Kavanozlar iki bölmeden oluşturulmuştur. Kavanozların alt kısmına kimyasal madde çözeltileri konulmuştur. Kavanozların ortasına ise elek yerleştirilerek bu elek üstüne petri kaplarına konmuş fındık nümuneleri yerleştirilmiştir. Kavanoz kapakları sıkıca kapatılarak sabit



Şekil 13. Isı transfer parametrelerinin ve sıcaklık dağılımının belirlendiği deney düzeniği.

sıcaklık odasına yerleştirilmişlerdir. Kavanozların fotoğrafları Şekil 14'de görülmektedir. Fındık nünuneleri kavanozlarla sabit sıcaklık (20-25°C) odasına yerleştirilmektedir. Fındık nünunelerinin ağırlık değişimi sabit kalıncaya kadar burada bekletilmektedir. Aralıklarla ağırlık değişimi ölçülerek denge nem eğrisi çizilmektedir.



Şekil 14. Denge nemi tayin düzenęi.

2.2.3. Deneysel Ölçümler

2.2.3.1. Sıcaklıklarının Ölçülmesi

2.2.3.1.1. Kurutma İşleminde Sıcaklıkların Ölçümü

Kurutma kanallarındaki çekmecelere yerleştirilen kalın sergili fındık partileri içerisinde sıcaklıklar taban, orta ve tavan bölgelerinde örnek birer fındık merkezine yerleştirilen termoelemanlar ile ölçülürken, ayrıca kalın serginin taban, orta ve tavan ortam sıcaklıkları da ölçülmüştür.

Termoelemanların herbiri bilgisayarla irtibatlandırılarak ölçülmüştür, (Şekil 15). Sıcaklık ölçümleri için, bilgisayar programında, ölçüm periyodu olarak 10 dakikalık zaman aralığı seçilmiştir. Referans sıcaklığı, su ve buz karışımı olan 0°C alınmıştır.



Şekil 15. Termoelemanların bilgisayara bağlantı sistemi.

2.2.3.1.2. Isı Transfer Parametrelerinin Belirlenmesinde Sıcaklıkların Ölçümü

Örnek fındık numunelerinde merkez ve yüzey sıcaklıkları bakır-konstandan termoelemanlar vasıtasıyla ölçülmüştür. Termoelemanlar vasıtasıyla ölçülen sıcaklıklar bir yazıcıda grafik olarak elde edilmiştir. Bu şekilde numunelerin soğuma eğrileri çizilmiştir.

2.2.3.2. Parti Ağırlık Değişimlerinin Ölçülmesi

Kurutma deneylerinde, kurutma kanallarına yerleştirilen fındık partilerinin ağırlık değişimleri, ilk kuruma periyodunda 10'ar dakikalık, ilerleyen kurutma periyodlarında 20, 30, 60 ve 120

dakikalık zaman dilimlerinde ölçülmüştür. Ölçümler % 0.1 hassasiyetle yapılmıştır.

2.2.3.3. Nem İçeriği Değerlerinin Ölçülmesi

Fındıkta kurutma başlangıcındaki nem miktarı, kurutmanın şartlarını, kurutma sonu nem miktarı da depolama şartları için en etken parametrelerdendir. Bundan dolayı kuru ve yaş fındığın nem miktarının tayini özenle yapılmıştır.

Kapağı ile darası alınmış Petri kutusuna ince çekilmiş fındık örneğinden 4 gr civarında alınır ve kap içerisinde yayılır. Madde ile beraber Petri kutusu tekrar hassas olarak tartılır. Daha sonra kapağı açık olarak 105-110°C sıcaklığındaki etüvde 4-6 saat kurutulur. Bu sürenin sonunda kabın kapağı kapatılarak desikatöre alınır, oda sıcaklığına kadar soğutulur ve tartılır. Aşağıdaki bağıntı ile fındığın nem miktarı tayin edilir.

$$\% \text{ Nem} = \frac{\text{Kuru Madde Miktarı}}{\text{Yaş Madde Miktarı}} \times 100 \quad (49)$$

Kurutma deneylerine başlamadan ve kurutma sonunda fındığın sahip olduğu nem miktarı tayin edildi. Parti ağırlık değişimlerinin ölçüm işlemleri bittikten sonra (hemen deney sonunda) partilerden alınan örnekler kabukları ile birlikte öğütüldükten sonra, Petri cam kaplarına yerleştirilerek 105-110°C sıcaklığındaki etüvde 4-6 saat arasında bekletildi ve kuru madde miktarı belirlenerek nem içeriği tayin edildi [14, 15].

2.2.3.4. Duyusal Değerlendirme

Deneye alınan fındık partileri, deney sonunda duyusal değerlendirmeye tabi tutulmuştur. Duyusal değerlendirmede özellikle seçilmiş 15 kişilik panelist gurubundan en az on kişi ile yapılmıştır. Panel örneklerine verilen kod numaraları her panel uygulamasında değiştirilmiştir. Bütün duyusal analizler laboratuvarında florasan ışığı altında ve saat 15.30-16.30 arasında yapılmıştır. Değerlendirmede fındıkların tad, lezzet, acılık, dış görünüş, renk ve koku durumları dikkate alınmıştır. Değerlendirme 0-4 puan arasında yapılmıştır. Buna göre 4:çok iyi, 3:iyi, 2:orta-kabul edilebilir, 1:bozuk-kabul edilemez, 0:kötü şeklinde sınıflandırılmıştır, [15].

2.2.3.5. Fındık Analizi

2.2.3.5.1 Nümune Alma

Grubu, sınıfı, boyu, ürün yılı, ambalajları aynı olan ve bir seferde muayeneye sunulan kabuklu fındıklar bir parti sayılmaktadır. Teste tabi tutulacak üniteler ambalajlıdır. Ambalajlar üzerinde, her deney için bir numara bulunmaktadır [3].

Her partiden 5'den az olmamak kaydıyla % 5'den % 10'a kadar ambalaj içinden numune almak üzere gelişi güzel ayrılır. Sonuç kesirli çıkarsa rakam bir üste yuvarlatılır. Numune alınmak üzere ayrılmış olan her büyük ambalaj teker teker açılır, içindekilerin tümü muayene teknesi veya tentesine tamamen boşaltılarak iyice karıştırılır. Bu karışımdan muayene tablası üzerine 1 kg deney numunesi alınır.

Bu 1 kg'lık nümuneden çalışmamızda kullanacağımız yeterli miktarda fındık, yine iyice karıştırılarak alınır. Alman numune fındıklar dikkatlice kırılıp kabuğundan ayrılır. Gerekirse bu esnada randıman bakılabilir. Daha sonra iç fındıklar blendirle öğütülür ve 1 mm'lik elekte elenir. Nümunenin tamamı aynı elekten geçinceye kadar öğütme işlemine devam edilir. Bu şekilde elde edilen örneklerle analize hazırdır.

2.2.3.5.2. Ham Yağ Tayini

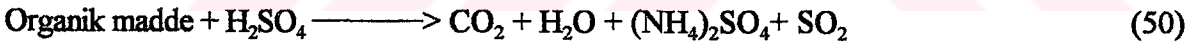
İnce çekilmiş fındık nümunesinden 3 gr civarında, bir kartuş içerisinde hassas olarak tartılır. Kartuşun ağzı iyice kapatılıp Soxhlet cihazına yerleştirilir. Sabit tartıma getirilmiş balon ısıtıcıya konup Soxhlet'in gövdesi takılır. Gövde hacminin 1.5 katı kadar eter ilave edilir. Soğutucu takılarak soğutucu açılır. Önce yavaşça, kaynamaya başladıktan sonra ise belirli bir sıcaklıkta ısınmaya bırakılır. Cihaz ilk sifon yaptıktan sonra 6 saat ekstraksiyona devam edilir. Sonra ısıtıcı kapatılarak soğuması beklenir. Soğuduktan sonra ekstraktın toplandığı balon alınarak, eter destile edilir. Balonda kalan yağ ise, 105°C'de ki etüvde 1.5-2 saat bekletildikten sonra

desikatöre alınarak oda sıcaklığına kadar soğutulur ve tartılır. Nümune ve kuru madde üzerinden yağ miktarı hesaplanır.

2.2.3.5.3. Ham Protein Tayini

Yağı alınmış fındık örneğinden 1 gr civarında hassas olarak tartılarak Kjeleadahl balonuna alınır. Üzerine 25 ml derişik H_2SO_4 ilave edilerek, bütün karışım ıslanacak şekilde karıştırılır. Sıçramaları önlemek için balonun ağızına bir huni yerleştirilerek az yanan bek alevinde 30 dakika ısıtılır. Isıtma, karışım kaynayacak fakat pek fazla SO_3 buharları distile olmayacak şekilde ayarlanır.

Siyah çözelti oda sıcaklığına kadar soğutulurak 15-20 ml. %30'luk H_2SO_4 katılıp, berraklaşmaya kadar tekrar ısıtılır. Bu sırada organik madde sülfat asidi ve peroksit tarafından yükseltgenerek CO_2 ve H_2O 'ya dönüşür, azot ise H_2SO_4 çözeltisinde $(NH_4)_2SO_4$ halinde kalır.



Bu işlemin sonunda tamamen renksiz olan karışım soğutulur ve saf su ile bir miktar seyreltiltikten sonra distilasyon sistemine alınır. Çözelti bazik oluncaya kadar 40-50 ml % 40'luk NaOH çözeltisi ilave edilir. Sonra cihaz çalıştırılarak çıkan NH_3 gazı 50 ml ayarlı asit çözeltisinde tutulur. İşleme NH_3 gazı çıkışı tamamlanıncaya kadar devam edilir. Gaz çıkışının olup olmadığı turnusol kağıdı ile kontrol edilir. İşlem tamamlandıktan sonra asitin fazlası metil kırmızısı indikatörlüğünde ayarlı NaOH çözeltisi ile geri titre edilir. Titrasyonda dönüm noktası rengin kırmızıdan sarıya döndüğü andır.

$$\% \text{Ham Protein} = \frac{(N_A \times S_A - N_B \times S_B) \times 0.014 \times 6.25}{\text{Nümune}(\text{gr})} \times 100 \quad (51)$$

2.2.3.5.4. Ham Lif Tayini

Yağı alınmış fındık örneğinden 1 gr civarında hassas olarak tartılarak 500 ml'lik şilifli bir balona alınır. Üzerine 200 ml % 1.25'lik H_2SO_4 çözeltisi ilave edilir. Geri soğutucu altında kaynamaya başladığından itibaren 30 dakika ısıtılır. Sonra trompta bir bez üzerinde süzülerek, balon kap üç kez sıcak su ile yıkanıp tekrar süzülür.

Bez üzerindeki katı kalıntı, dikkatlice aynı balon kaba alınarak, bu kez üzerine 200 ml % 1.25'lik NaOH çözeltisi ilave edilip yine geri soğutucu altında 30 dakika kaynatılır. Tekrar trompta bez üzerinde süzülüp, bazikliğin gitmesi için, 50 ml sıcak % 1.25'lik H_2SO_4 çözeltisi ile yıkanır. Daha sonra üç kez sıcak saf su bir kez de alkolle yıkanır. Bu yıkamalardan sonra bez üzerinde kalan kalıntı dikkatlice sabit tartıma gelmiş porselen krozede $110^{\circ}C$ 'de ki etüvde 1.5-2 saat kurutulur. Desikatörde oda sıcaklığına kadar soğutulduktan sonra tartılır.

Daha sonra $550-600^{\circ}C$ 'deki fırında 1.5-2 saat yakılarak kül edilir. Desikatörde soğutulup tartılarak kül miktarı bulunur. Önceki tartımdan son tartım çıkarılarak ham lif miktarı, yani asitte ve bazda çözünmeyen kısım bulunur, [2, 14].

2.2.4. Deneysel Hesaplama Yöntemi

Değişik malzemelerin kuruma karakteristiklerinin belirlenmesi amacıyla yapılan çalışmalar 60 yıldır devam etmektedir. Kuruma işlemi termofizik ve termokimyasal bir işlemdir. Burada kütle ve ısı transferi, malzeme yüzeyi ile ortam arasında olmakla beraber malzeme içerisinde de görülür. Biyolojik malzemelerin kurutulmasında kurutmayı açıklayan bir çok teoriler ortaya atılmış ve bu konudaki çalışmalar devam etmektedir.

Sunulan çalışmada fındığın kurutulmasının teorik modellemesi, ısı transferi ve kütle transferi açısından ele alınmıştır.

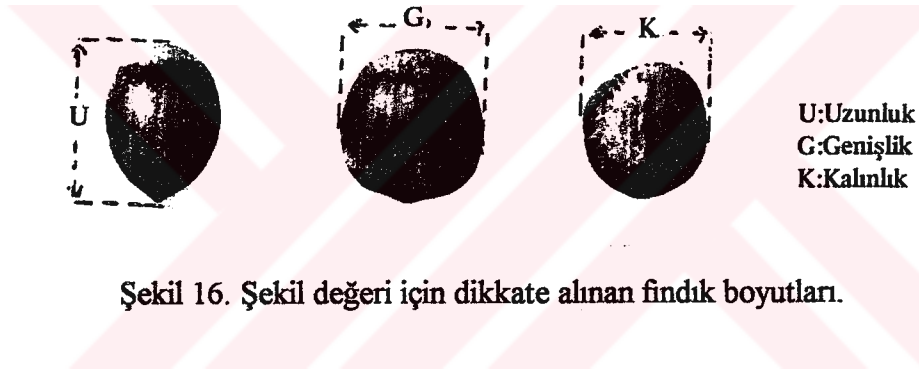
Deneyler aşağıdaki şartlarda yapıldı:

- Başlangıçta fındığın nemi yaklaşık % 25-30,
- Ortalama kurutma havası hızı 0.2-0.6 m/s arasında,

- Kurutma havasının sıcaklığı 25-45 °C arasında,
- Kurutma havasının bağıl nemi % 30-70 arasında,
- Fındığın şekil faktörü % 91 küresel.

2.2.4.1. Fındığın Küresellik Oranı

Deney nünuneleri arasından seçilmiş 100 adet fındık örnekleri üzerinde yapılan istatistiksel çalışma sonucu fındığın küresellik oranı tayin edildi. Şekil 16'daki geometriye uygun olarak denklem (52) ile fındığın küresellik oranı belirlendi, [54].



Şekil 16. Şekil değeri için dikkate alınan fındık boyutları.

Yükseklği U, genişliği G ve kalınlığı K olarak kabul edilen fındığın ortalama çapı,

$$d_{\text{ort}} = \frac{(U+G+K)}{3} \quad (52)$$

olarak bulunmuştur.

Fındığın gerçek hacmi, civaya batırılarak taşıdığı cıva miktarına göre belirlendi

$$\varphi = \frac{A_0}{A_v} \frac{\pi \left(\frac{6V_v}{\pi} \right)^{\frac{2}{3}}}{A_v} \quad (53)$$

Burada, A_0 , eşdeğer kürenin yüzey alanı, A_v , fındığın yüzey alanı, V_v , fındığın hacmidir. Bu şekilde hesap edilen küresellik oranı ortalama olarak % 91 olarak bulundu.

2.2.4.2. Isı Transfer Parametrelerinin Belirlenmesinde Uygulanan Hesap Yöntemi

Deneye alınacak fındıklardan yaklaşık aynı boyutta olanlar seçilerek, deney partileri oluşturuldu. Hava kanalına yerleştirilen fındıklar, önce ısıtılıp sonra soğutulması sağlandı. Ürünün merkez ve yüzey sıcaklıkları belirlenerek, soğuma eğrileri çizildi. Zamana bağlı ısı transfer analizi ile küresel ürünler için verilen model (bak 2.2.2.2) kullanılarak ısı transfer katsayıları bulundu. Bunun yanında ısı transfer karakteristiklerinden ısı iletim katsayısı ve Bi sayısı belirlendi.

Aynı şekilde fındıktaki sıcaklık dağılımının belirlendiği deneylerde ise, belirli bir başlangıç sıcaklığına kadar ısıtılan deney elemanının, $t=0$ anında içerisinden geçen havanın hızı ve termofiziksel özelliklerinin belirlenebildiği kare kesitli bir kanala yerleştirilmesi, merkez ve yüzey sıcaklıklarının zamana karşı bir yazıcıya kaydedilmesi suretiyle sıcaklığın zamanla değişimi belirlenmiştir.

Çözüm yönteminin doğruluğunun karşılaştırılmasının yapılabilmesi için küre katmanları aynı malzemeden alınarak, ısı transferi Bi sayısının çeşitli değerleri için hesaplanmıştır. Tipik sonuçlar Şekil 17'de verilmiştir.

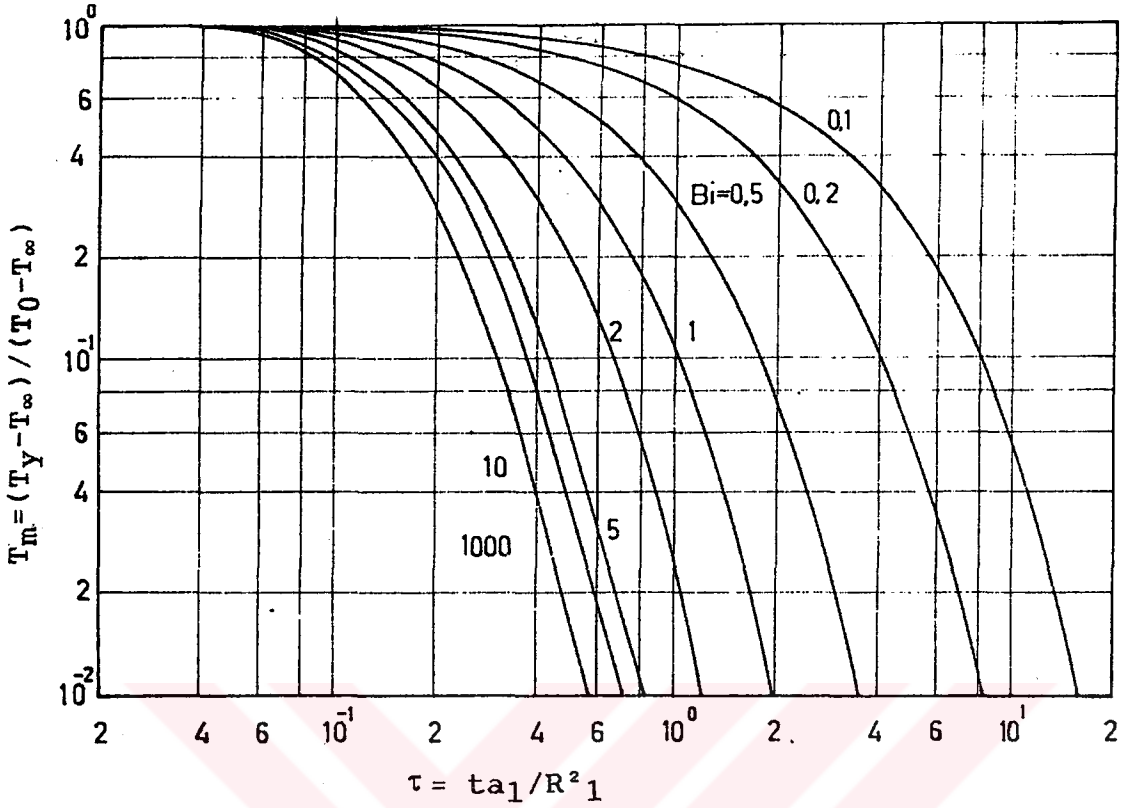
Çözümlerde elde edilen çeşitli Bi sayıları için merkez sıcaklığının boyutsuz zamanla değişimleri literatürde [12, 13], verilen çözümlerle karşılaştırılarak çözüm yönteminin doğruluğu kontrol edilmiştir.

2.2.4.3. Kütle Transferinin Belirlenmesinde Uygulanan Hesap Yöntemi

Her deney için fındık partilerine ait izafi fındık ağırlıklarından gerçek fındık ağırlıkları elde edilmiştir. Bir etüv yardımıyla tam kuru fındık ağırlıkları tesbit edilmiştir. Deneylerden elde edilen değerler aşağıdaki bağıntı yardımıyla fındık parti ağırlıklarının zamana göre değişim grafikleri çizilmiştir.

$$f(t) = \frac{M_t - M_e}{M_0 - M_e} \quad (54)$$

M_t : Fındığın t anındaki ağırlığı



Şekil 17. Katmansız kürede çeşitli Bi sayıları için merkez sıcaklığının zamanla değişimi.

M_e : Fındığın son ağırlığı

M_0 : Fındığın $t = 0$ anındaki ağırlığı

Bu ifadeyle fındığın deneysel olarak \bar{M}_{av} - t eğrileri elde edildi, Şekil 18.

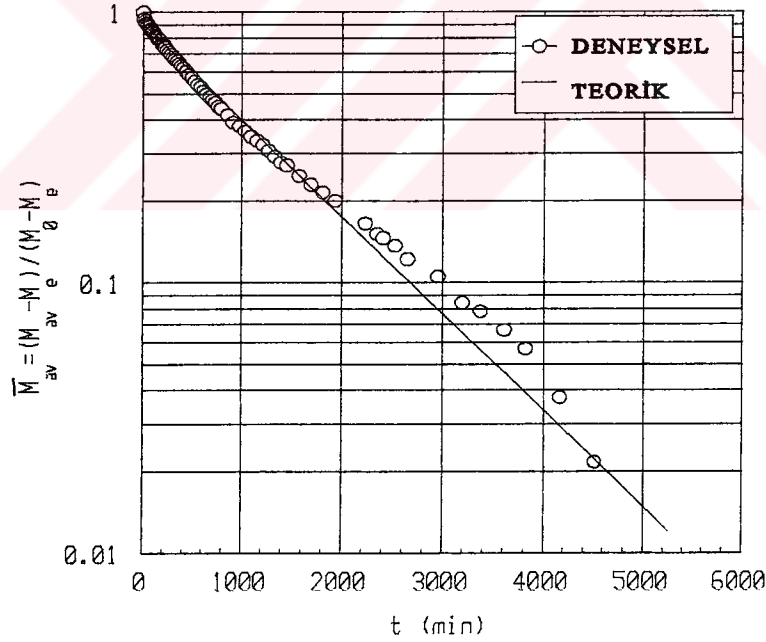
Deneysel sonunda elde edilen M_0 , M_e ve $R_{\text{findık}}$ değerleri kullanılarak, teorik olarak fındığın kuruma eğrileri çizildi. Bunun için kurutma B, (46) bağıntısındaki gibi seçildi ve ilk çözüm için $B=0$ alındı.

Eşitlik (43) ve (45)'de, $\Delta r=0.1$ ve $\Delta \tau =0.01$ alındı ve TDMA kullanılarak cebrik çözümler yapıldı. Eşitlik (43)'ün çözümü ile, her bir B değeri için \bar{M}_{av} - τ eğrileri türetildi, Şekil 19. Bu işlem B'nin 0 dan 6 ya kadar değerleri için tekrar edildi.

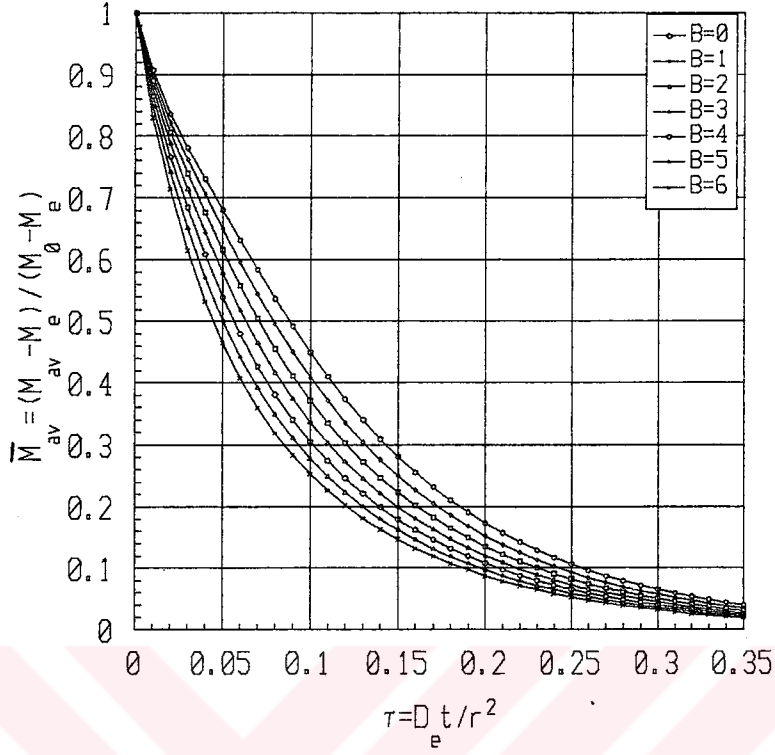
Deneysel verilere en küçük kareler yöntemi ile uydurulan matematik bağıntı yardımıyla

eşitlik (36)'yi kullanarak, B'ye bağlı olarak $D_e-\bar{M}_{av}$ eğrileri türetildi. Bu işlem de B'nin 0 dan 6 ya kadar değerleri için tekrar edildi, Şekil 20. $D_e-\bar{M}_{av}$ eğrilerinde, \bar{M}_{av} boyunca sabit kalan D_e değeri bulunduğu o şartlardaki difüzyon katsayısını ve D_e 'nin sabit kaldığı B değeri de bulunduğu kurutma parametresini vermektedir.

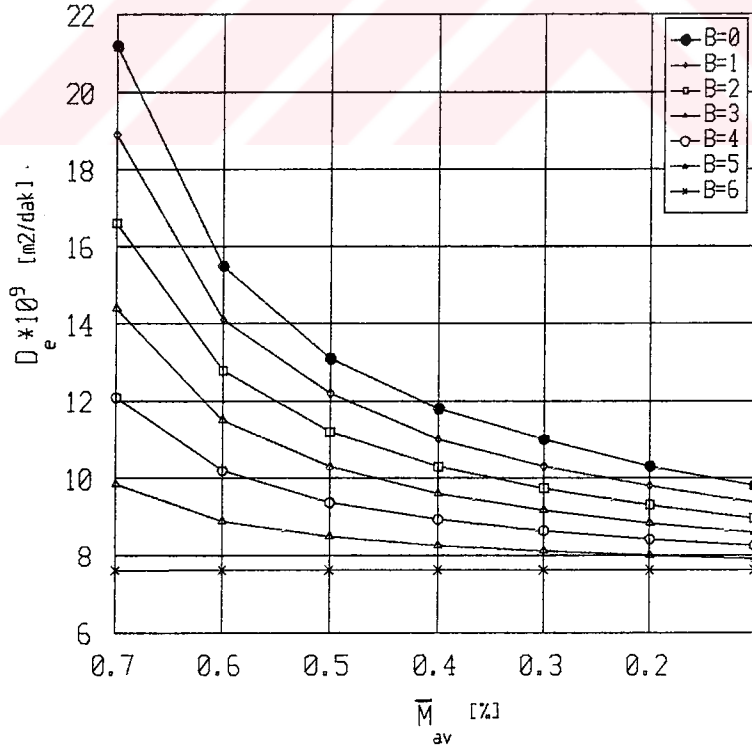
$D_e-\bar{M}_{av}$ eğrilerinde, sabit kalan D_e 'nin $\bar{M}_{av}=0.5$ için değerleri alınarak her bir deney şartı için D_e değerleri belirlendi. (40) ve (46) bağıntıları kullanılarak a ve b katsayıları belirlendi. Belirlenen değerlerle kurutma havası hızı ve sıcaklığına bağlı olarak D_e-T eğrileri çizildi. Bu eğrilere en küçük kareler yöntemi ile bağıntı uydurularak tombul fındık için a ve b katsayıları sıcaklık ve neme bağlı olarak bulundu.



Şekil 18. Fındıkta \bar{M}_{av} -t değişimi.



Şekil 19. Fındıkta \bar{M}_{av} - τ 'nun kurutma parametresi B'ye göre değişimi .



Şekil 20. Fındıkta türetilen D_e - \bar{M}_{av} bağıntılarının eğrileri.

3. BULGULAR

Isı transfer parametrelerinin belirlenmesi işleminin yapıldığı fındık örneklerinin ortalama boyutları ve deney şartları aşağıda verilmiştir.

$$\begin{aligned} Re &= 45\ 000 & R_{\text{fındık}} &= 0.00854\ \text{m} \\ T_{\text{ortam}} &= 14^\circ\text{C} & W_{\text{fındık}} &= \% 6.8 \\ C &= 0.007712\ \text{1/s} & J_i &= 1.411383 \end{aligned}$$

Fındık örnekleri için ısı taşınım katsayısının belirlenmesinde elde edilen soğuma eğrilerinden bir örnek Şekil 21'de verilmiştir. Seçilen tombul fındık numuneleri için deneysel verilere göre $Bi=4$ için, ısı taşınım katsayısı $h = 87.91\ \text{W/m}^2\text{K}$ ve ısı iletim katsayısı $k=0.187\ \text{W/mK}$ olarak belirlenmiştir. Fındık içerisindeki merkez sıcaklığının değişimi için yapılan deneyler sonunda elde edilen sıcaklık değişim grafiği de Şekil 22'de verilmiştir. Bu konudaki çalışmalar fındık çeşitleri ve boyutlarına göre devam etmekte olup, kısa zamanda literatürde yerini alacaktır.

Kurutma esnasında ince sergi fındık partilerindeki merkez sıcaklık değişimleri, sergi giriş ve çıkış sıcaklıklarına göre aldığı değerler $0.6\ \text{m/s}$, $0.3\ \text{m/s}$ ve $0.2\ \text{m/s}$ hızları için birer örnek grafik, Şekil 23, 24 ve 25'de verilmiştir. Tüm deneyler için diğer bulgular ise Böl. 8.2'de verilmiştir. Kalın sergi çalışmalarının az olması nedeniyle burada değerleri verilmemiştir. Bu değerler literatürde, [10] verilmiştir.

Kurutma işlemi için yapılan tüm deneylerde elde edilen bulgular Tablo 2'de verilmiştir

Fındık partilerindeki nemin zamana göre değişimi (\bar{M}_w-t) her bir hız değeri için birer örnek olmak üzere Şekil 26, 27 ve 28'de verilmiş olup, tüm deneyler için diğer bulgular Böl. 8.3'de verilmiştir.

Bölüm 2.2.2.3.'de anlatılan deney düzeneğinde yapılan deneyler sonucunda fındık örneklerinin denge nemi ölçümlerine ait grafik Şekil 29'da verilmiştir. Kimyasal analiz bulguları Tablo 3'de görülmektedir. Kurutma sonunda kuru fındıkların duyusal değerlendirme analizleri Tablo 4'de verilmiştir.

Fakat laboratuvar imkanlarındaki bazı aksaklıklardan dolayı bu deneylerin kimyasal analiz ve duyusal test sonuçlarının tamamının elde edilememesine neden olmuştur.

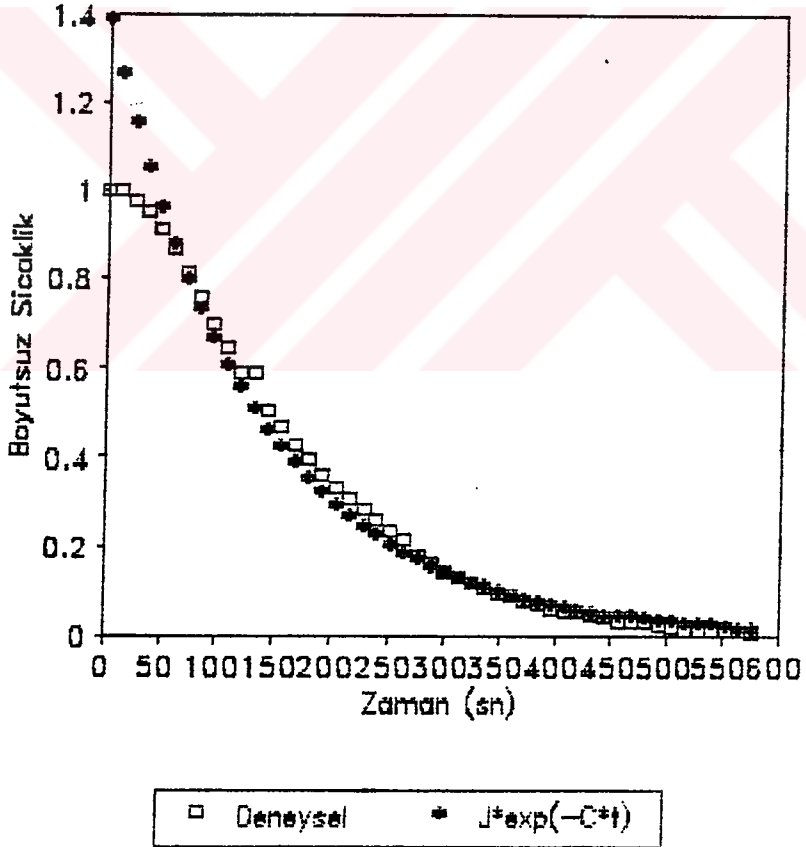
Bu çalışmalar sonunda fındığın difüzyon katsayısının kurutma havası sıcaklığı ve hızına bağlı

olarak D_e -T değişimi Şekil 30'da verilmiştir. Ayrıca B kurutma parametresine göre bulunduğun difüzyon katsayısının aldığı değerler Şekil 20'de verilmiştir. Tüm deney bulguları Böl. 8.4'de verilmiştir. Bu sonuçlardan sonra, bulunduğun D_e difüzyon katsayısının sıcaklığa bağlı olarak hesaplanabilmesi için gerekli olan a ve b katsayılarının fonksiyonları aşağıdaki gibi bulunmuş olur.

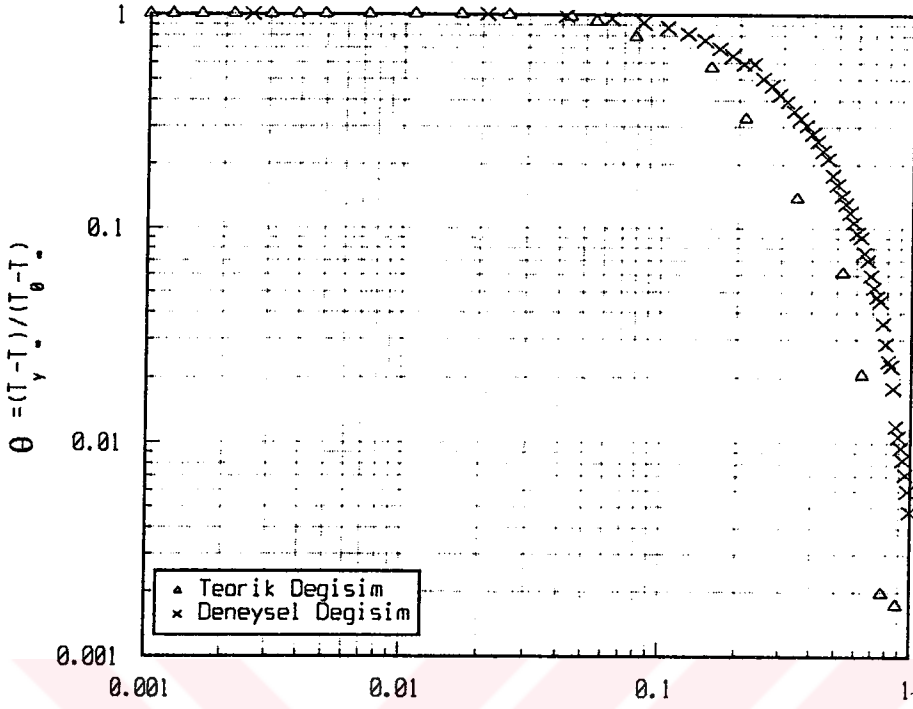
$$a=6.0492171 \cdot 10^{-11} \exp(0.065527 \cdot T) \quad (56)$$

$$b=51.218099 \cdot \exp(-0.016587 \cdot T) \quad (57)$$

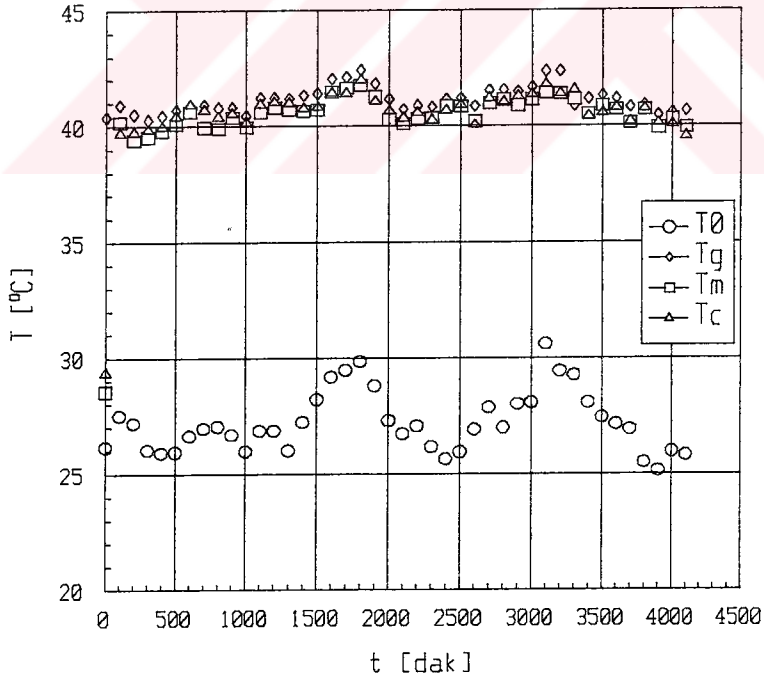
Böylece bulunduğa ait difüzyon katsayısı için bu ifade literatüre ilk defa bu çalışma ile girmiştir.



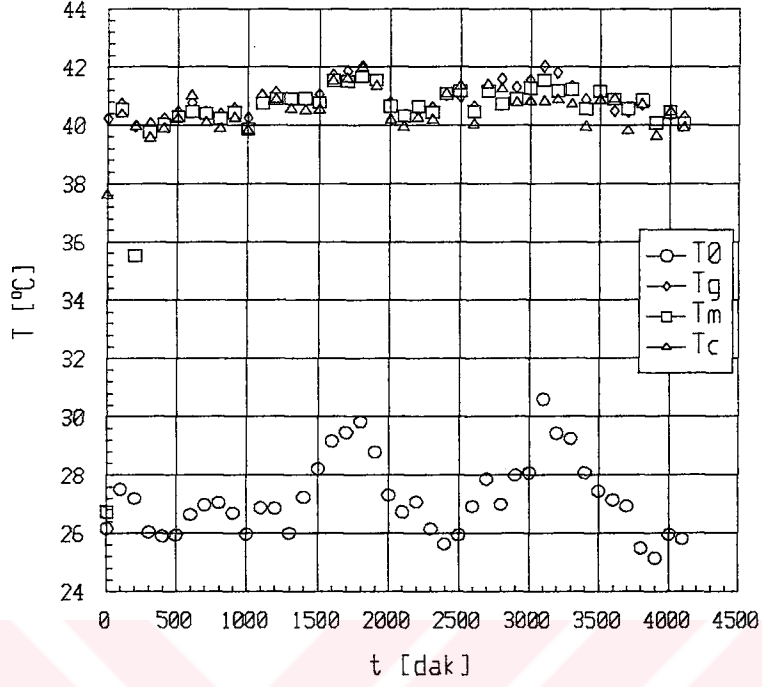
Şekil 21. Fındığın soğuma eğrisi.



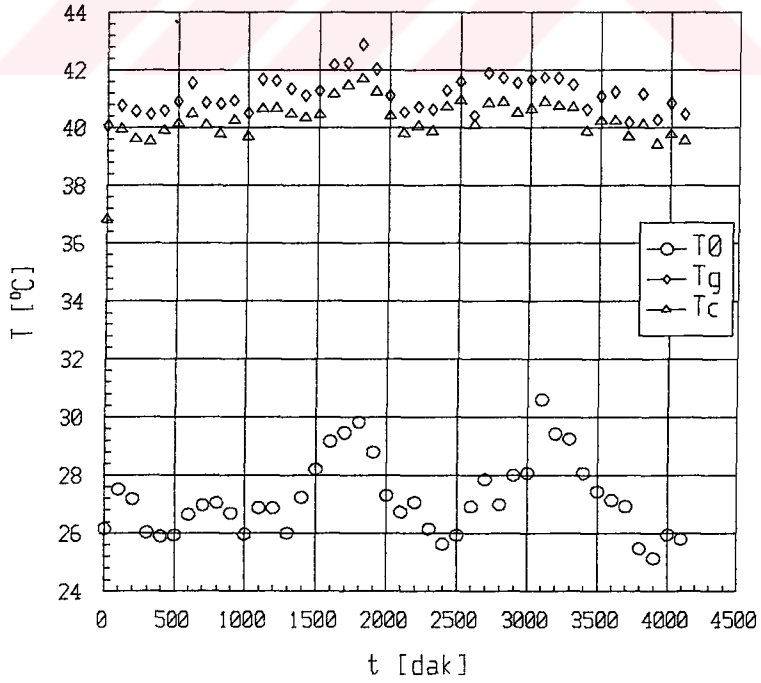
Şekil 22. Fındık içerisindeki sıcaklık dağılımı.



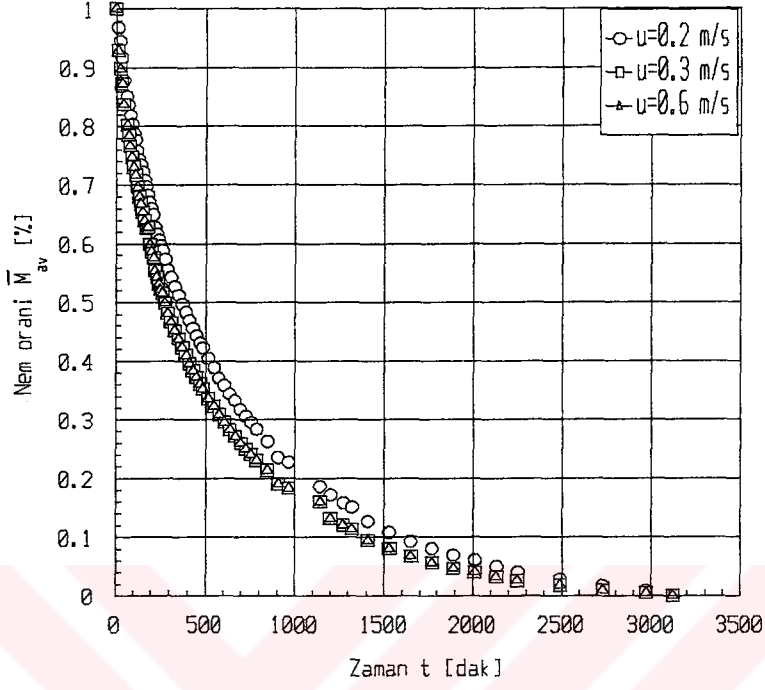
Şekil 23. Deneysel kurutma havasının ve fındık merkez sıcaklığının değişimi ($u=0.6$ m/s).



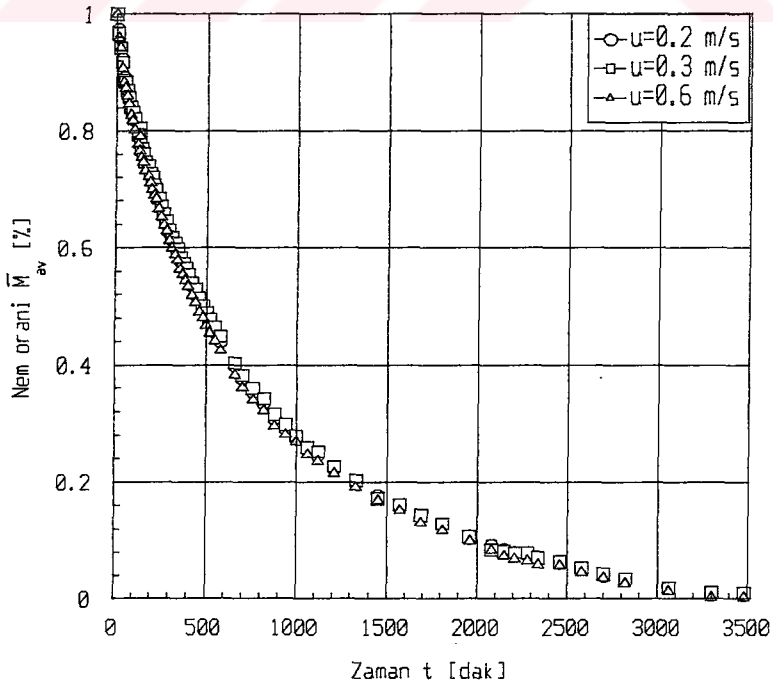
Şekil 24. Deneylerde kurutma havasının ve fındık merkez sıcaklığının değişimi ($u=0.3$ m/s).



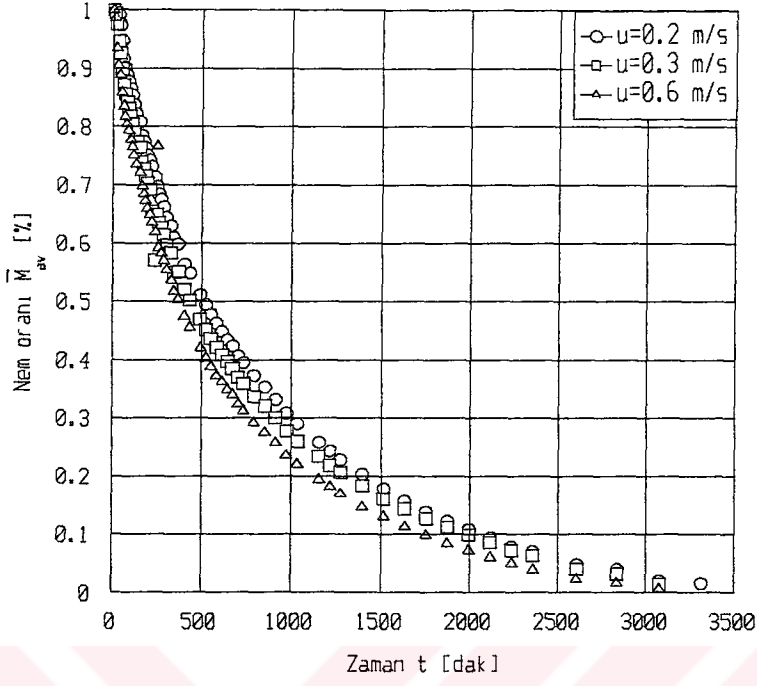
Şekil 25. Deneylerde kurutma havası sıcaklığının değişimi ($u=0.2$ m/s).



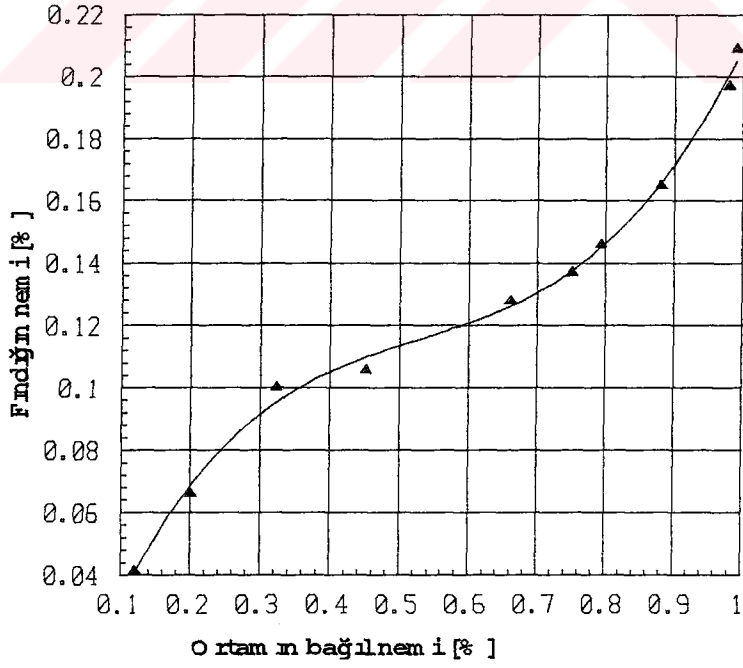
Şekil 26. Fındıkta \bar{M}_{av} - t değişimi ($T=45^\circ\text{C}$, $\phi=0.60$).



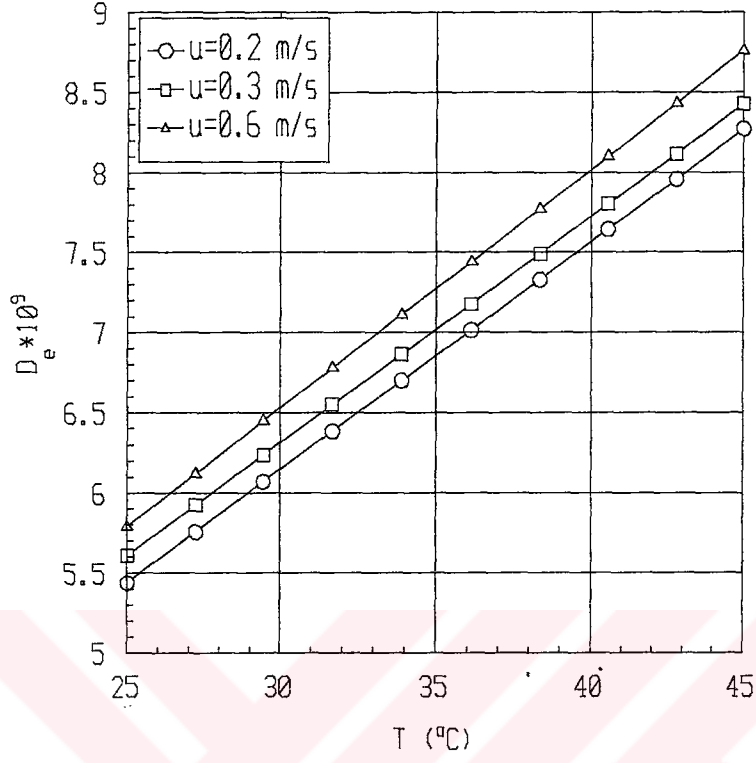
Şekil 27. Fındıkta \bar{M}_{av} - t değişimi ($T=40^\circ\text{C}$, $\phi=0.70$).



Şekil 28. Fındıkta \bar{M}_{av} - t değişimi ($T=33^\circ\text{C}$, $\phi=0.45$).



Şekil 29. Tombul fındığın denge nemi eğrisi ($T= 20^\circ\text{C}$).



Şekil 30. Fındık difüzyon katsayısı D_e 'nin kurutma havası sıcaklığı ve hızıyla değişimi.

Tablo 2. Kurutma deney bulguları.

Deney no	Kurutma havasının sıcaklığı [°C]	Kurutma havasının bağıl nemi [%]	Yaş findığın nemi [%]	İnce sergide kuru findığın son nemi [%]			Kalın sergide kuru findığın son nemi [%]	
				0.2 m/s	0.3 m/s	0.6 m/s	0.3 m/s	0.9 m/s
1	25	60	25	7.3	7.1	6.5		
2	30	45	28.6	7.1	6.8	6.5		
3	30	60	25.5	8.6	8.2	7.5		
4	30	70	26.5	9.6	10.6	10.9		
5	33	45	28	8.8	8.2	7.5		
6	33	60	30	7.2	7	6.4	8.6	8.1
7	35	45	28	6.1	6.3	6.7	7.2	6.3
8	35	55	26.3	7.6	8.3	8.2		
9	35	60	26	8.6	8.2	7.4		
10	35	70	29.6	9	9.9	9		
11	40	45	30.8	5.7	5.6	5.7		
12	40	55	25	6.8	6.4	6.5		
13	40	60	29	7.8	7.7	7.3		
14	40	70	28	8.5	8.7	8.7	9.8	9.1
15	45	45	24	5.6	5.5	5.8		
16	45	55	26.1	6.4	6.3	5.9		
17	45	60	33	7.9	7	6.4	6.8	6.2
18	45	70	26	8.7	9.3	9.4		
19	50	30	27	8.3	8	7.6	6.2	5.8

Tablo 3. Kurutulmuş iç fındıkların kimyasal analiz sonuçları (Tombul fındık).

Deney No	Nem [%]	Ham Yağ [%]	Ham Protein [%]	Ham Lif [%]
1	3.9	66.1	14.08	2.54
2	4.4	66.2	14.15	2.52
3	4.35	66.4	14.38	2.47
4	4.42	65.8	14.1	2.45
5	4.45	65.6	14.18	2.49
6	4.18	65.9	14.27	2.5
7	4.25	65.5	14.42	2.53
8	4.1	64.3	14.32	2.36
9	4.2	65.2	14.85	2.45
10	3.85	65.4	14.81	2.58
11	3.72	64.7	14.75	2.39

Tablo 4. Duyusal değerlendirme analiz sonuçları* (Tombul fındık).

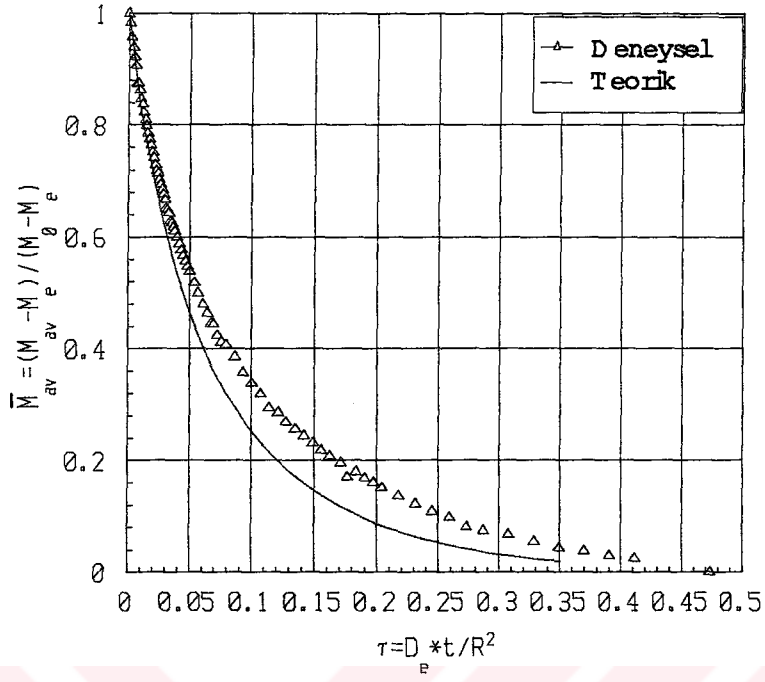
Deney No	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0.6 m/s	3	3.5	3.7	3.2	3.4	3	3.2	3	3.2
0.3 m/s	2.8	3.2	3	3.2	3.8	3.5	3.5	3.4	3.5
0.2 m/s	2.2	2.5	2.5	2.8	2.5	2.3	2.6	2.2	2.8
0.9 m/s	3.2								
0.3 m/s	3								

*4: çok iyi, 3: iyi, 2: orta-kabul edilebilir, 1: bozuk- kabul edilemez, 0: kötü.

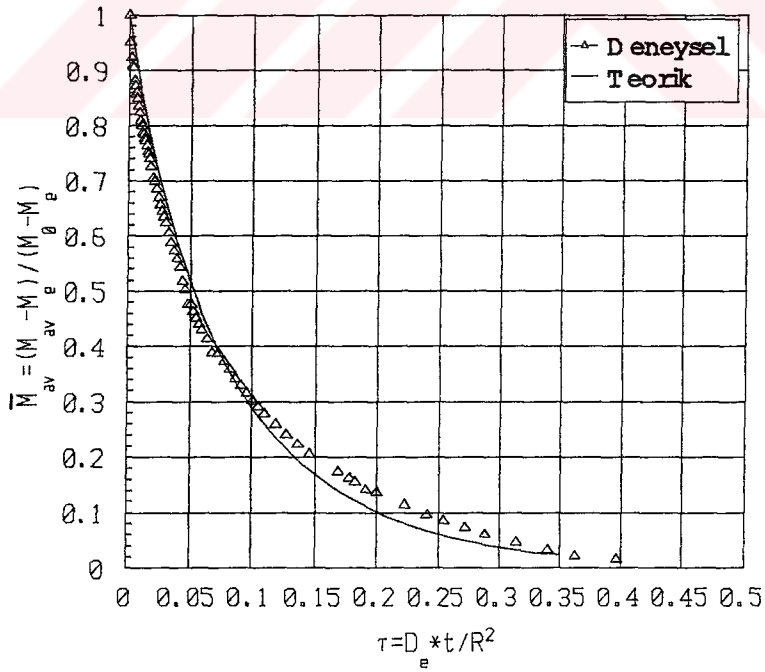
4. İRDELEME

Bu çalışmada yapılan deneylerle elde edilen sonuçların, kullanılan matematik modelle son derece uyum içinde olduğu gözlenmiştir. Deneysel ve teorik çalışmanın uyumluluğu iki farklı deney için Şekil 31 ve 32'de görülmektedir.

Yapılan çalışmada, ince sergide 0.2, 0.3, 0.6 m/s ve kalın sergide 0.3, 0.9 m/s hava hızlarında, [10], fındığın kurutulması ele alınmıştır. Hava hızının artması kurutmanın süresini azaltmış olduğu, ağırlık düşümü ve yüzde nemin zamana göre çizilmiş grafiklerinde de görülmektedir. Kurutma havası hızının büyük olduğu kolonlarda aynı kurutma süresi içerisinde fındık kabuğunda aşırı sertleşme ve iç fındığın merkezinde boşluklar meydana gelmiştir. Ayrıca kurutma havasının 0.45, 0.55, 0.60 ve 0.70 bağıl neminin de kurutma süresine etkisi araştırılmıştır. Kurutma havasının yüksek bağıl nemlerinde kurutma süresi uzamakta olup, fındığın kurutma sonu nemi yüksek olmaktadır. Elde edilen grafikler Ek 3'de verilmiştir. Kurutma sonunda yapılan kimyasal analiz sonuçlarının literatürde [37], tımbul fındık için verilen değerlere uygun olduğu gözlenmiştir. Ayrıca özel bir kuruluş (BAŞKAN Gıda San. ve Pazarlama LTD. ŞTİ. Giresun) tarafından yapılan suni fındık kurutma kimyasal analiz değerlerinin (protein=16.37, asit=0.12, peroksit=0, ilk nem=26.42, son nem= 5.40, yağ= 67.6-69.4), bu çalışmada elde edilen değerlerle uygunluk gösterdiği belirlenmiştir. Duyusal analizler sonucunda farklı hızlardaki kolonların üst kısımlarındaki fındık partilerindeki fındıklarda az miktarda bir tad değişikliği gözlenmiştir.



Şekil 31. Fındık kurutmada \bar{M}_{av} - τ 'nin teorik ve deneysel değişimi
($T=40^\circ\text{C}$, $\phi=0.60$, $u=0.3$ m/s).



Şekil 32. Fındık kurutmada \bar{M}_{av} - τ 'nin teorik ve deneysel değişimi
($T=25^\circ\text{C}$, $\phi=0.60$, $u=0.3$ m/s).

5. SONUÇLAR

1. Fındık kurutmada ince ve kalın sergide kurutulan ürünün kalitesinde farklılıklar gözlenmiştir.
2. Aynı kurutma şartlarında ince sergideki fındık aromasının, kalın sergideki fındık aromasına göre daha iyi olduğu ve kimyasal analizlerde görülür bir ayrıcalık olmadığı belirlenmiştir.
3. İnce sergide çok düşük hızlarda (<0.3 m/s) fındık kurutma sonunda aromada kötüleşme izlenmiştir. Kalın sergide ise kurutma havası hızının artması, fındık aromasının kötüleşmesine neden olmaktadır. Kurutma için en ideal hava hızı 0.3 m/s olarak belirlendi.
4. Kurutma havasının sıcaklığının yüksek olması, fındık içinde yağ asitlerinin bozulması ile fındık aromasını kötüleştirmektedir. Kurutma esnasında fındığın en az etkileyen kurutma havası sıcaklığı $35-40^{\circ}\text{C}$ olduğu gözlenmiştir.
5. Fındıkda ısı transferi parametrelerin belirlenmesi için tanıtılan matematik modelin fındığın termodinamik özelliklerinin belirlenmesinde kullanılabilirliği gösterilmiştir.
6. Tımbul fındığın kurutulmasında elde edilen deneysel verilerle kurulan matematik model çok iyi uyum göstermiştir. Burada fındık için, iç-hava-kabuk difüzyonu ayrı ayrı ele alınmamıştır. Elde edilen difüzyon katsayısı fındık kurutmada fındığın tüm yapısı için belirlenmiştir.
7. Kurutma havasının sıcaklığı, ürün denge nemi ve ürünün nem içeriği bilindiğinde fındığın kurutma karakteristiklerinin belirlenebileceği gösterilmiştir.
8. Daha sonraki çalışmalarda tanıtılan modelle tüm fındık türleri ve boyutları için de a ve b katsayıları ile birlikte B kurutma parametresi belirlenecektir.
9. Fındığın difüzyon katsayısı üzerinde, şu ana kadar bir çalışmaya rastlanamamıştır. Bu nedenle elde edilen fındığın difüzyon değerleri literatüre bu çalışma ile kazandırılmıştır.

6. ÖNERİLER

- 1- Literatürde eksikliği görülen fındığın termodinamik özelliklerinin tüm fındık türlerine göre belirlenmesi.
- 2- Fındık porozitelerinin fındık türlerine göre belirlenmesi.
- 3- Suni kurutma ile doğal kurutmanın teknik ve ekonomik olarak karşılaştırılması.
- 4- Suni kurutmada, kurutma şartlarının fındığın depolama özelliklerine etkisinin araştırılması.
5. Belirlenen kurutma şartlarına göre, fındık üretim bölgelerindeki atık enerji ve güneş enerjisi kaynaklarının özelliklerine göre pilot kurutma tesislerinin tasarlanması gerekmektedir.



7. KAYNAKLAR

- (1) Karabay, H., Fındık Kurutma, Yüksek Lisans Tezi, K.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Makina Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Trabzon, 1991.
- (2) Şahin, İ., Erkut, A., Öztekin, L., Oysun, G. ve Üstün, Ş., Orta ve Doğu Karadeniz Bölgesinde Yetiştirilen Fındık Çeşitlerinin Teknolojik Özellikleri Üzerine Araştırmalar, Araştırma Projesi, Ondokuz Mayıs Üniversitesi Ziraat Fakültesi, Samsun, 1989.
- (3) TS 3034 ve TS 3075, Resmi Gazete Sayı: 20221, Temmuz, 1989.
- (4) Bıçakçı, M., Doğu Karadeniz Bölgesinde Havalı Güneş Kollektörü ile Prototip Fındık Kurutma Tesisatı Tasarımı, Yüksek Lisans Tezi, K.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Mak. Müh. Anabilim Dalı, Trabzon, Ocak 1989.
- (5) Özkaya, L., Fındık Kurutmada Havalı Güneş Kollektörü Tasarımı ve Kullanımı, Bitirme Çalışması, K.T.Ü. Müh. Mim. Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümü, Trabzon, 1991.
- (6) Tunavelioğlu, A.T., Fındık Piyasalarında Durum, Fındık, KFMIB, 9, 50, (1989), 4-11.
- (7) Tunavelioğlu, A.T., Fındık Piyasalarında Durum, Fındık, KFMIB, 9, 51, (1989), 4-12.
- (8) Sabır, S., Türkiye'de Fındık Pazarlaması, Türkiye Fındık Politikasının Esasları Semineri, Bildiri Kitabı, İAV, İstanbul, (1988), 103-116.
- (9) Yıldırım, G., Fındık Kurutma ve Tartma Deney Düzenegi, Bitirme Çalışması, K.T.Ü. Müh. Mim. Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümü, Haziran, 1990.
- (10) Ayhan, T., Bıyıkhoğlu, A. Kaygusuz, K. ve Karabay, H., Doğu Karadeniz Bölgesinde Fındık ve Çay Ürünlerinin Güneş Enerjisinden de Yararlanarak Kurutma Teknolojisinin Geliştirilmesi, Araştırma projesi, TÜBİTAK MİSAG-11, Trabzon, Ocak 1994.

- (11) İlbaylı, S., Sert Kabuklu Meyvelerin Soğuk Muhafazası, Seminer, Tarım-Orman Bakanlığı, Ankara, 1982.
- (12) Daloğlu, A., Çok Katmanlı Kürede Geçici Rejimde Isı Transferinin Nümerik Hesaplanması, Yüksek lisans tezi, K.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Makina Mühendisliği Anabilim Dalı, Trabzon, 1982.
- (13) Ünal, A. ve Daloğlu, A., Küresel Şekilli Kompozit Cisimlerde Isı Transferi, 10. Ulusal Isı Bilimi ve Tekniği Kongresi 6-8 Eylül, Ankara, (1995), 139-148.
- (14) Kanca, M.A., Fındık Analizi, Bitirme Çalışması, K.T.Ü. Fen Edebiyat Fakültesi Kimya Bölümü, Trabzon, 1984.
- (15) Baş, F., Önemli Fındık Çeşitlerinin Değişik Sıcaklık ve Nem Koşullarında Muhafazaları Üzerine Bazı Ambalaj Malzemelerinin Etkileri, Doktora tezi, TÜBİTAK Marmara Bilimsel ve Endüstriyel Araştırma Merkezi, İzmit-Gebze, 1990.
- (16) Keskin, H., Gıda Kimyası, İstanbul Üniversitesi Yayını, sıra no:2888, Kimya Fakültesi No: 47, İstanbul, 1975.
- (17) Ayfer, M., Değişik Nem ve Sıcaklarda Muhafaza Edilen Fındıklarda Kalite Kayıpları ve Kalite ile Yağ Asitlerinin Değişimleri Arasındaki İlişkiler, A.Ü.Zir. Fak. Yayın No:524, Ankara, 1973.
- (18) Baş, H., Fındık Kırma Teknolojisinde Tambur Sisteminin Geliştirilmesi, Yüksek lisans tezi, K.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Makina Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Trabzon, 1993.
- (19) Dinçer, İ., Kurutma Prosesinin Analizi, Termoklima, 1, 10, (1992), 10-38.
- (20) Demirtaş, C., Şartlandırılmış Hava İle Fındık Kurutma Deney Düzenegi, 4.Ulusal Soğutma ve İklimlendirme Tekniği Kongresi, 10-12 Nisan, Adana, 1996.

- (21) Dinçer, İ., Soğuk Su Banyosunda Soğutulan Küresel Şekli Domatesin Sıcaklık Dağılımının Belirlenmesi, Mühendis ve Makina Dergisi, 33, 387, (1992), 21-26.
- (22) Can, A., Kurutma Koşullarında Biyolojik Ürünler İçinden Nem Transportunun Kinetiği, Mühendis ve Makina Dergisi, 33, 392, (1992), 9-12.
- (23) Whitaker, S., Simultaneous Heat, Mass and Momentum Transfer in Porous Media; A Theory of Drying, in Advances in Heat Transfer, 13, (1977), 199-203.
- (24) Schatler, N. ve Kast, W., A Complete Model of the Drying Curve for porous Bodies- Experimental and Theoretical Studies, Int. J. Heat and Mass Transfer, 30, 10, (1987), 2031-2044.
- (25) Berger, D. ve Pei, D.C.T., Drying of Hygroscopic Capillary Porous Solids; A Theoretical Approach, Int. J. Heat and Mass Transfer, 16, (1973), 293-302 .
- (26) Luikov, A.V., Systems of Differential Equations of Heat and Mass Transfer in Capillary-Porous Bodies (Review), Int. J. Heat and Mass Transfer, 18, (1975), 1-14.
- (27) Luikov, A.V., Heat and Mass Transfer in Capillary-Porous Bodies, Pergamon Press, New York, 1966.
- (28) Luikov, A.V., Analytical Heat Diffusion Theory, Academic Press, Inc., New York, 1968.
- (29) Gupta, L.N., An Approximate Solution of the Generalized Stefan's Problem in Porous Medium, Int. J. Heat and Mass Transfer, 18, (1975), 15-24.
- (30) Michailov, M.D. Exact Solution of Temperature and Moisture Distributions in a Porous Half- Space with Moving Evaporation Front, Int. J. Heat and Mass Transfer, 18, (1975), 797-804.

- (31) Smirnov, M.S. ve Lysenko, V. I.L., Equations of Drying Curves, Int. J. Heat and Mass Transfer, 32, 5, (1989), 837-841.
- (32) Stanisch, M.A., Schajer, G.S. ve Kayihan, F., A Mathematical Model of Drying for Hygroscopic Porous Media, AIChE Journal, 32, 8, (1986), 1301-1311.
- (33) Dutta, S.K., Nema, V.K. and Bhardwaj, R.K. Drying Behaviour of Spherical Grains, Int. J. Heat Mass Transfer, 31, 4, (1988), 855-861.
- (34) Ecgert, E.R.G. ve Faghri, M., A General Analysis of Moisture Migration Caused by Temperature Differences in an Unsaturated Porous Medium, Int. J. Heat and Mass Transfer, 23, (1980), 1613-1623.
- (35) Wang, B. X. ve Fang, Z.H., Heat and Mass Transfer in Wet Porous Media and a Method Proposed for Determination of the Moisture Transport Properties, Heat and Technology, 2, 1, (1984), 29-43.
- (36) Çetiner, E., Türkiye'de Fındık Üretimi, Türkiye Fındık Politikasının Esasları Semineri, İAV-KFMİB, Bildiri Kitabı, 65-70, İstanbul, 1988.
- (37) Ayfer, M., Uzun, A. ve Baş, F., Türk Fındık Çeşitleri, Karadeniz Bölgesi Fındık İhracatları Birliği., Giresun, 1986.
- (38) Ayfer, M. and Uzun, A., The Effect of Two Different Ecologies On The Kernal Quality, 'Nover-Noisetier', Resumes des Communications, Bordeaux, 1988.
- (39) Pirinçioğlu, N., Arıkbay, C., Dünya Fındık Piyasası, Türkiye'nin Yeri ve Etkisi, MPM Yayınları, 357, Ankara, 1987.
- (40) Özbek, S., Özel Meyvecilik, Ankara Üniversitesi Basım Evi, Ankara, 1978.

- (41) Öktem, B., Dünya'da Sert Kabuklu Meyveler Üretim ve Tüketimi, Türkiye Fındık Politikasının Esasları Semineri, İAV-KFMİB, Bildiri Kitabı, İstanbul, (1988), 30-52.
- (42) Gill, D., Edible Nut Market Report, New York, Mayıs, 1985.
- (43) FAO, Production Yearbooks, New York, 1983.
- (44) Alpaslan, F., Optimal Kontrol ve Stabilizasyon Politikasının Fındık Tarımında Uygulaması 1966-86, 19 Mayıs Üniversitesi Fen-Edebiyat Fak. İstatistik Böl., Samsun, 1988.
- (45) FİSKOBİRLİK, 1991-1992 İş Yılına Ait Çalışma Raporu, Giresun, 1993.
- (46) Kamçacı, M.Ü., Açıclı Bir Elyaf Kurutucunun Geliştirilerek Optimizasyonunun Yapılması, Doktora Tezi, Y.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 1982.
- (47) Gürses, Ö.L., Gıda İşleme Mühendisliği-II, A.Ü.Ziraat Fakültesi yayınlar, No:963, Ankara 1986.
- (48) Kahveci, N., Erdal, Y. ve Dinçer, İ., Güneş Enerjili Kurutma sistemleri ve Kullanım Olanakları, Araştırma projesi, TÜBİTAK-MAM-MİSAB, Gebze, Mayıs 1992.
- (49) Örs, Y., Kurutma ve Buharlama Tekniği, KTÜ Orman Fakültesi, Trabzon, 1986.
- (50) Nonhebel, G. ve Hoss, A.A.H., Drying of Solids in the Chemical Industry, Butterworth ve Co. (Publishers) Ltd, Londra, 1971.
- (51) Keey, R.B., Drying Principles and Practice, Pergamon Press, New York, 1972.
- (52) Telli, K., Termodinamik, A.Ü. Isparta Müh. Fak., Isparta, 1984.
- (53) Treybal, R.E., Mass-Transfer Operations, Third Edition, McGraw-Hill Book Company,



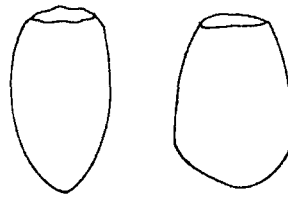
Singapore, 1993.

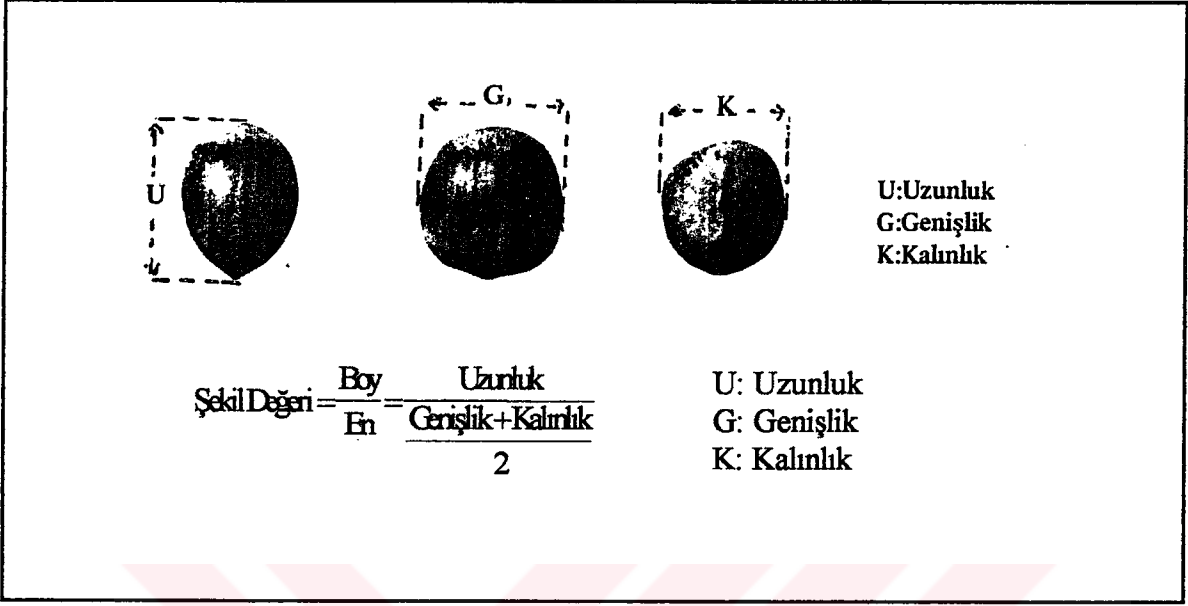
- (54) Keey, R.B., Drying of Loose and Particulate Materials, Hemisphere Publishing Corporation, New York, 1992.
- (55) Carslaw, H.S. ve Jaeger, J.C., Conduction of Heat in Solids, 2nd ed. Oxford University Press, London, 1959.
- (56) Sweat, V.E., Thermal Properties of Foods, In: Engineering Properties of Foods (Rao, M.A. and Rizvi, S.S.H., eds.), Marcel Dekker, Inc., New York, 1986.
- (57) ASHRAE Handbook of Fundamentals, Thermal Properties of Foods, Atlanta GA, American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers, INC, 31, 1981.
- (58) Gröber, E.,G., Wärmeübertragung; 3. Auflage, Springer-Verlag, Berlin-Heidelberg-New York, 1963.
- (59) Steffe, J.F. ve Singh, R.P., Diffusion Coefficients for Predicting Rice Drying Behaviour, J. Agric. Engng. Res., 27, (1982), 489-493.
- (60) Çiçek, H., Fındık "Süper Enerji", Yağlıdere'nin Sesi, İstanbul, 4, 24, (1995), 2-8.

8. EKLER

8.1. Fındığın literatür bilgileri

Ek Tablo 1. Fındık Meyvelerinin şekil (pamolojik) grupları ve bu gruplara giren kültür çeşitleri [37].

FINDIK ŞEKİLLERİ VE ŞEKİL GRUPLARI	ŞEKİL GRUPLARINA GÖRE KÜLTÜR ÇEŞİTLERİ
<p>YUVARLAK</p> 	<p>TOMBUL PALAZ FOŞA MİNCANE KARAFINDIK KALIN KARA ÇAKILDAK UZUN MUSA CAVCAVA KAN KARGALAK</p>
<p>SİVRİ</p> 	<p>SİVRİ İNCEKARA</p>
<p>UZUN</p> 	<p>YUVARLAK BADEM YASSI BADEM</p>



Ek Şekil 1. Fındığın meyve boyutları ve şekil değerinin hesabı [37].

Ek Tabo 2. Kabuklu fındıklarda bazı nitelik değerlerinin karşılaştırılması [37].

ÇEŞİTLER	Şekil Değeri ve Biçimi	Meyve İriliği (%)	Çotanaktaki Meyve Sayısı	Çıtlak Kabuklu Meyve Oranı (%)	Sağlam İç Oranı (%)	Buruşuk İç Oranı (%)	İkiz İç Oranı (%)	Boş Meyve Oranı (%)	Randıman (%)	Çürük Meyve Oranı (%)
Tombul	1.11	1.46	3.8 (3-4)	1.13	74.58	13.79	0.82	7.91	51.7	0.80
Palaz	0.98	1.62	3.2 (3-4)	0.91	73.5	15.26	1.67	8.82	49.8	2.75
Foşa	1.06	1.86	2.2 (2-3)	0.5	74.49	18.51	2.26	4.96	48.7	0.67
Mincane	1.15	1.55	2.7 (2-3)	1.69	75.65	17.71	1.36	5.81	48.2	0.99
Kalnkara	1.18	1.72	3.4 (3-4)	1.25	65.93	24.69	15.92	5.14	49.6	0.88
Uzunmusa	1.15	1.42	4.7 (4-5)	2.75	71.33	14.53	1.05	14.18	56.7	0.95
Karafındık	1.18	1.42	4.8 (4-5)	2.14	60.81	36.31	4.61	7.77	49.2	1.13
Çakıldak	1.17	1.60	1.7 (1-2)	0	51.73	41.72	0.58	6.03	48.7	0.73
Cavcava	1.02	1.06	3.4 (3-4)	1.5	74.46	15.33	2.27	6.22	52	1.77
Kargalak	0.82	1.82	1.1 (Tekli)	0	-	-	0.0	-	35	-
Kan fındığı	1.16	1.59	3.2 (3-4)	2	49.43	40.04	0.9	9.65	52.3	0.38
Sivri	1.36	1.70	3.6 (3-4)	0.17	69.55	19.0	0.37	10.40	48.9	0.86
İncekara	1.29	1.40	2.5 (2-3)	0	42.63	41.09	9.32	11.93	51.9	0.96
Yuvarlak Badem	1.68	1.76	2.2 (2-3)	0	30.07	55.05	0.67	14.22	46.1	0
Yassı Badem	1.63	0.94	1.4 (1-2)	2	54.29	36.59	1.3	8.2	46.1	0.35

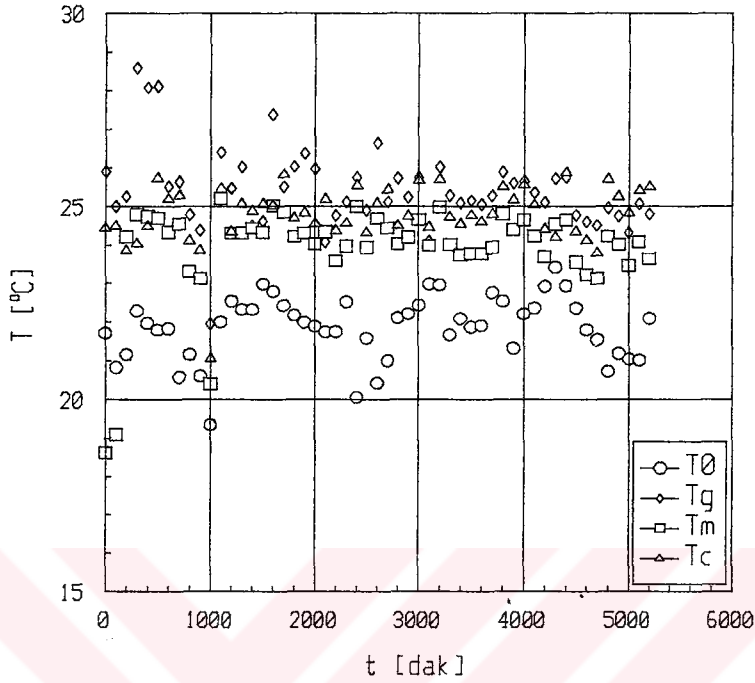
Ek Tablo 3. Dünya fındık üretimi (bin ton-kabuklu/yıl) [60].

ÜLKELER	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992
Türkiye	301	280	400	560	400	375	531
İtalya			80	80	80	70	73
İspanya			38	38	37	33.6	35.5
ABD			11.66	11.66	12	12.2	12.5

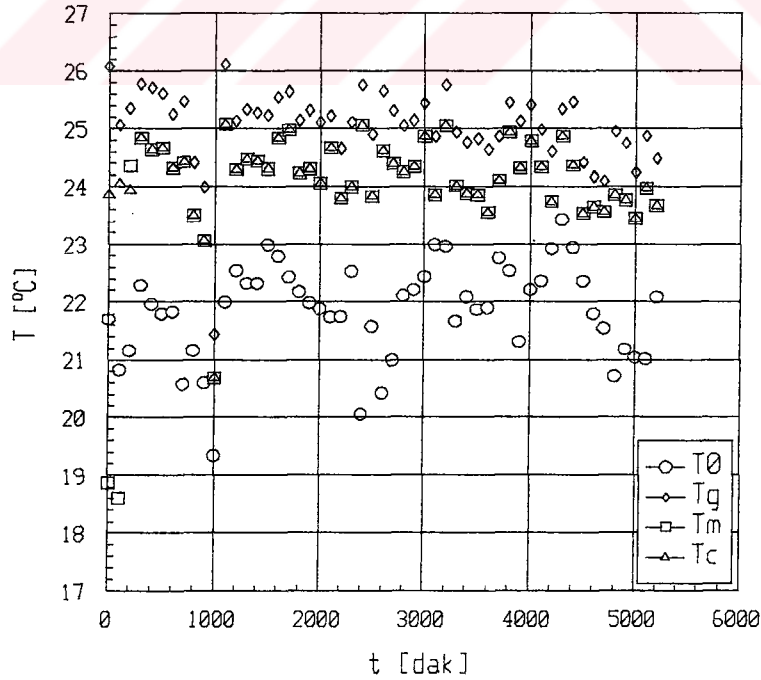
Ek Tablo 4. Türkiyenin yıllara göre fındık ihracatı [60].

Yıl	İhracat (ton)	Döviz (\$)
1985 1986	138.886	438.917.647
1986 1987	132.213	479.576.424
1987 1988	125.514	425.515.263
1988 1989	152.777	420.768.409
1989 1990	131.311	370.725.981
1990 1991	196.079	545.238.052
1991 1992	164.856	461.555.238
1992 1993	194.814	453.563.256
1993 1994	176.425	698.891.402
1994 1995	245.27	798.377.653
TOPLAM	1.653.145	5.120.129.325

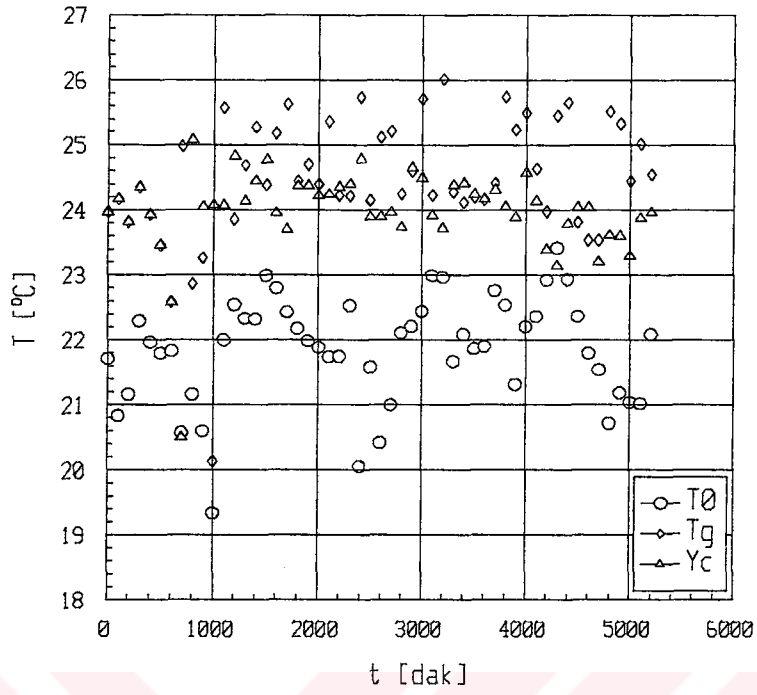
8.2. Deneysel ölçülen kurutma havası ve fındık merkez sıcaklık grafikleri.



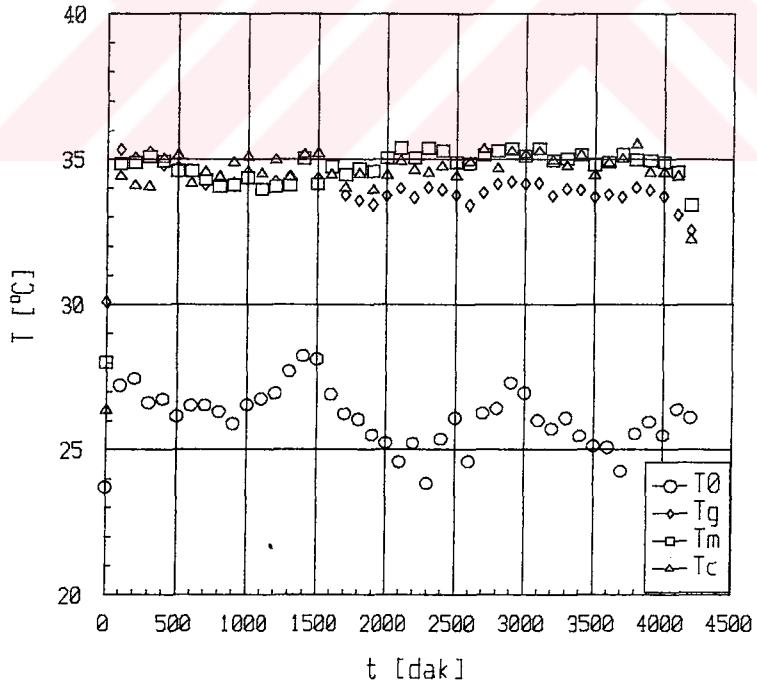
Ek Şekil 2. 1. Deneysel kurutma havası ve fındık merkez sıcaklığının değişimi (u=0.6m/s, ø=0.60).



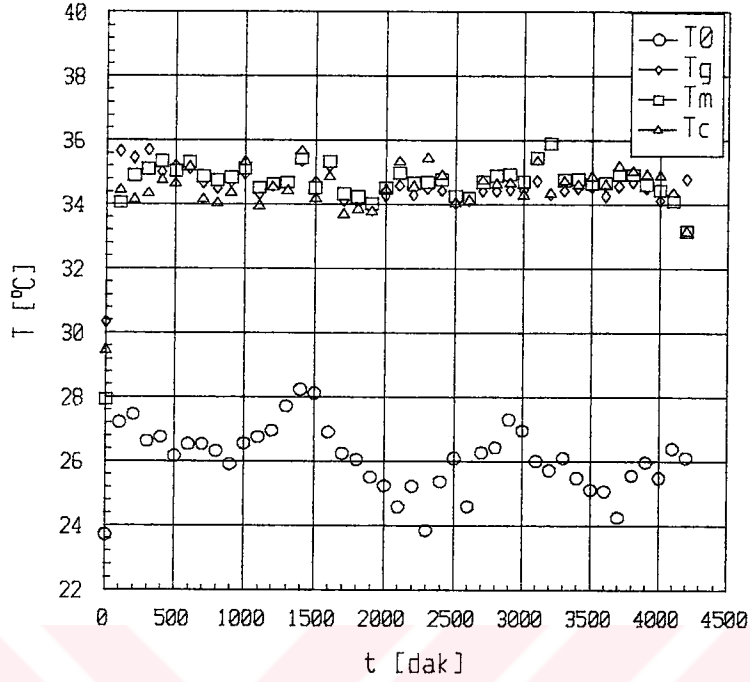
Ek Şekil 3. 1. Deneysel kurutma havası ve fındık merkez sıcaklığının değişimi (u=0.3m/s, ø=0.60).



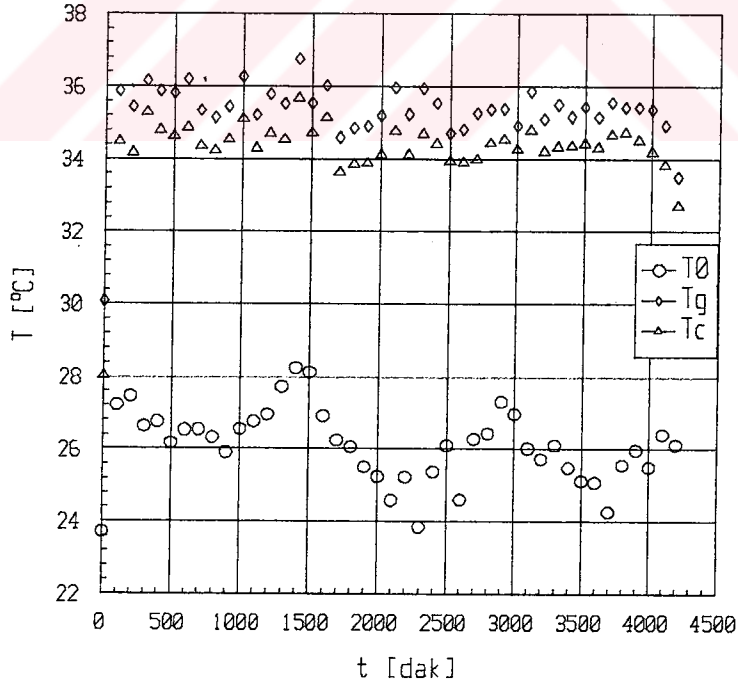
Ek Şekil 4. 1. Deney kurutma havası sıcaklığının değişimi ($u=0.2\text{m/s}, \phi=0.60$).



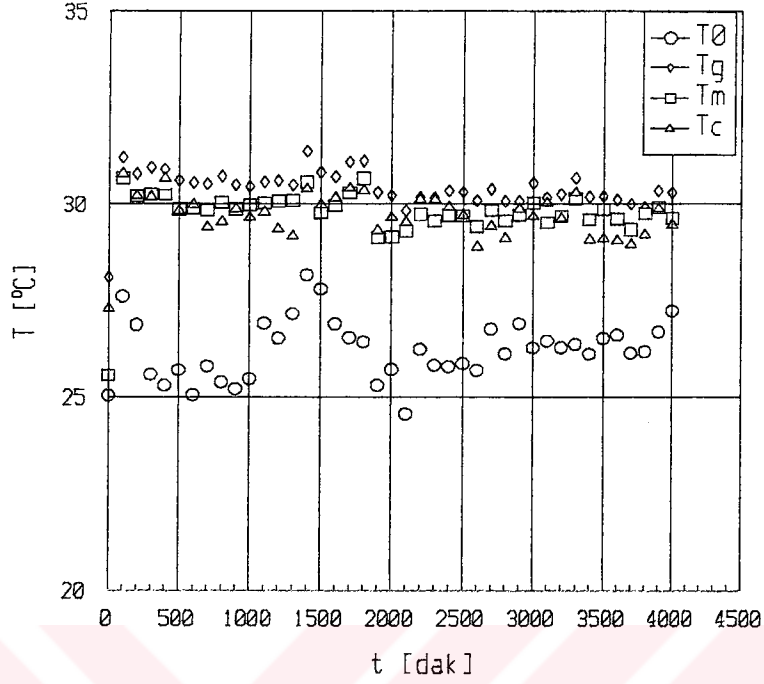
Ek Şekil 5. 9. Deney kurutma havası ve fındık merkez sıcaklığının değişimi ($u=0.6\text{m/s}, \phi=0.60$).



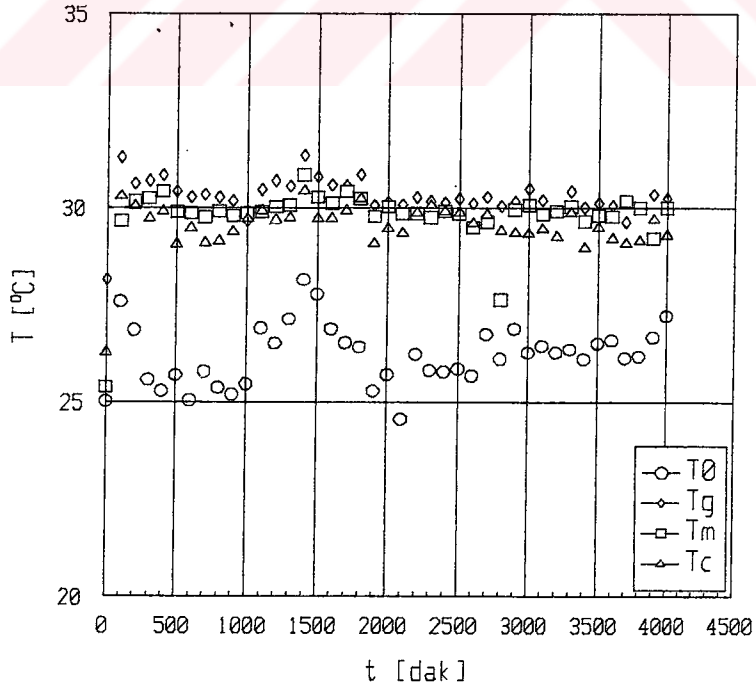
Ek Şekil 6. 9. Deney kurutma havası ve fındık merkez sıcaklığının değişimi ($u=0.3\text{m/s}, \phi=0.60$).



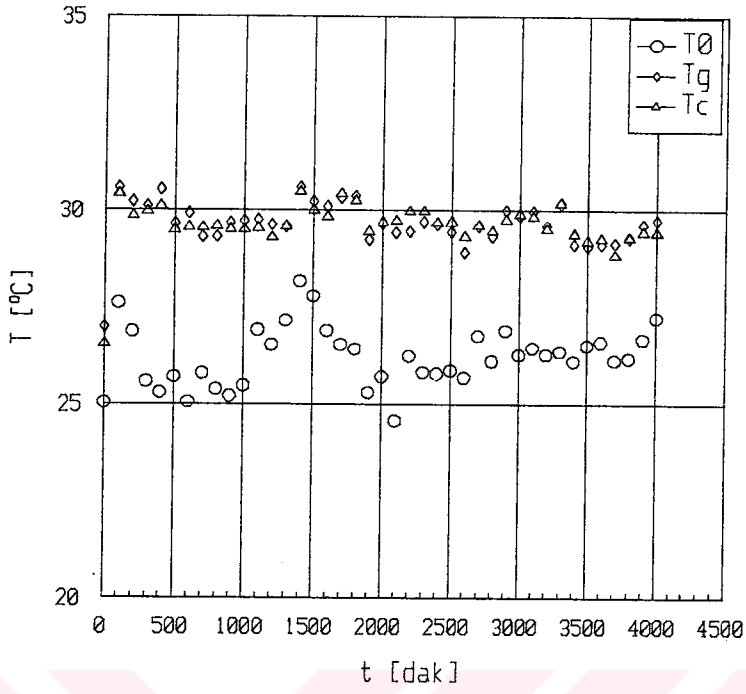
Ek Şekil 7. 9. Deney kurutma havası sıcaklığının değişimi ($u=0.2\text{m/s}, \phi=0.60$).



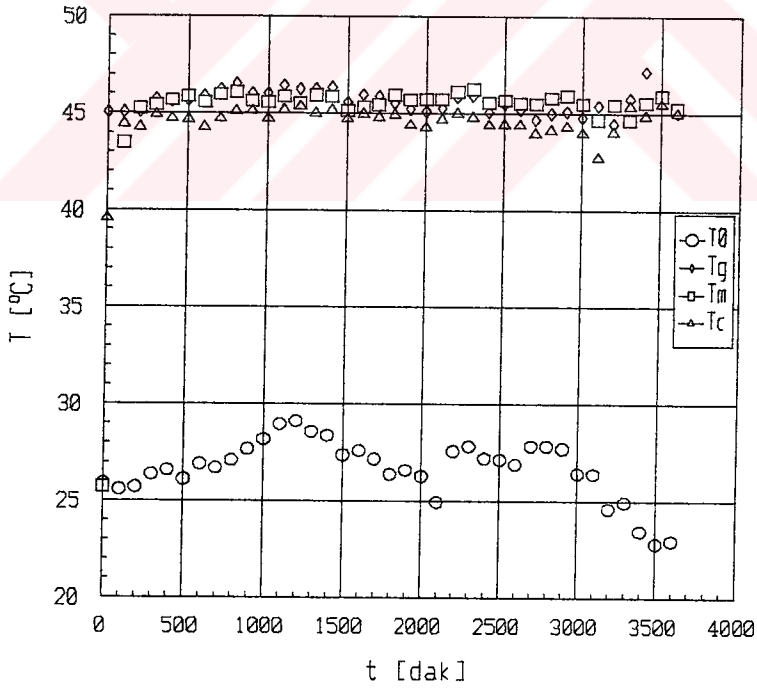
Ek Şekil 8. 3. Deneý kurutma havası ve findık merkez sıcaklığının değişimi
($u=0.6\text{m/s}$, $\phi=0.60$).



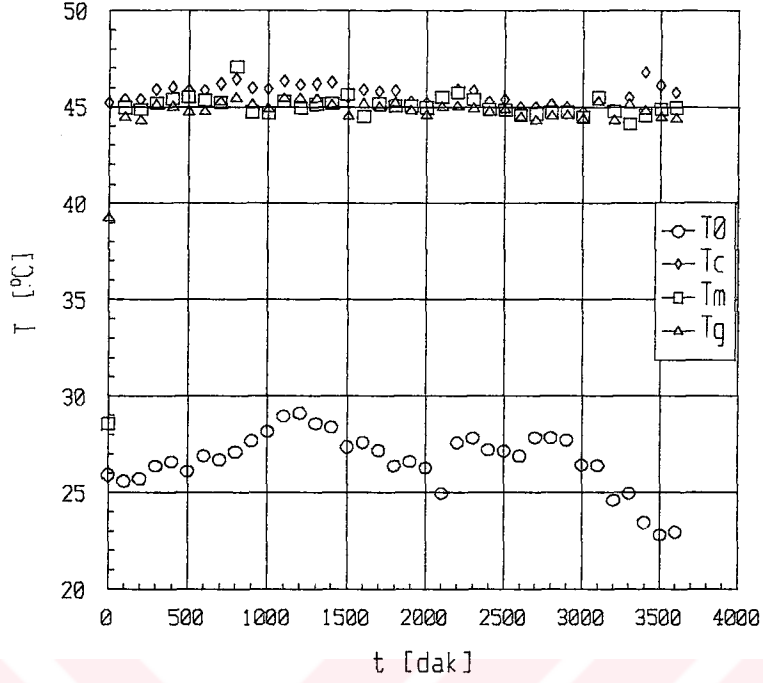
Ek Şekil 9. 3. Deneý kurutma havası ve findık merkez sıcaklığının değişimi
($u=0.3\text{m/s}$, $\phi=0.60$).



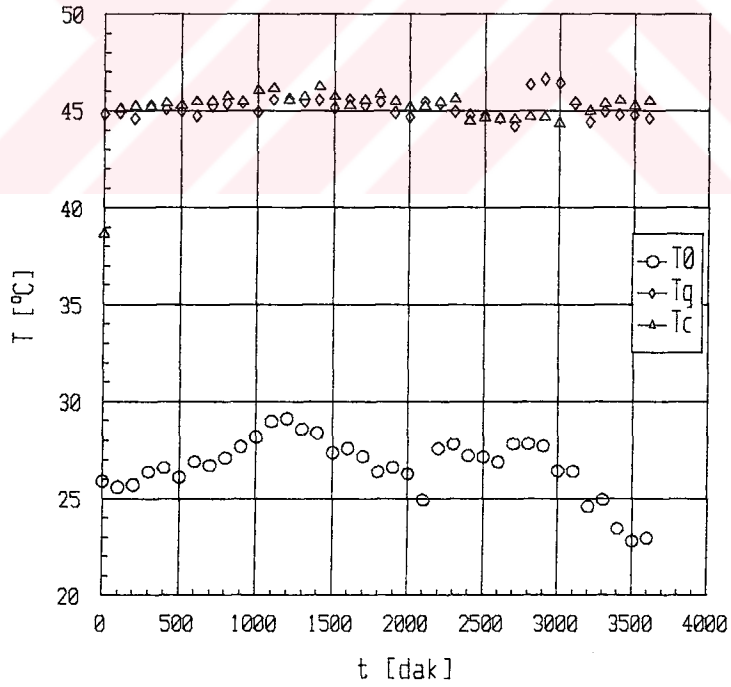
Ek Şekil 10. 3. Deney kurutma havası sıcaklığının değişimi ($u=0.2\text{m/s}, \phi=0.60$).



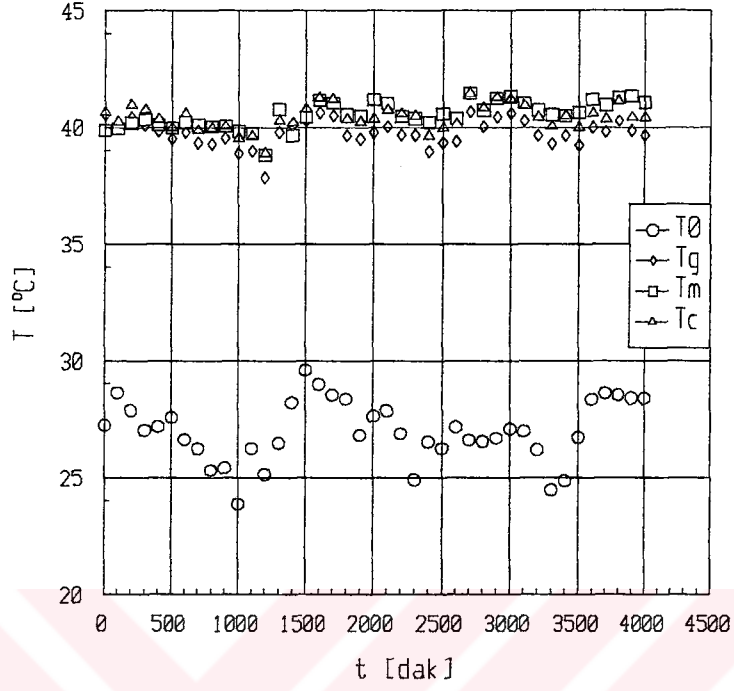
Ek Şekil 11. 15. Deney kurutma havası ve fındık merkez sıcaklığının değişimi ($u=0.6\text{m/s}, \phi=0.45$).



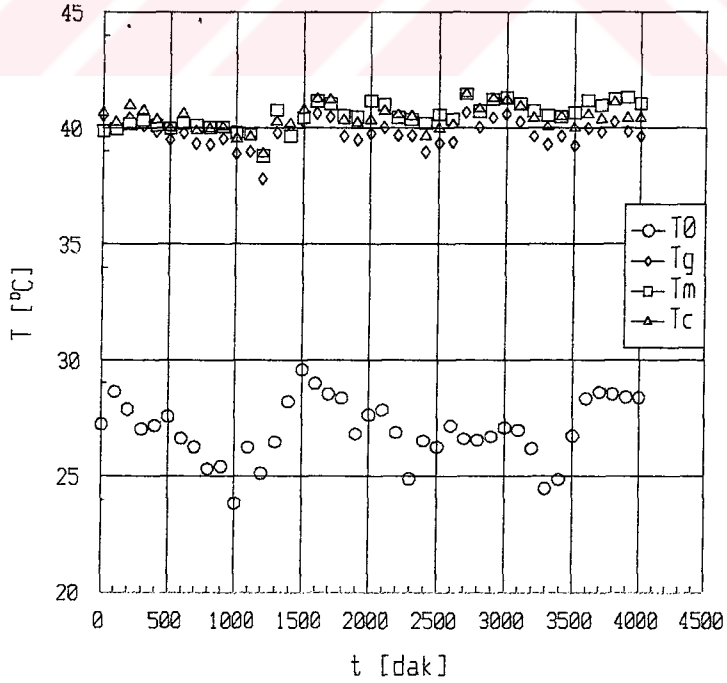
Ek Şekil 12. 15. Deney kurutma havası ve fındık merkez sıcaklığının değişimi ($u=0.3\text{m/s}$, $\phi=0.45$).



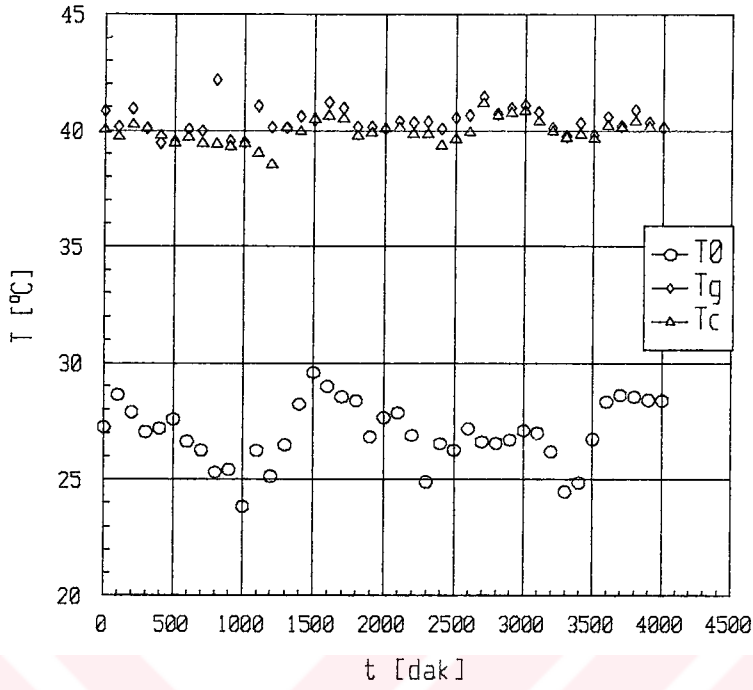
Ek Şekil 13. 15. Deney kurutma havası sıcaklığının değişimi ($u=0.2\text{m/s}$, $\phi=0.45$).



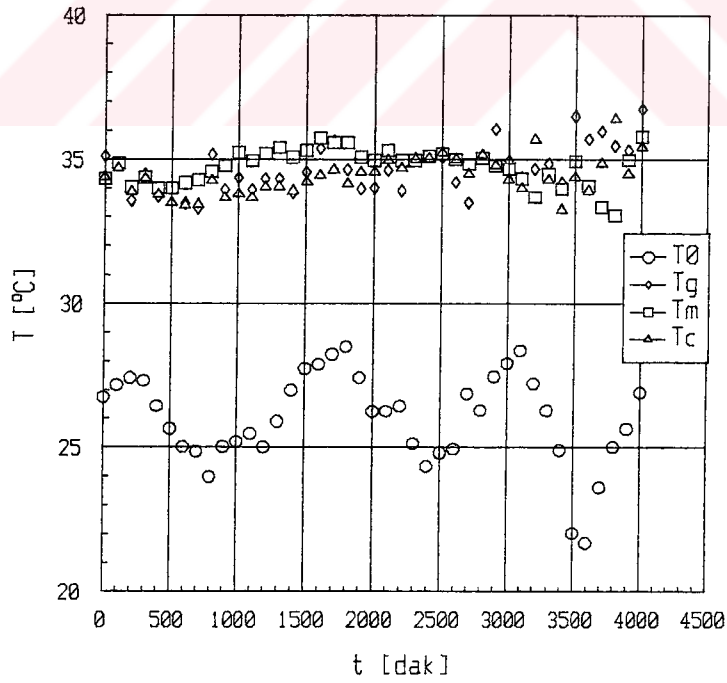
Ek Şekil 14. 11. Deney kurutma havası ve fındık merkez sıcaklığının değişimi ($u=0.6\text{m/s}$, $\phi=0.45$).



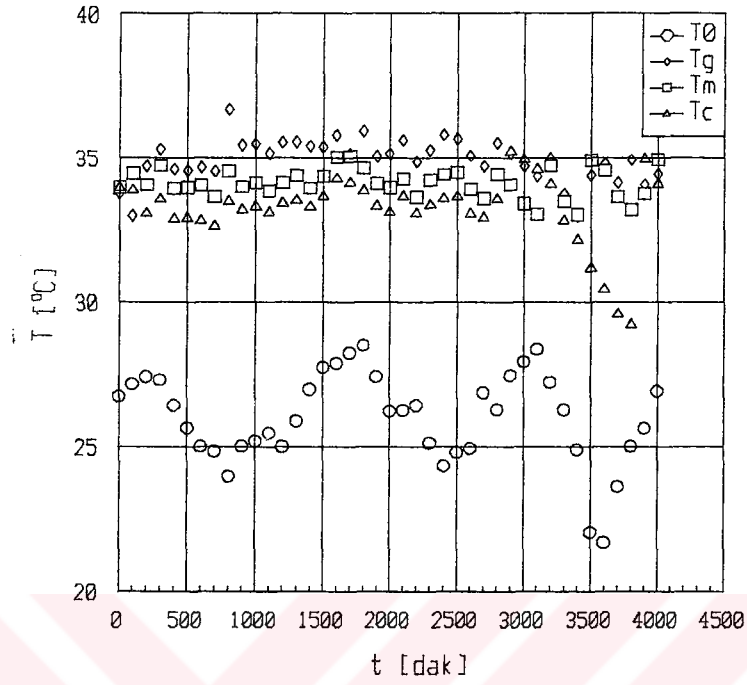
Ek Şekil 15. 11. Deney kurutma havası ve fındık merkez sıcaklığının değişimi ($u=0.3\text{m/s}$, $\phi=0.45$).



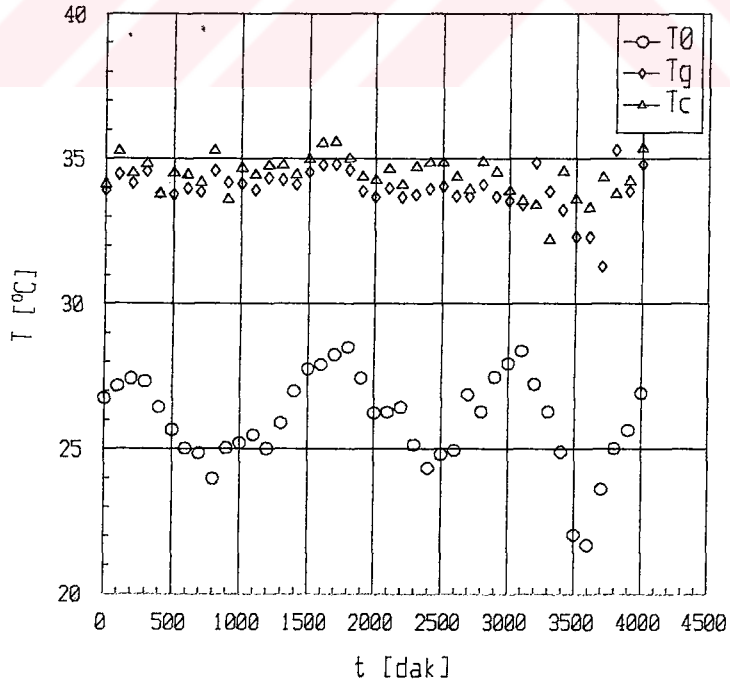
Ek Şekil 16. 11. Deney kurutma havası sıcaklığının değişimi
(u=0.2m/s, ø=0.45).



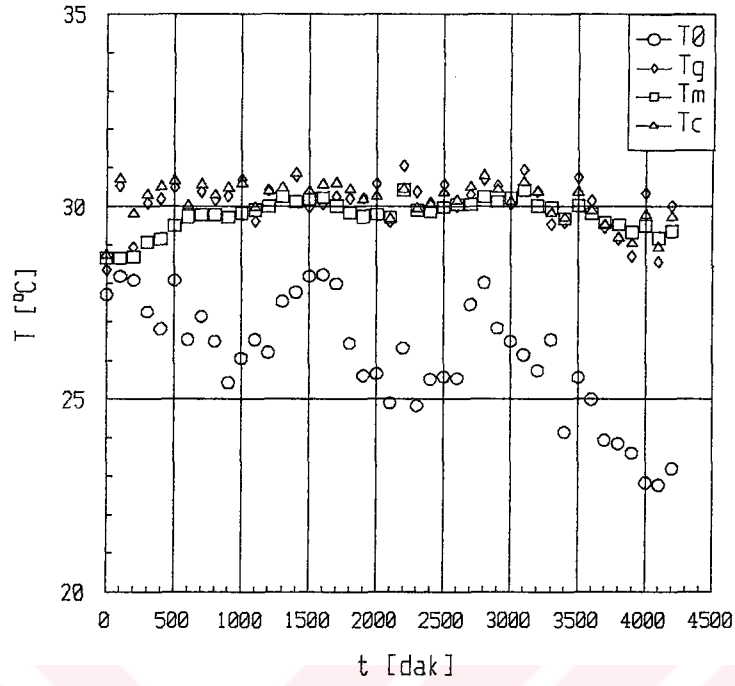
Ek Şekil 17. 7. Deney kurutma havası ve fındık merkez sıcaklığının değişimi
(u=0.6m/s, ø=0.45).



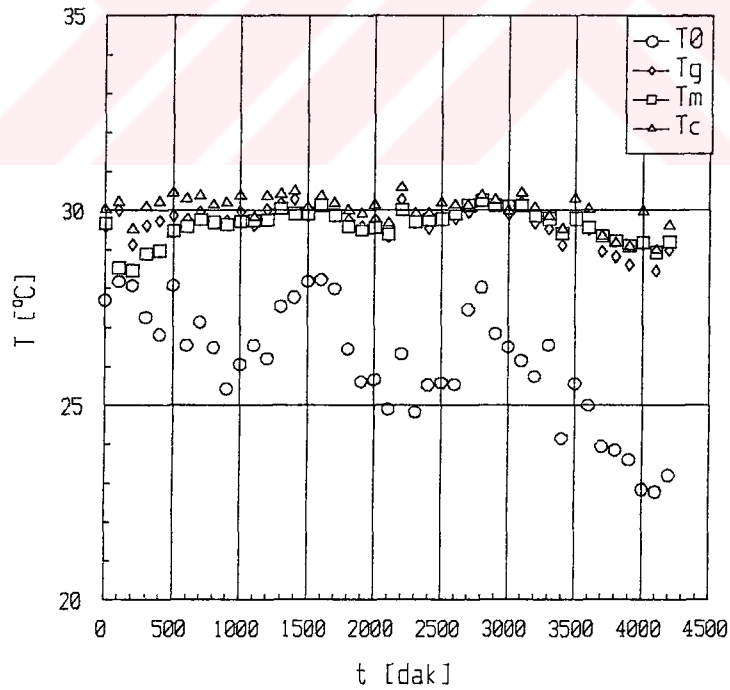
Ek. Şekil 18. 7. Deney kurutma havası ve fındık merkez sıcaklığının değişimi ($u=0.3\text{m/s}$, $\phi=0.45$).



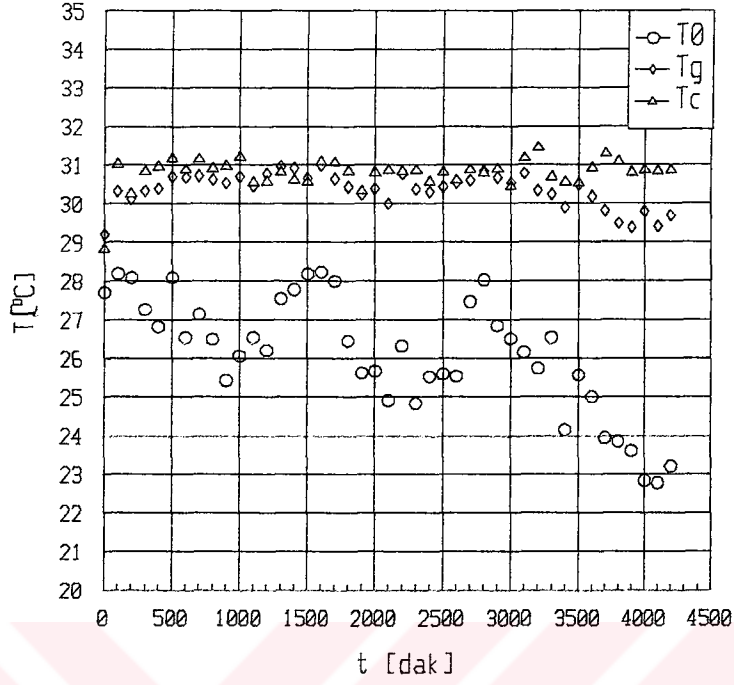
Ek Şekil 19. 7. Deney kurutma havası sıcaklığının değişimi ($u=0.2\text{m/s}$, $\phi=0.45$).



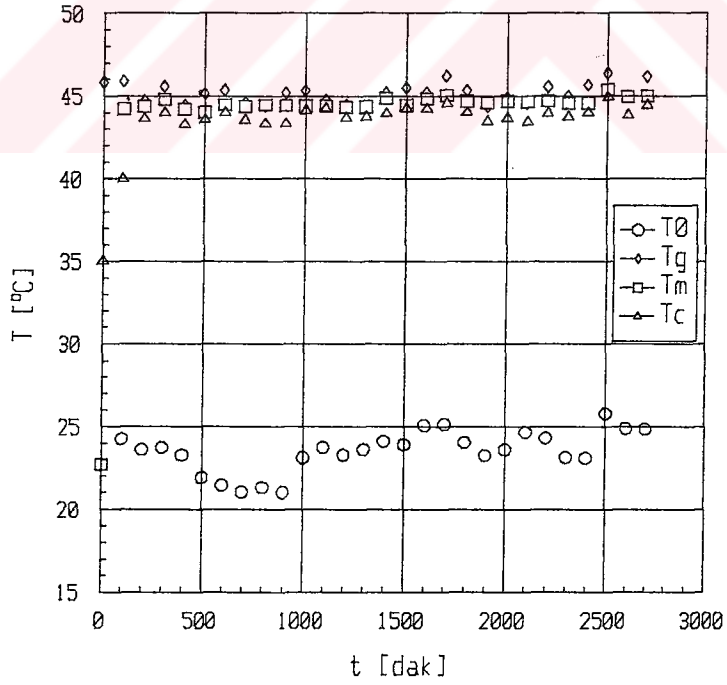
Ek Şekil 20. 2. Deney kurutma havası ve fındık merkez sıcaklığının değişimi ($u=0.6\text{m/s}$, $\phi=0.45$).



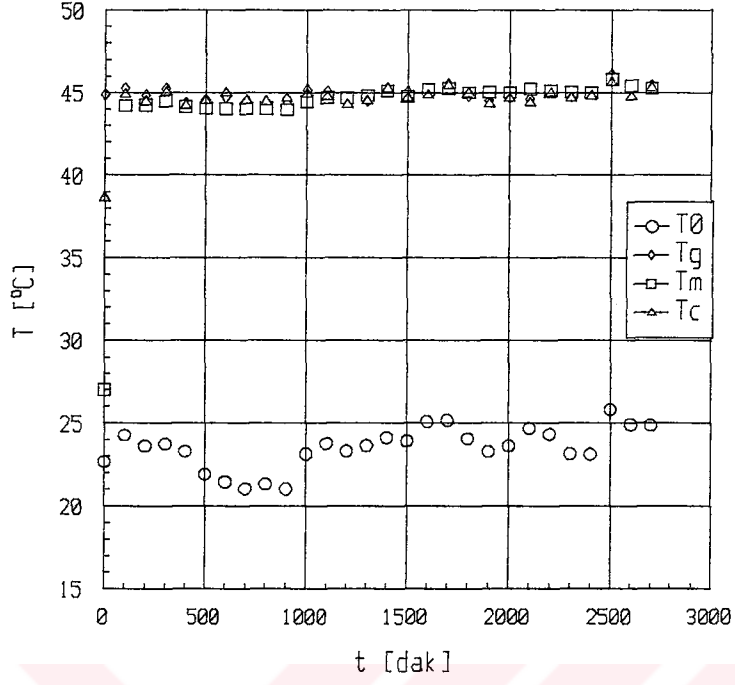
Ek Şekil 21. 2. Deney kurutma havası ve fındık merkez sıcaklığının değişimi ($u=0.3\text{m/s}$, $\phi=0.45$).



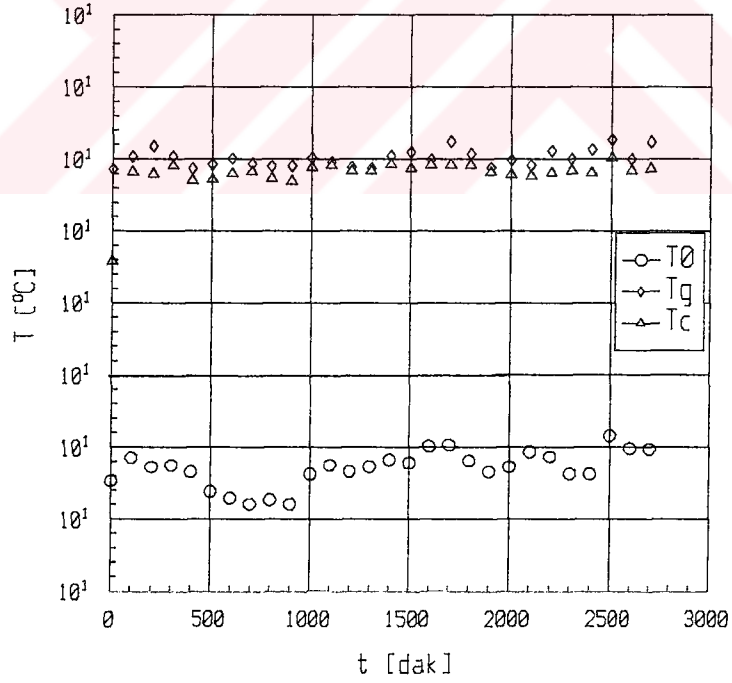
Ek Şekil 22. 2. Deney kurutma havası sıcaklığının değişimi
($u=0.2\text{m/s}$, $\phi=0.45$).



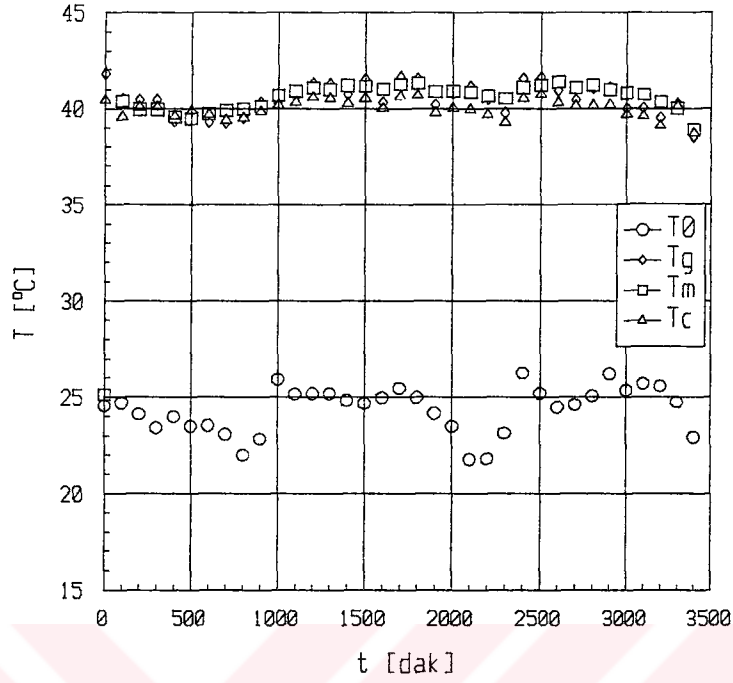
Ek Şekil 23. 18. Deney kurutma havası ve fındık merkez sıcaklığının değişimi
($u=0.6\text{m/s}$, $\phi=0.70$).



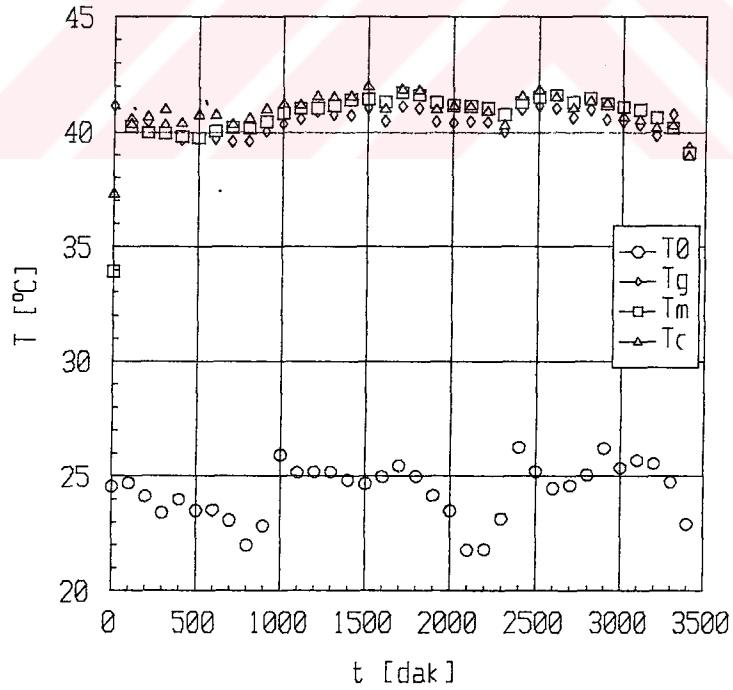
Ek Şekil 24. 18. Deney kurutma havası ve fındık merkez sıcaklığının değişimi ($u=0.3\text{m/s}$, $\phi=0.70$).



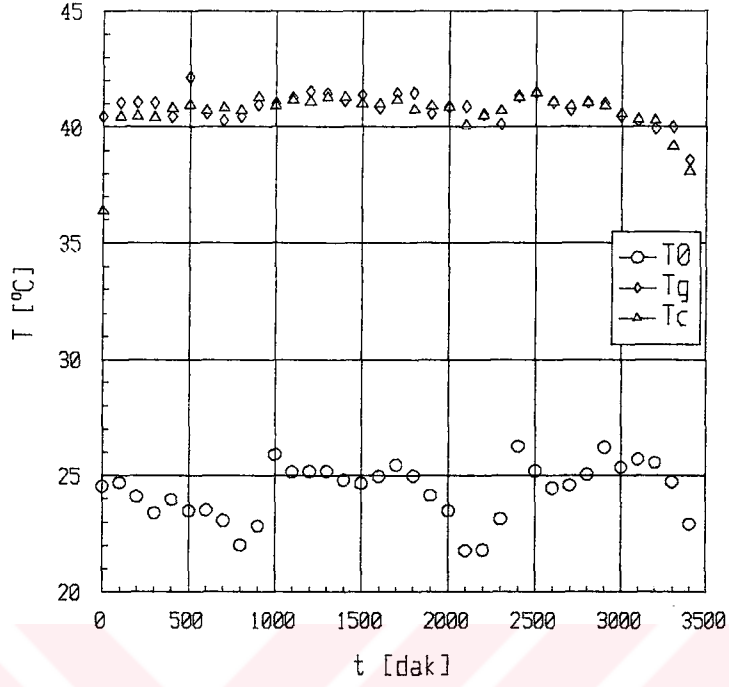
Ek Şekil 25. 18. Deney kurutma havası sıcaklığının değişimi ($u=0.2\text{m/s}$, $\phi=0.70$).



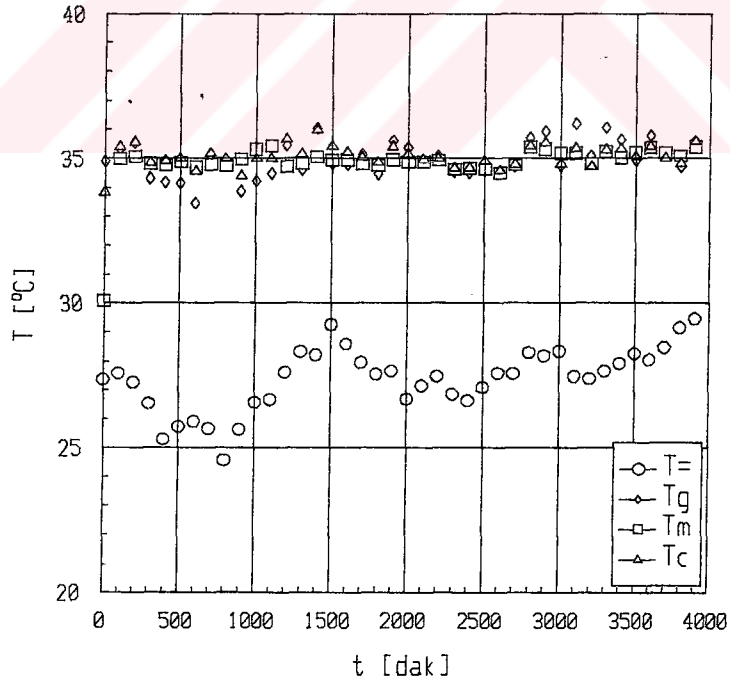
Ek Şekil 26. 14. Deney kurutma havası ve fındık merkez sıcaklığının değişimi ($u=0.6\text{m/s}$, $\phi=0.70$).



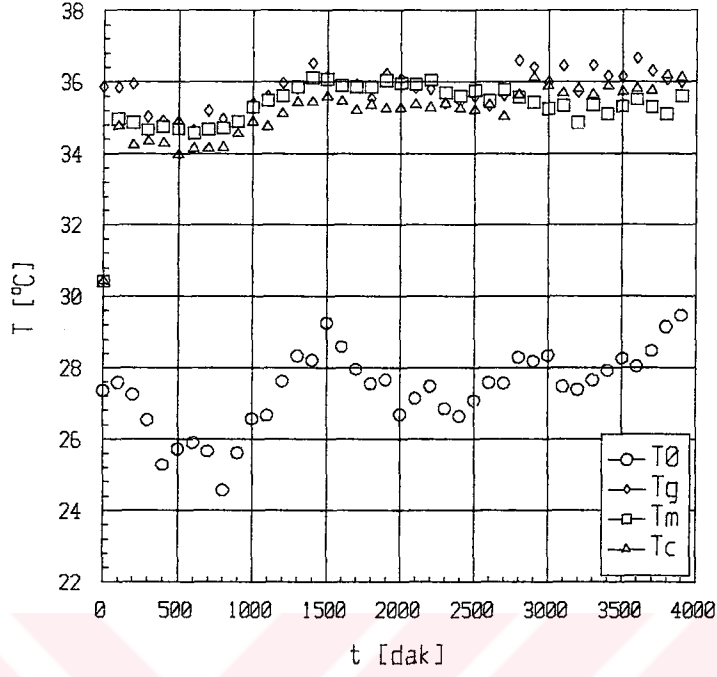
Ek Şekil 27. 14. Deney kurutma havası ve fındık merkez sıcaklığının değişimi ($u=0.3\text{m/s}$, $\phi=0.70$).



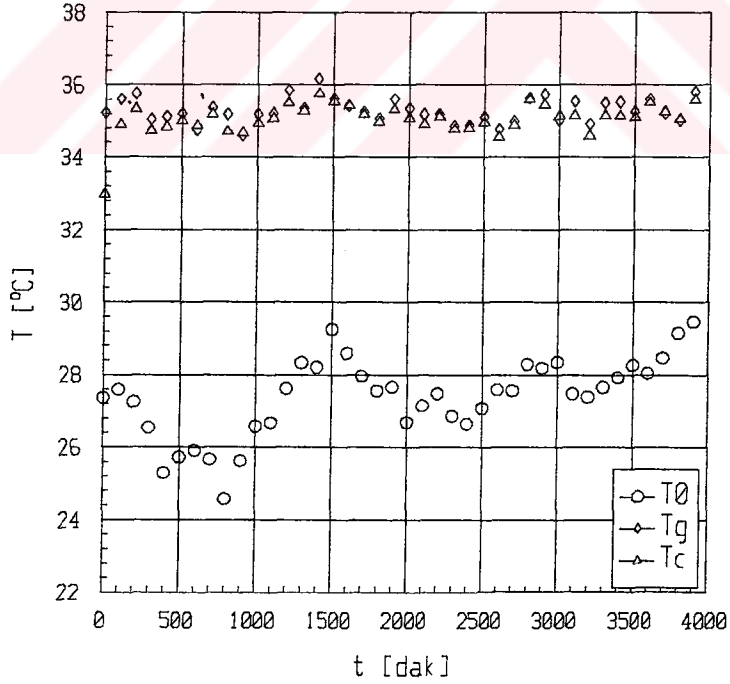
Ek Şekil 28. 14. Deney kurutma havası sıcaklığının değişimi ($u=0.2\text{m/s}$, $\phi=0.70$).



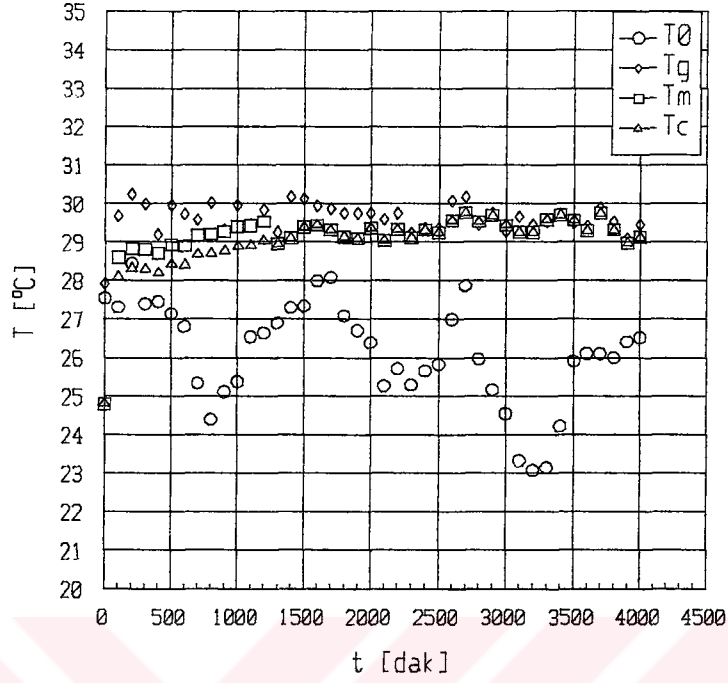
Ek Şekil 29. 10. Deney kurutma havası ve fındık merkez sıcaklığının değişimi ($u=0.6\text{m/s}$, $\phi=0.70$).



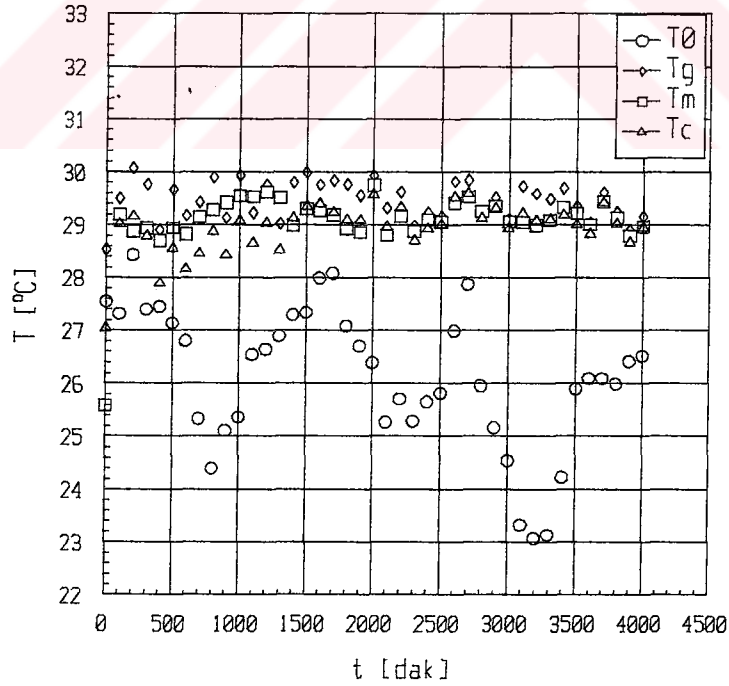
Ek Şekil 30. 10. Deney kurutma havası ve fındık merkez sıcaklığının değişimi (u=0.3m/s, ø=0.70).



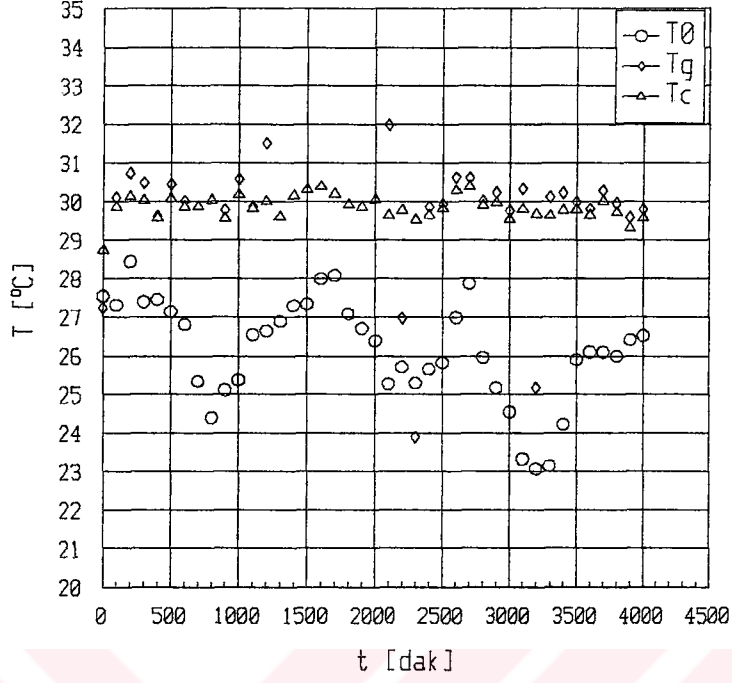
Ek Şekil 31. 10. Deney kurutma havası sıcaklığının değişimi (u=0.3m/s, ø=0.70).



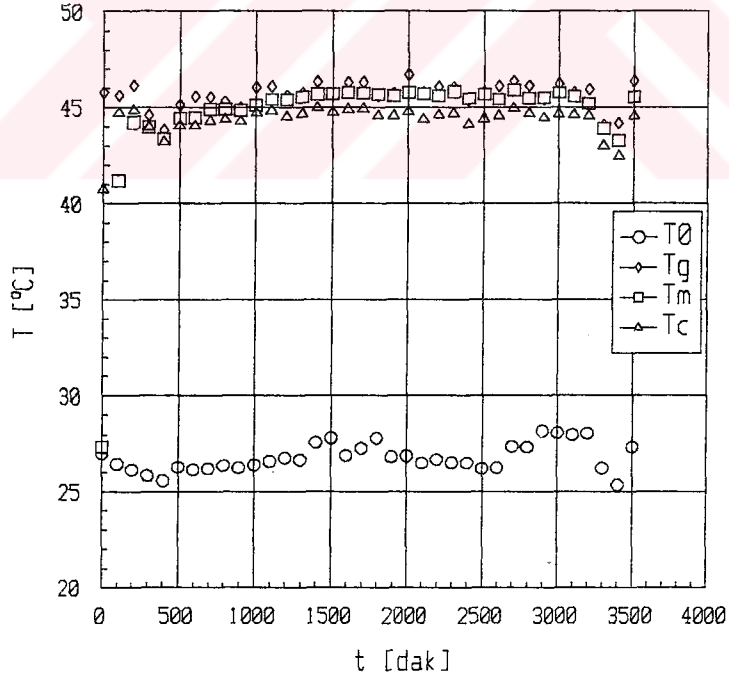
Ek Şekil 32. 4. Deney kurutma havası ve fındık merkez sıcaklığının değişimi ($u=0.3\text{m/s}$, $\phi=0.70$).



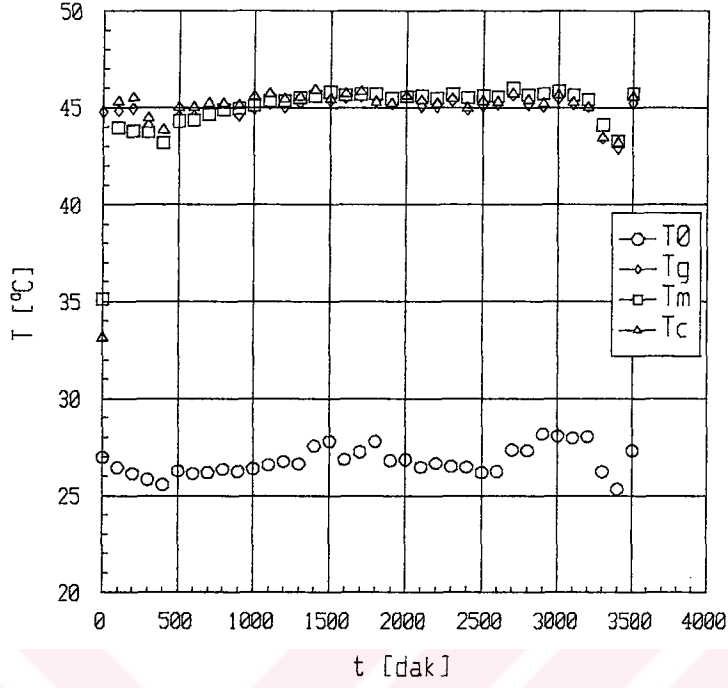
Ek Şekil 33. 4. Deney kurutma havası ve fındık merkez sıcaklığının değişimi ($u=0.3\text{m/s}$, $\phi=0.70$).



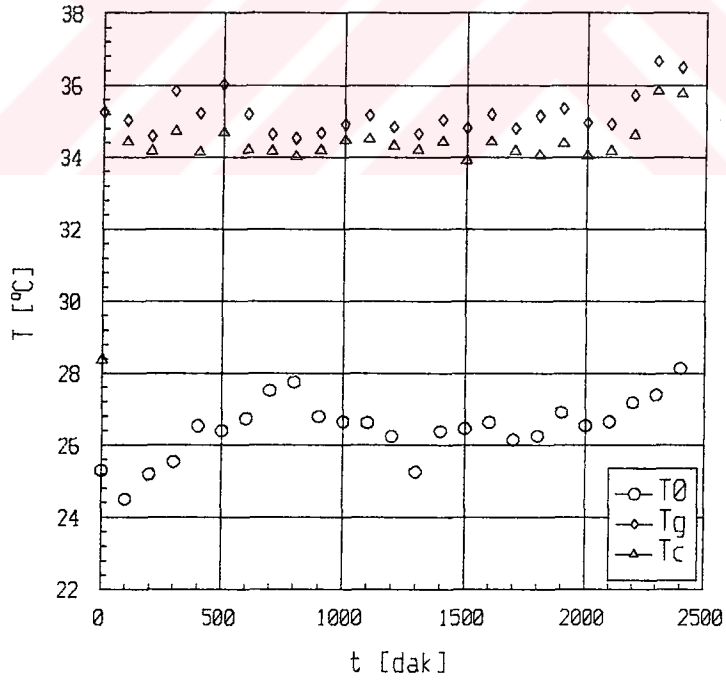
Ek Şekil 34. 4. Deney kurutma havası sıcaklığının değişimi (u=0.3m/s, ø=0.70).



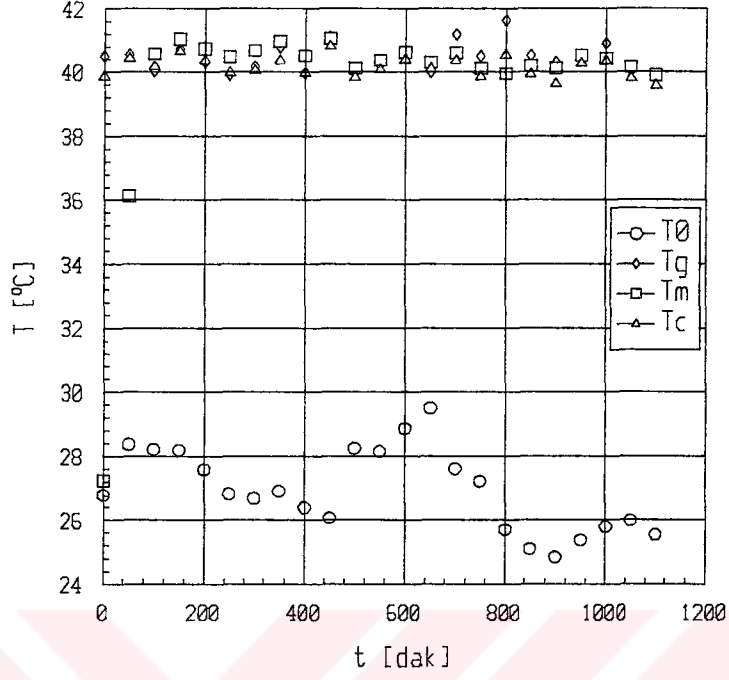
Ek Şekil 35. 1. Deney kurutma havası ve fındık merkez sıcaklığının değişimi (u=0.3m/s, ø=0.55).



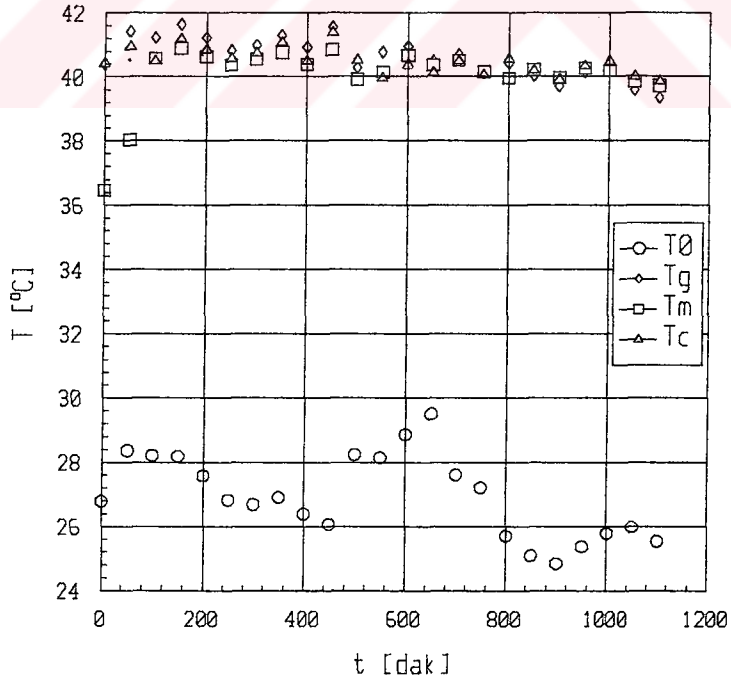
Ek Şekil 36. 16. Deney kurutma havası ve fındık merkez sıcaklığının değişimi ($u=0.3\text{m/s}$, $\phi=0.55$).



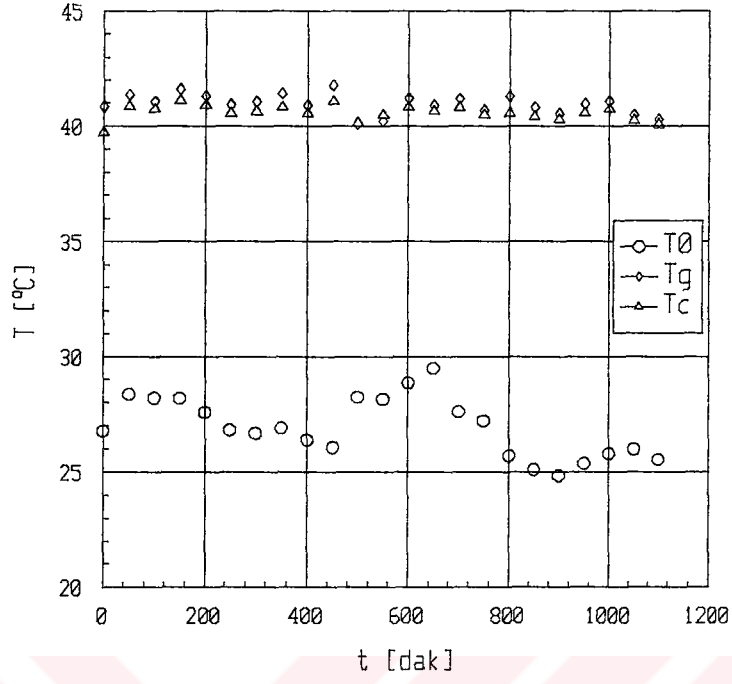
Ek Şekil 37. 16. Deney kurutma havası sıcaklığının değişimi ($u=0.3\text{m/s}$, $\phi=0.55$).



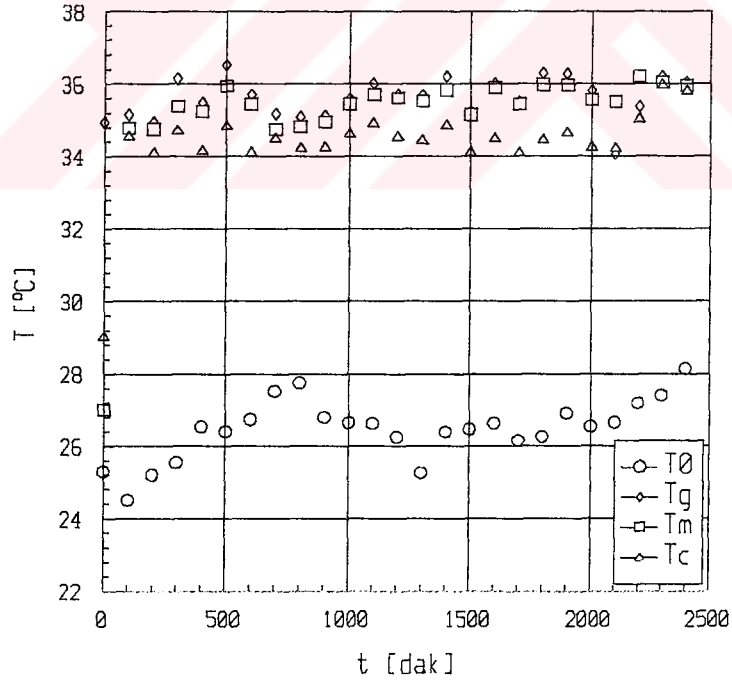
Ek Şekil 38.12. Deney kurutma havası ve fındık merkez sıcaklığının değişimi ($u=0.6\text{m/s}$, $\phi=0.55$).



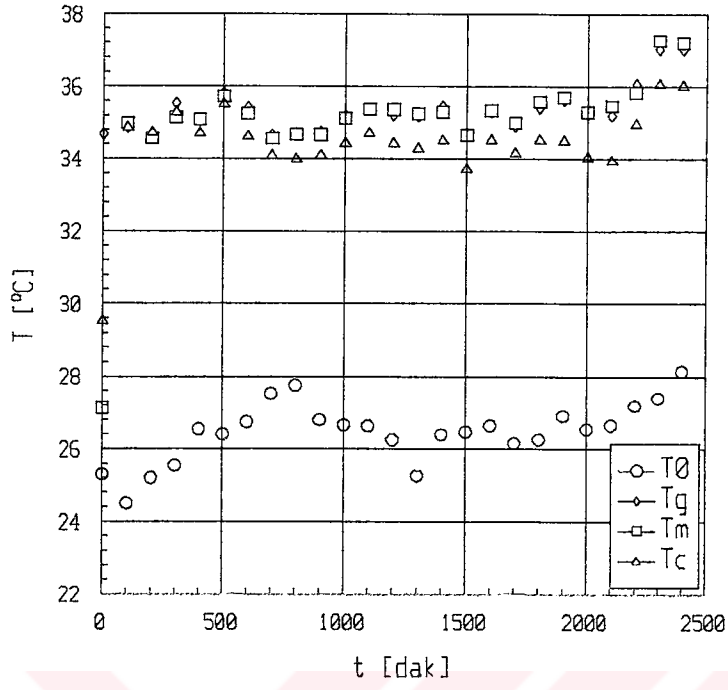
Ek Şekil 39.12. Deney kurutma havası ve fındık merkez sıcaklığının değişimi ($u=0.3\text{m/s}$, $\phi=0.55$).



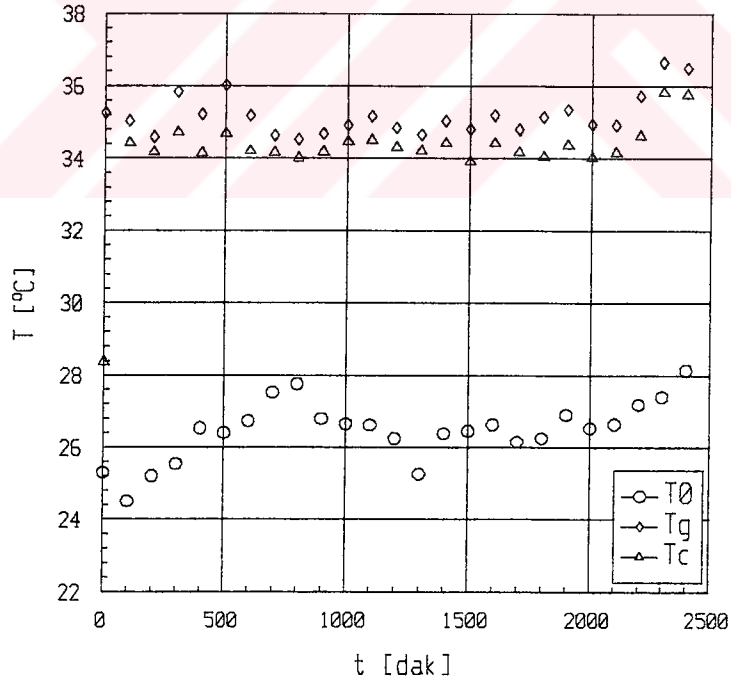
Ek Şekil 40. 12. Deney kurutma havası sıcaklığının değişimi ($u=0.2\text{m/s}$, $\phi=0.55$).



Ek Şekil 41. 12. Deney kurutma havası ve fındık merkez sıcaklığının değişimi ($u=0.6\text{m/s}$, $\phi=0.55$).

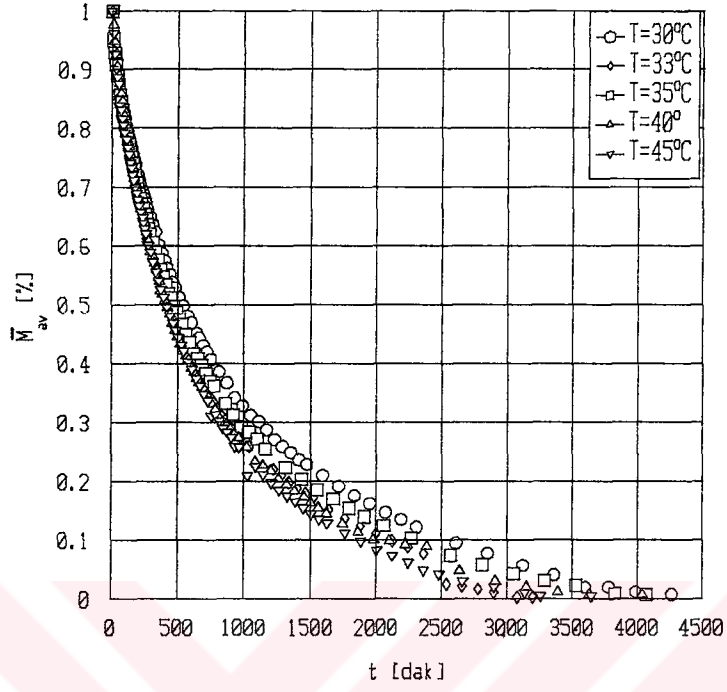


Ek Şekil 42. 12. Deneý kurutma havası ve fındık merkez sıcaklığının değişimi ($u=0.3\text{m/s}$, $\phi=0.55$).

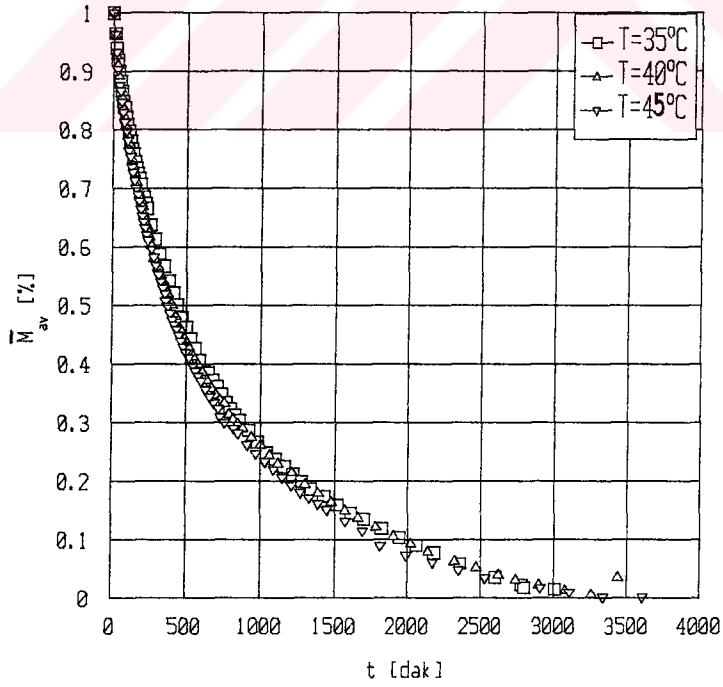


Ek Şekil 43. 12. Deneý kurutma havası sıcaklığının değişimi ($u=0.2\text{m/s}$, $\phi=0.55$).

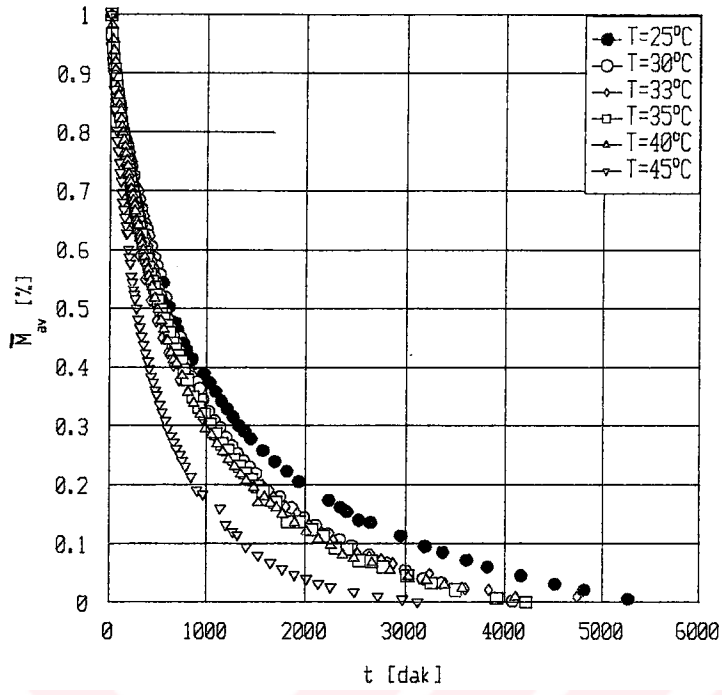
8.3. Fındık partilerindeki nemin zamana göre değişim grafikleri.



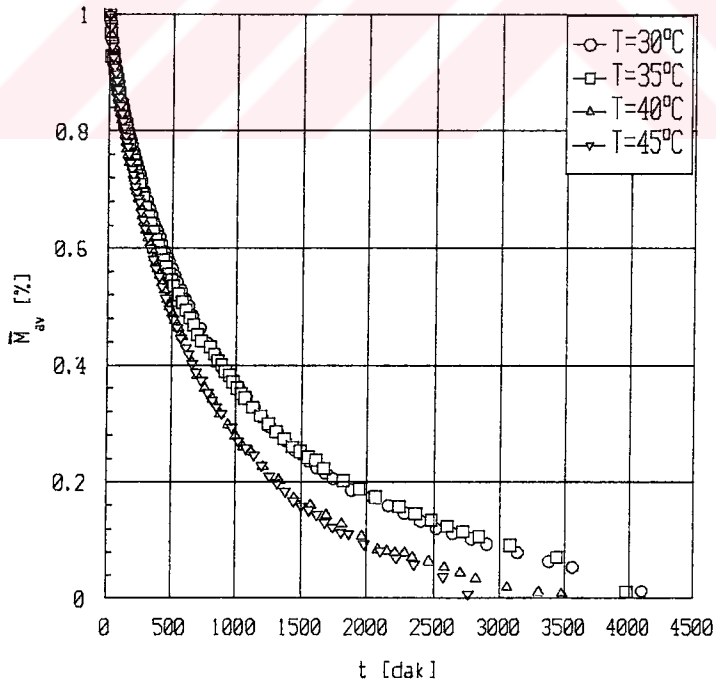
Ek Şekil 44. Fındıkta \bar{M}_{av} - t değişimi ($\phi=0.45$, $u=0.3$ m/s).



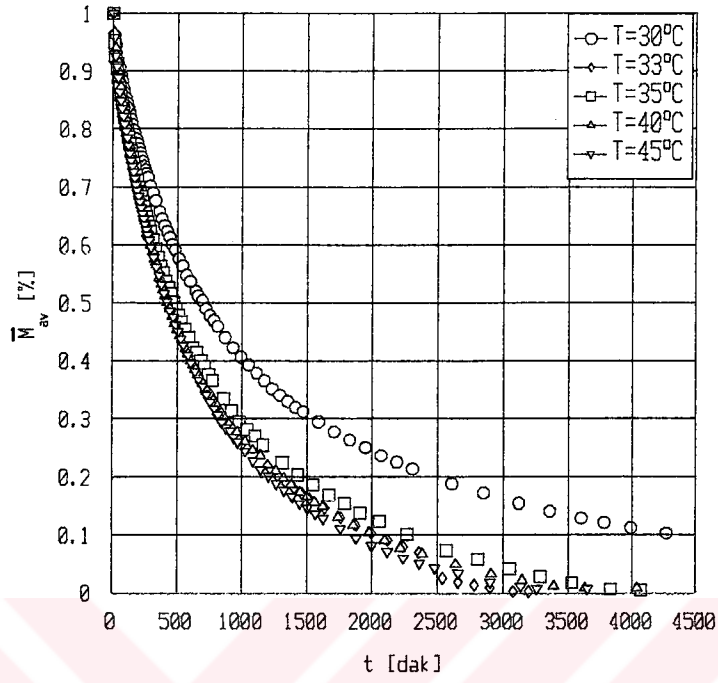
Ek Şekil 45. Fındıkta \bar{M}_{av} - t değişimi ($\phi=0.55$, $u=0.3$ m/s).



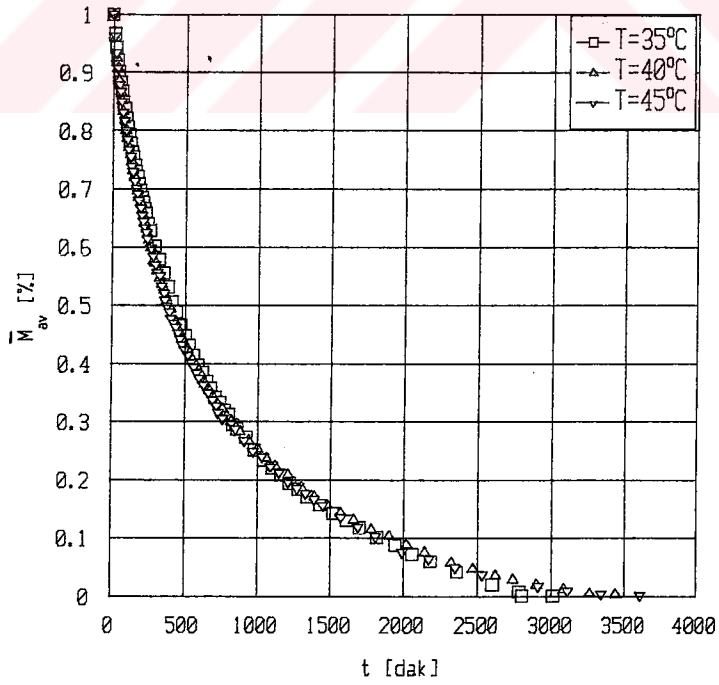
Ek Şekil 46. Fındıkta \bar{M}_{av} -t değişimi ($\phi=0.60$, $u=0.3$ m/s).



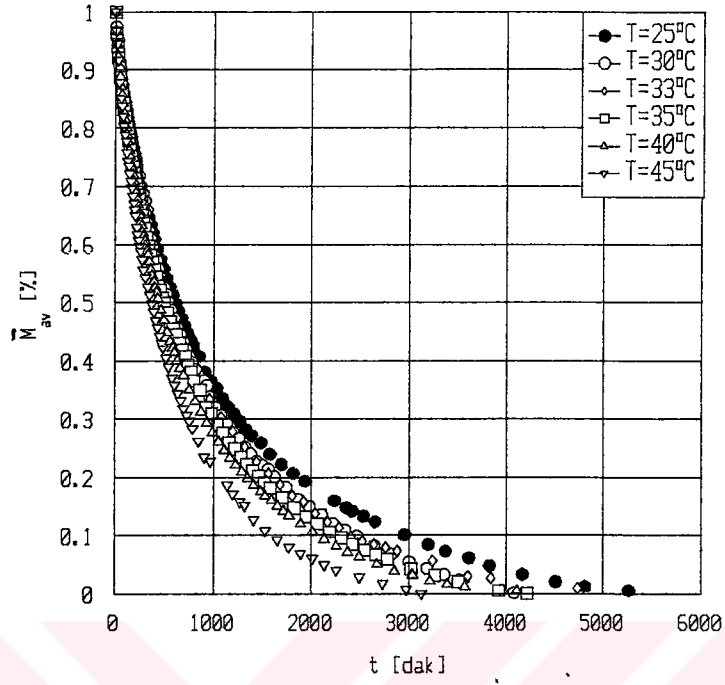
Ek Şekil 47. Fındıkta \bar{M}_{av} -t değişimi ($\phi=0.70$, $u=0.3$ m/s).



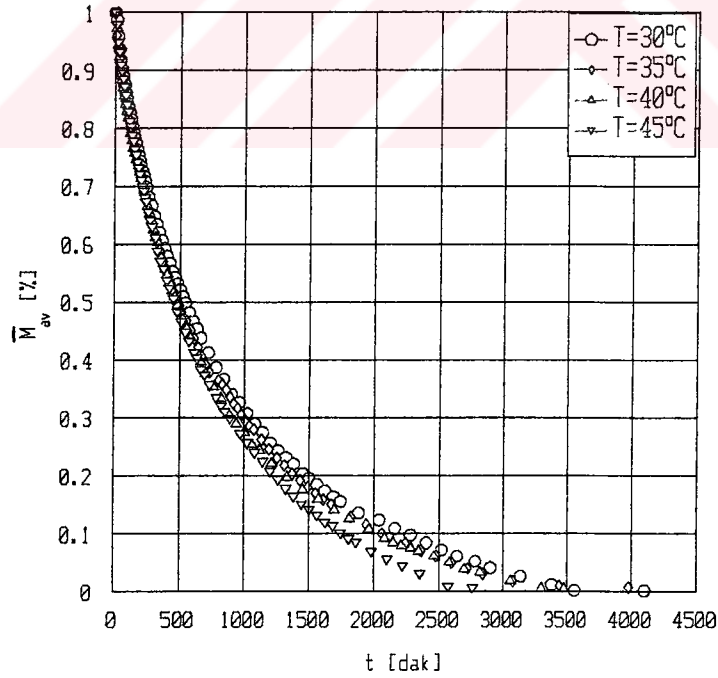
Ek Şekil 48. Fındıkta \bar{M}_{av} - t değişimi ($\phi=0.45$, $u=0.2$ m/s).



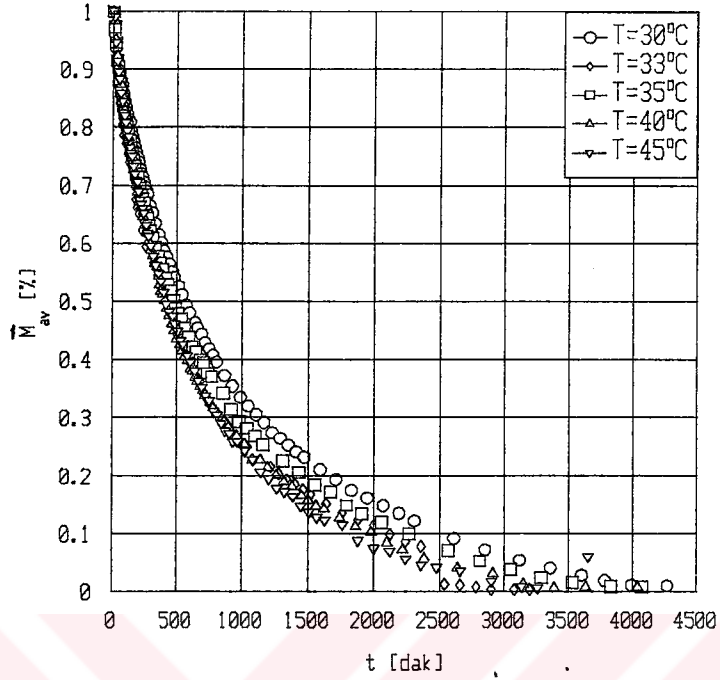
Ek Şekil 49. Fındıkta \bar{M}_{av} - t değişimi ($\phi=0.55$, $u=0.2$ m/s).



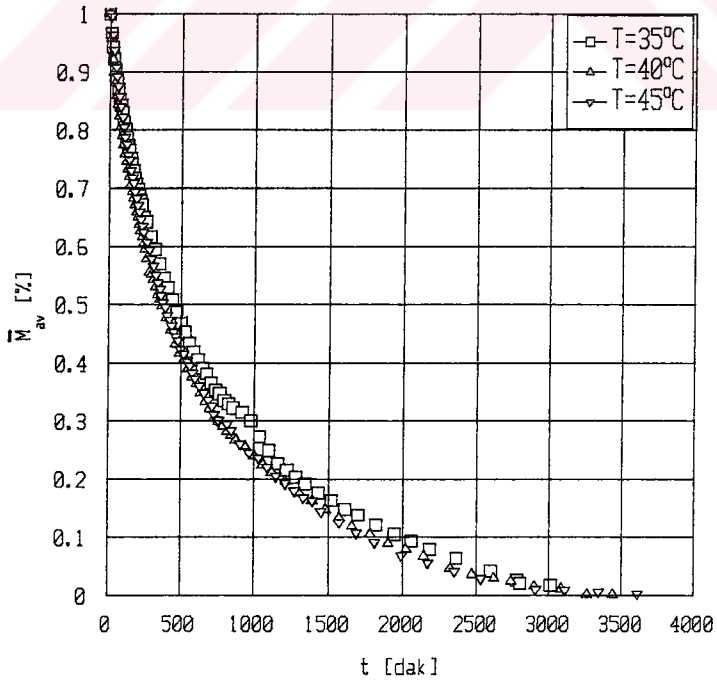
Ek Şekil 50. Fındıkta \bar{M}_{av} - t değişimi ($\phi=0.60$, $u=0.2$ m/s).



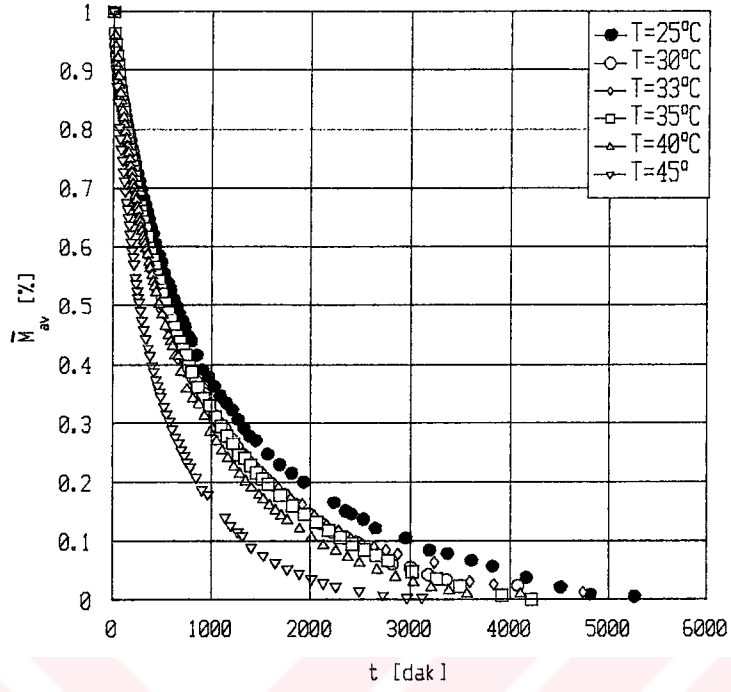
Ek Şekil 51. Fındıkta \bar{M}_{av} - t değişimi ($\phi=0.70$, $u=0.2$ m/s).



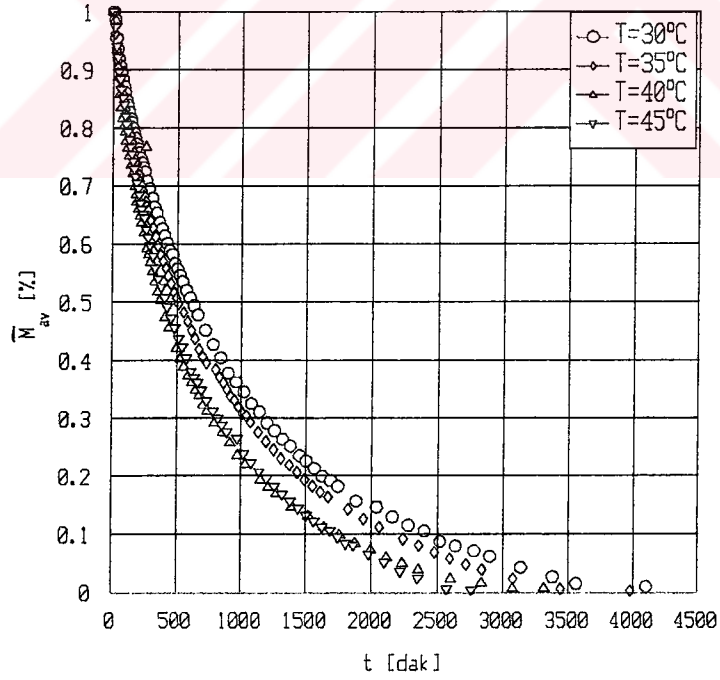
Ek Şekil 52. Fındıkta \bar{M}_{av} - t değişimi ($\phi=0.45$, $u=0.6$ m/s).



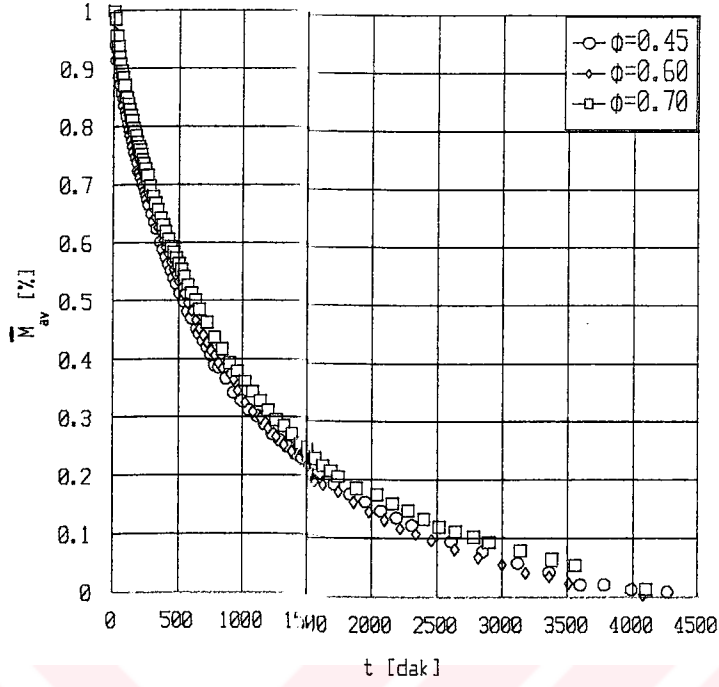
Ek Şekil 53. Fındıkta \bar{M}_{av} - t değişimi ($\phi=0.55$, $u=0.6$ m/s).



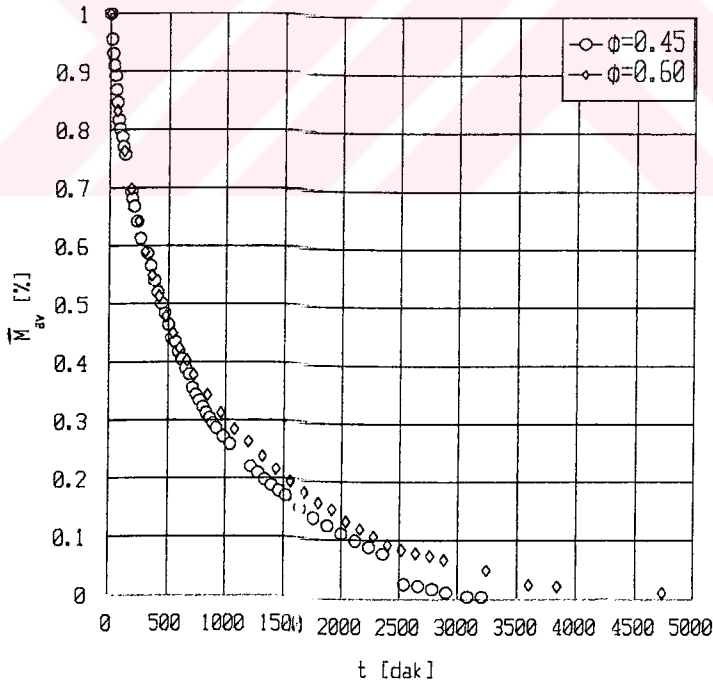
Ek Şekil 54. Fındıkta \bar{M}_{av} - t değişimi ($\phi=0.60$, $u=0.6$ m/s).



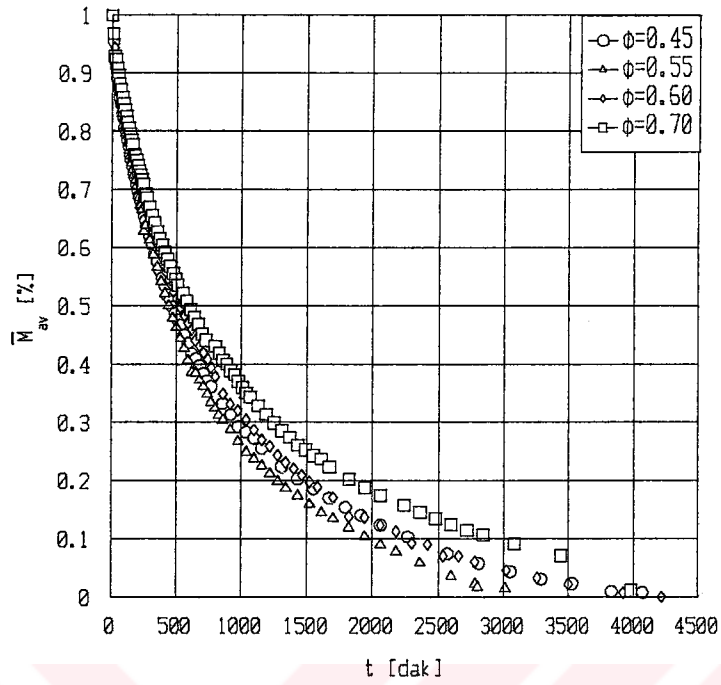
Ek Şekil 55. Fındıkta \bar{M}_{av} - t değişimi ($\phi=0.70$, $u=0.6$ m/s).



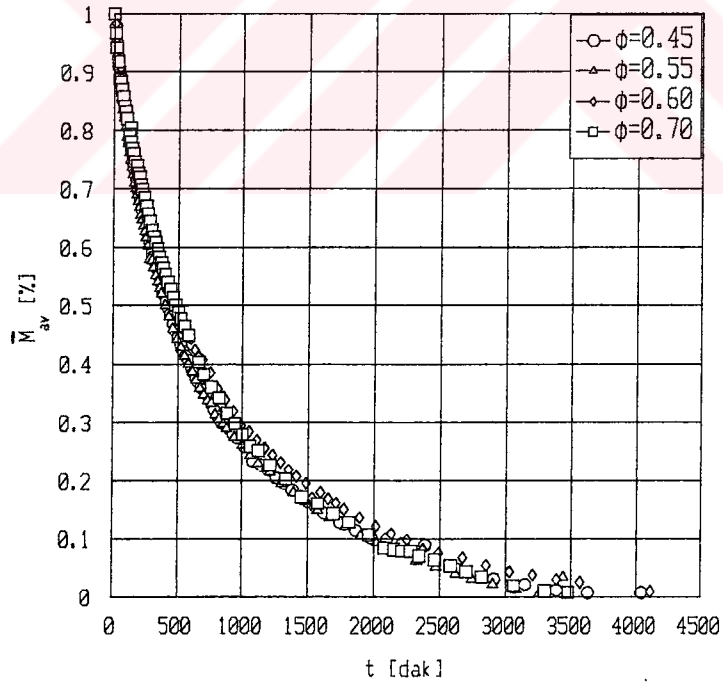
Ek Şekil 56. Fındıkta \bar{M}_{av} - t değişimi ($T=30^\circ\text{C}$, $u=0.3$ m/s).



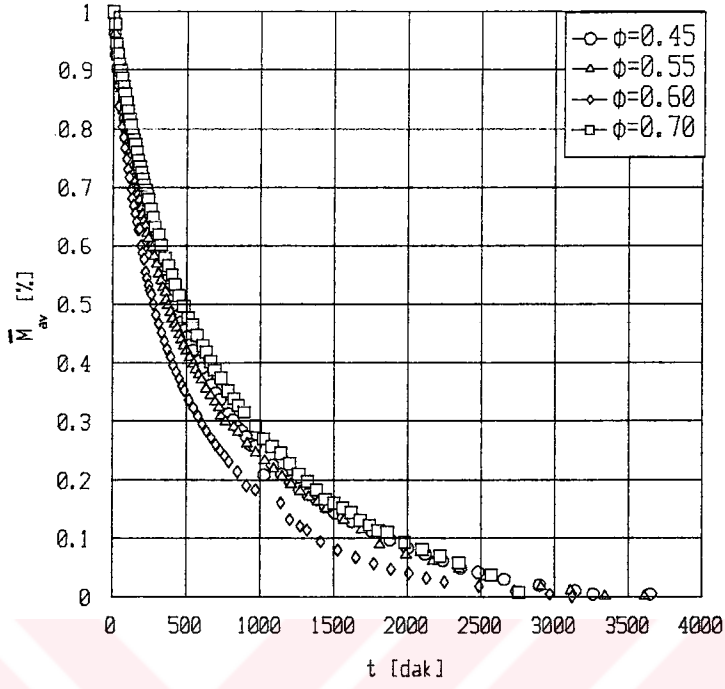
Ek Şekil 57. Fındıkta \bar{M}_{av} - t değişimi ($T=33^\circ\text{C}$, $u=0.3$ m/s).



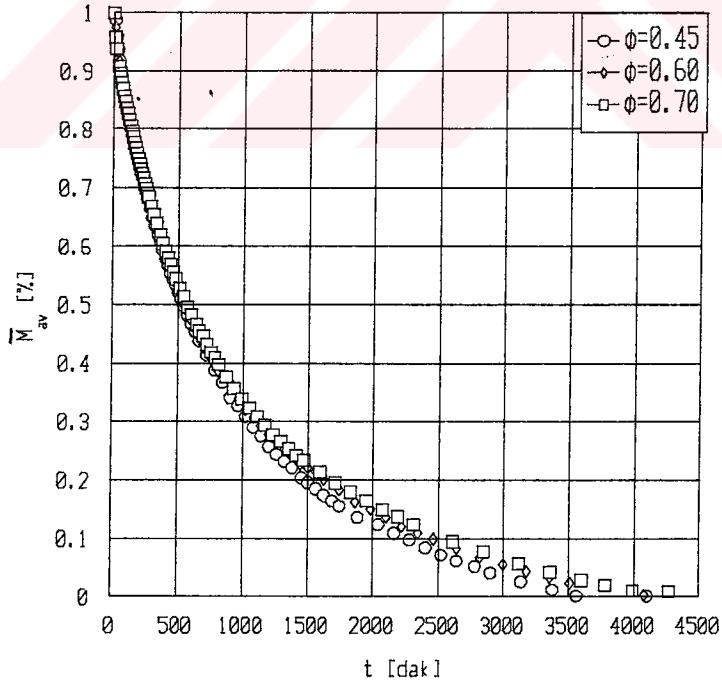
Ek Şekil 58. Fındıkta \bar{M}_{av} - t değişimi ($T=35^\circ\text{C}$, $u=0.3$ m/s).



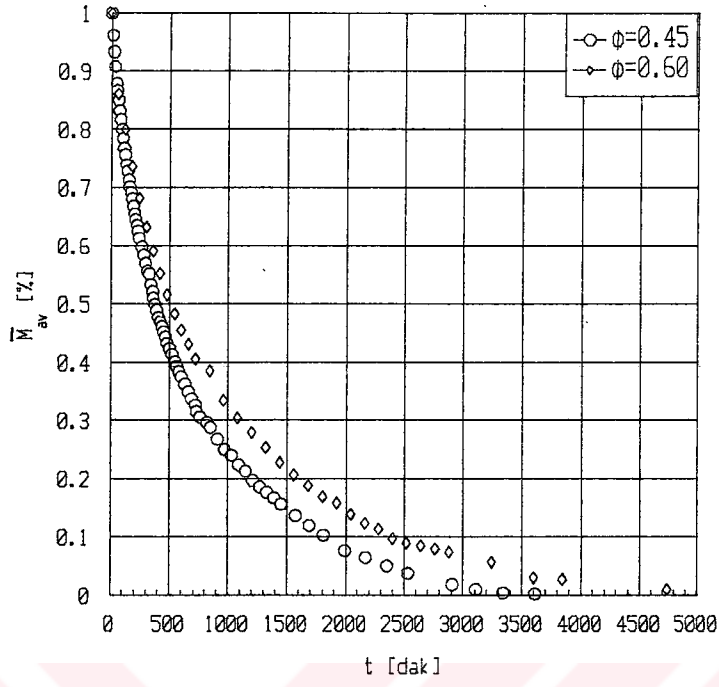
Ek Şekil 59. Fındıkta \bar{M}_{av} - t değişimi ($T=70^\circ\text{C}$, $u=0.3$ m/s).



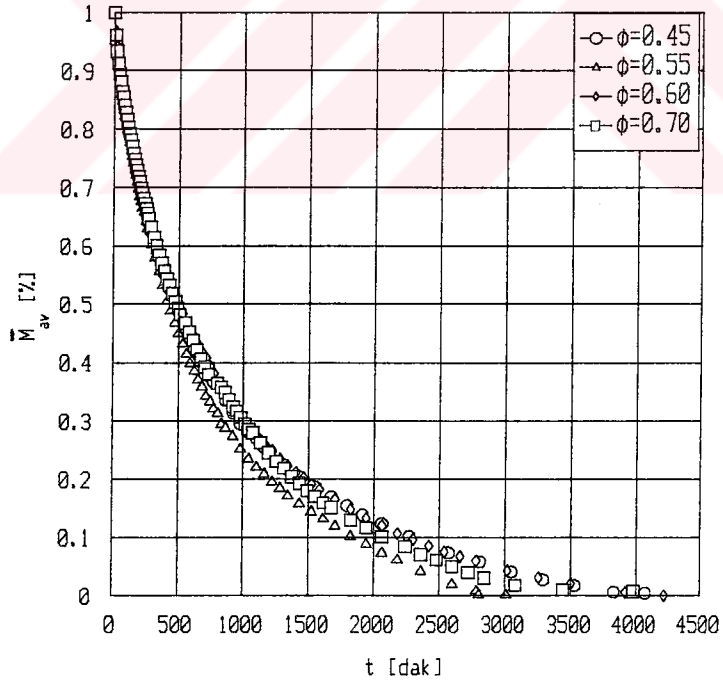
Ek Şekil 60. Fındıkta \bar{M}_{av} - t değişimi ($T=45^\circ\text{C}$, $u=0.3$ m/s).



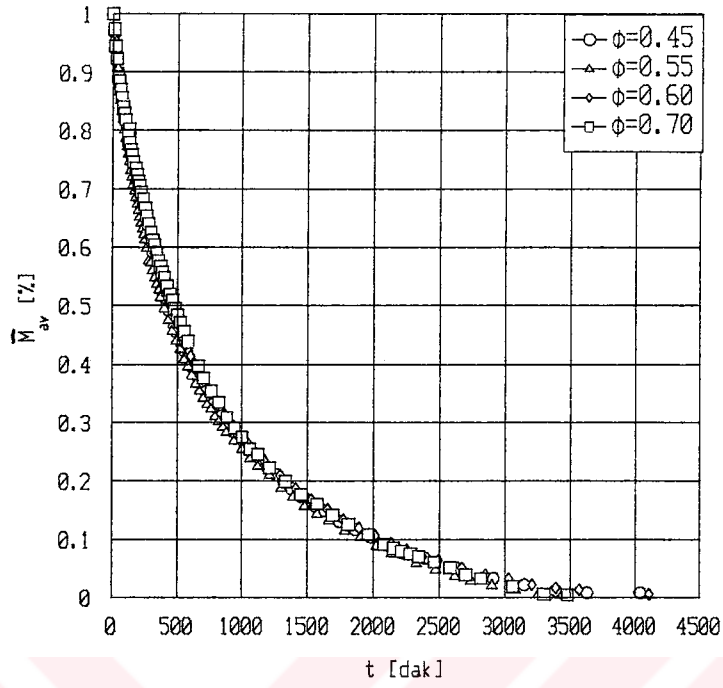
Ek Şekil 61. Fındıkta \bar{M}_{av} - t değişimi ($T=30^\circ\text{C}$, $u=0.2$ m/s).



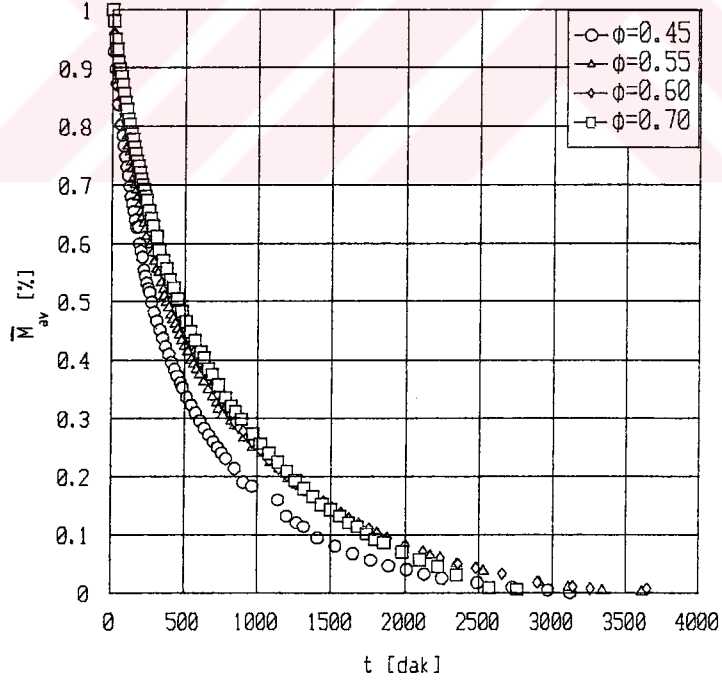
Ek Şekil 62. Fındıkta \bar{M}_{av} - t değişimi ($T=33^{\circ}\text{C}$, $u=0.2$ m/s).



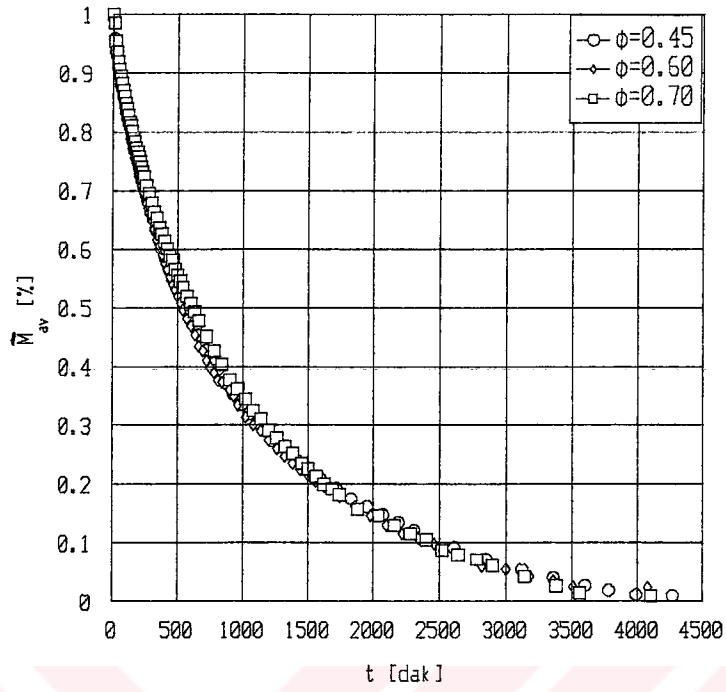
Ek Şekil 63. Fındıkta \bar{M}_{av} - t değişimi ($T=35^{\circ}\text{C}$, $u=0.2$ m/s).



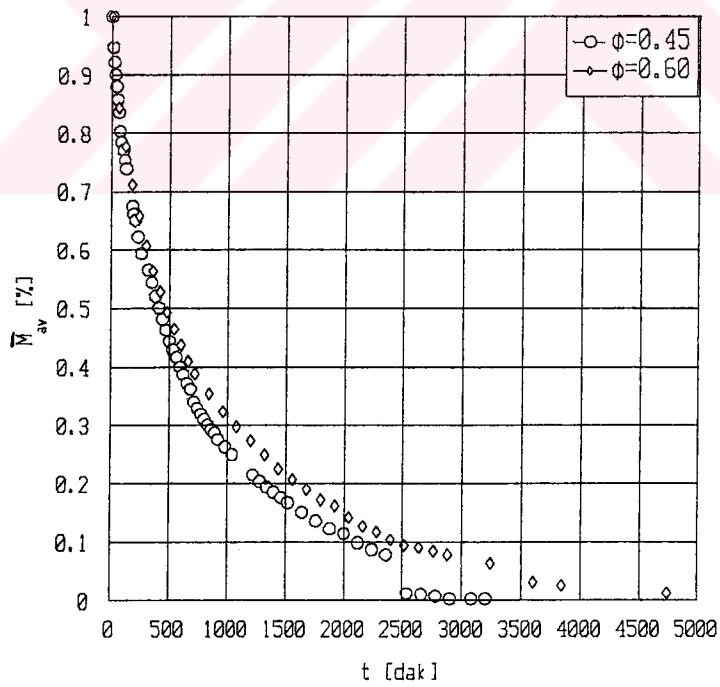
Ek Şekil 64. Fındıkta \bar{M}_{av} - t değişimi ($T=40^{\circ}\text{C}$, $u=0.2$ m/s).



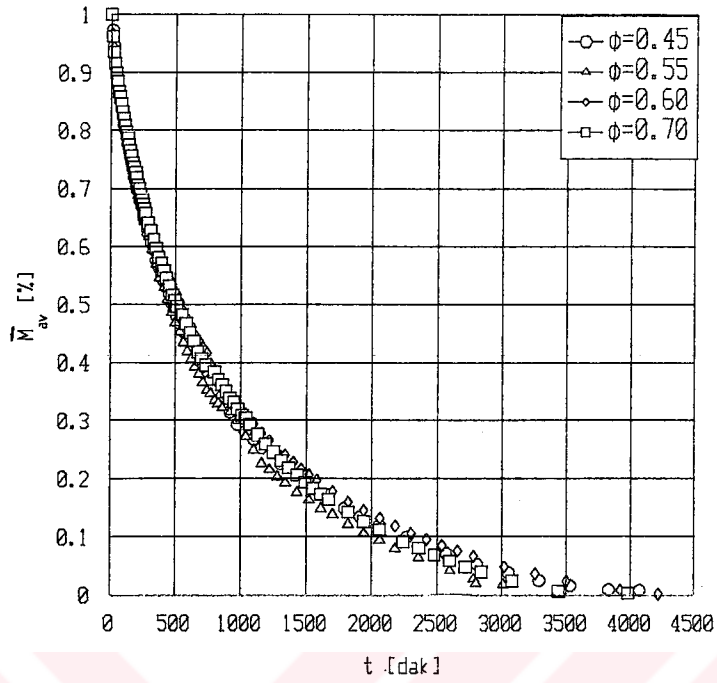
Ek Şekil 65. Fındıkta \bar{M}_{av} - t değişimi ($T=45^{\circ}\text{C}$, $u=0.3$ m/s).



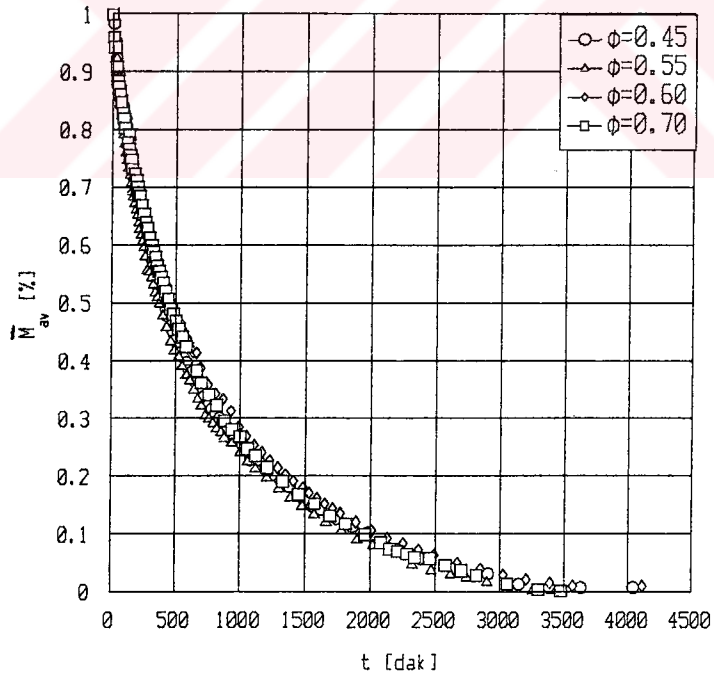
Ek Şekil 66. Fındıkta \bar{M}_{av} - t değişimi ($T=30^{\circ}\text{C}$, $u=0.6$ m/s).



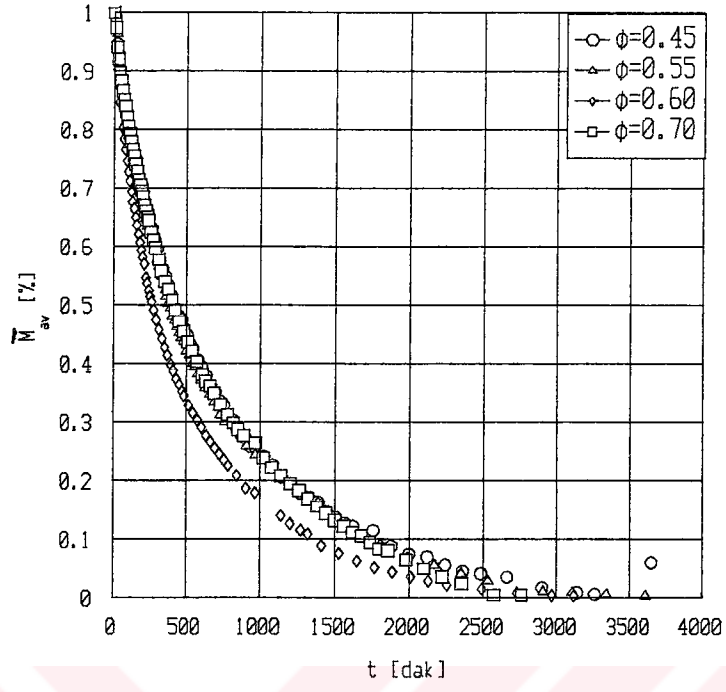
Ek Şekil 67. Fındıkta \bar{M}_{av} - t değişimi ($T=33^{\circ}\text{C}$, $u=0.6$ m/s).



Ek Şekil 68. Fındıkta \bar{M}_{av} - t değişimi ($T=35^\circ\text{C}$, $u=0.6$ m/s).

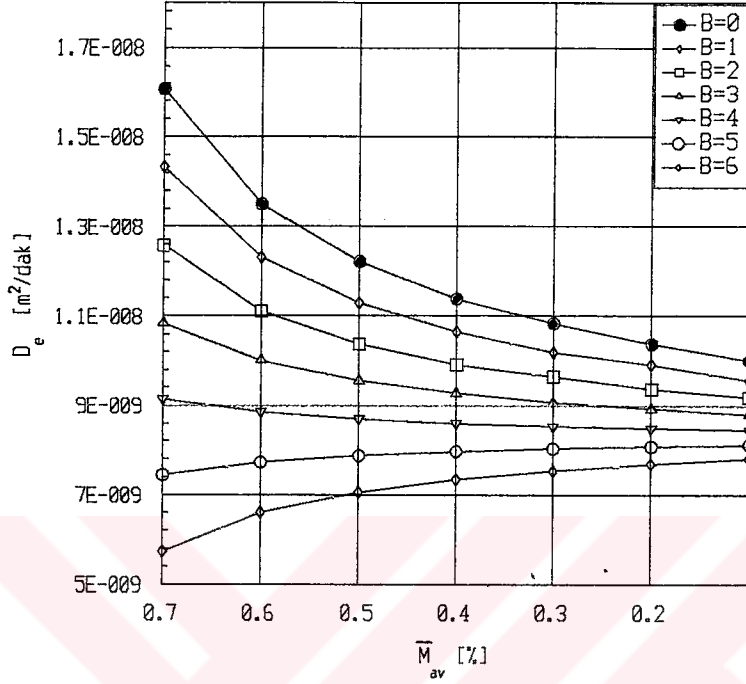


Ek Şekil 69. Fındıkta \bar{M}_{av} - t değişimi ($T=40^\circ\text{C}$, $u=0.6$ m/s).

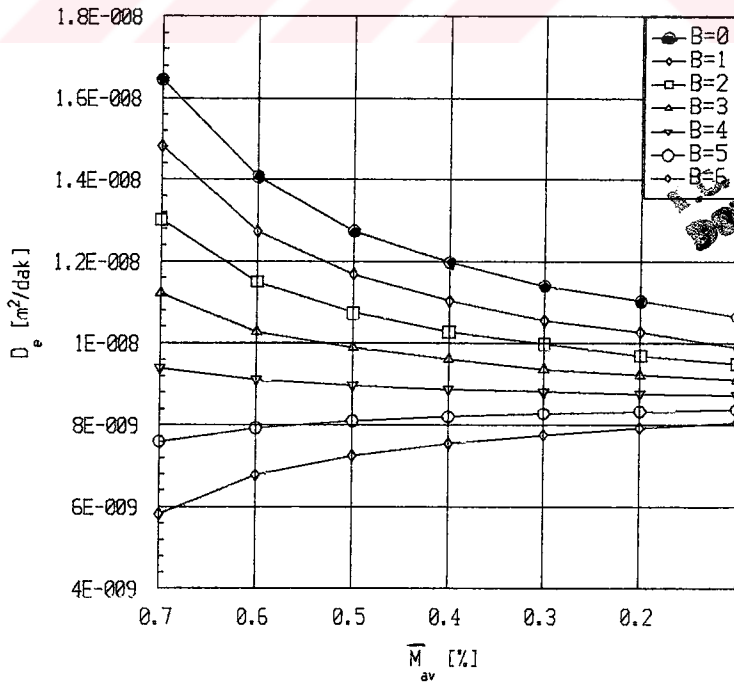


Ek Şekil 70. Fındıkta \bar{M}_{av} -t değişimi ($T=45^\circ\text{C}$, $u=0.6$ m/s).

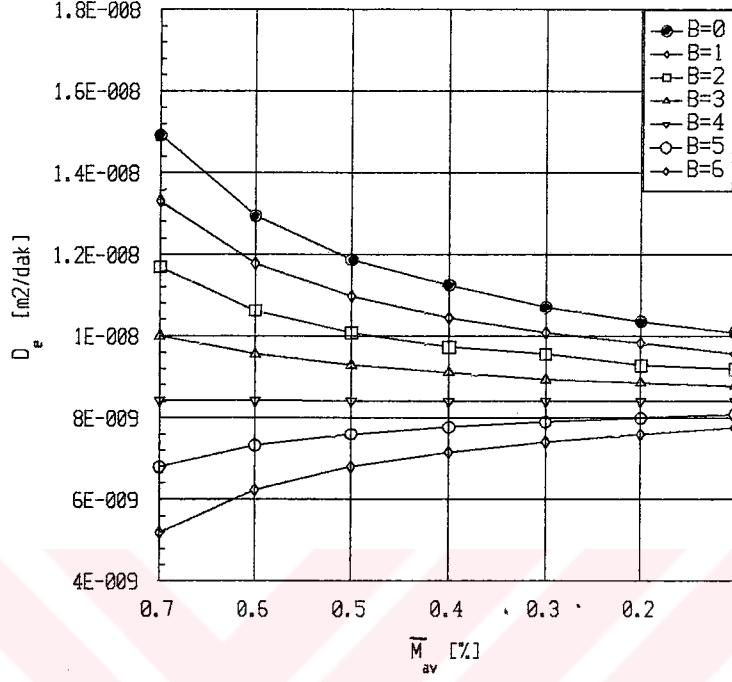
8.4. Deneyler sonunda elde edilen difüzyon grafikleri.



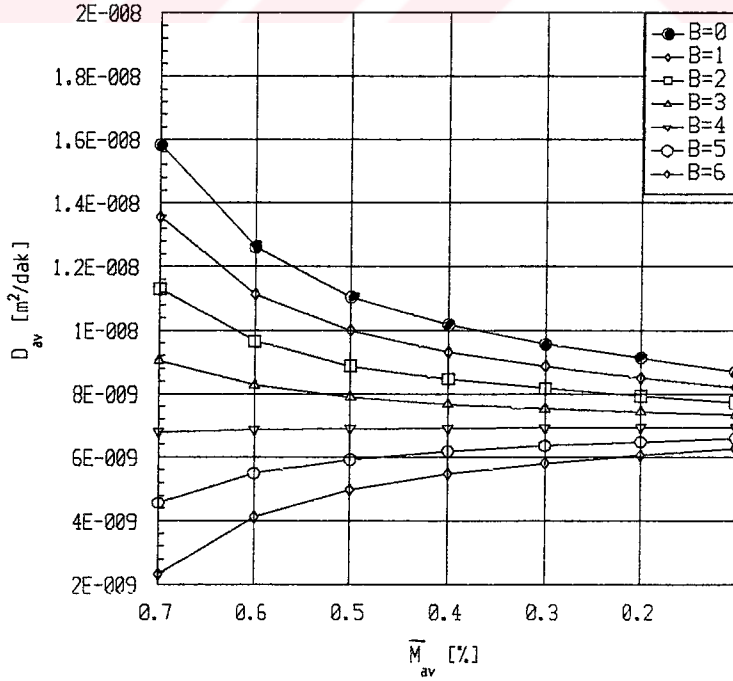
Ek Şekil 71. Fındıkta D_e - \bar{M}_{av} değişimi ($T=45^\circ\text{C}$, $\phi=0.45$, $u=0.2$ m/s).



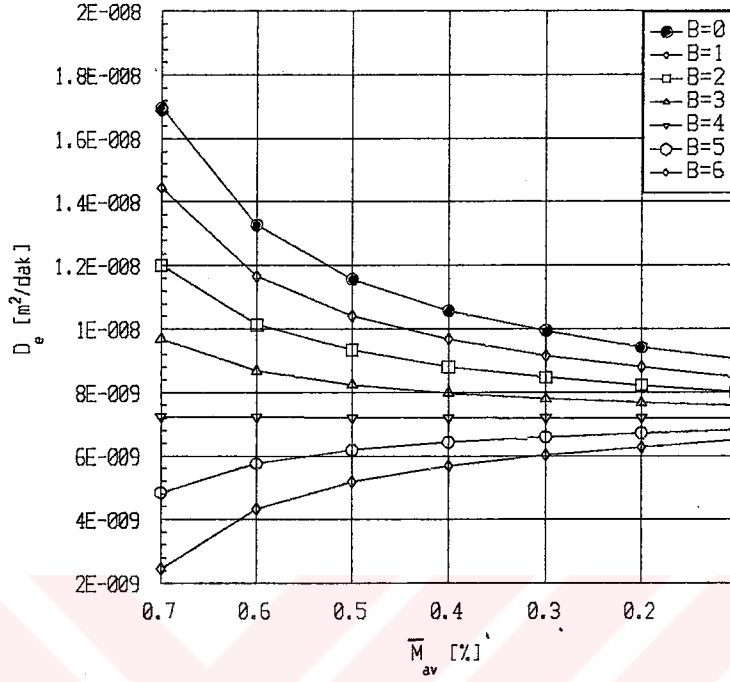
Ek Şekil 72. Fındıkta D_e - \bar{M}_{av} değişimi ($T=45^\circ\text{C}$, $\phi=0.45$, $u=0.3$ m/s).



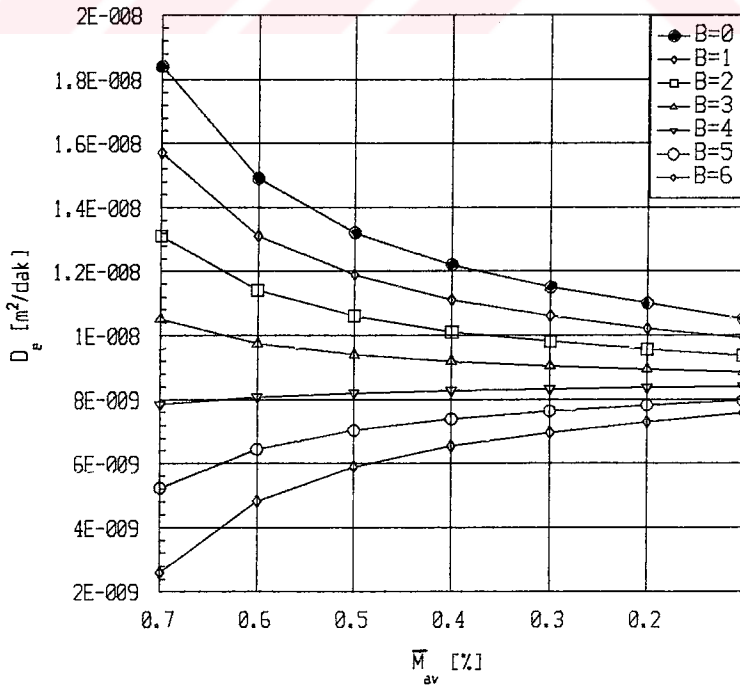
Ek Şekil 73. Fındıkta D_e - \bar{M}_{av} değişimi ($T=45^\circ\text{C}$, $\phi=0.45$, $u=0.6$ m/s).



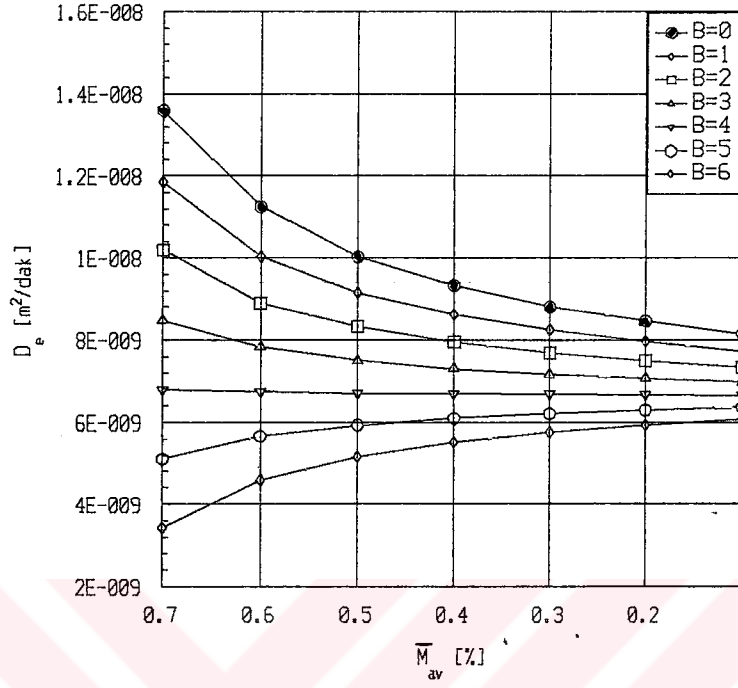
Ek Şekil 74. Fındıkta D_e - \bar{M}_{av} değişimi ($T=40^\circ\text{C}$, $\phi=0.45$, $u=0.2$ m/s).



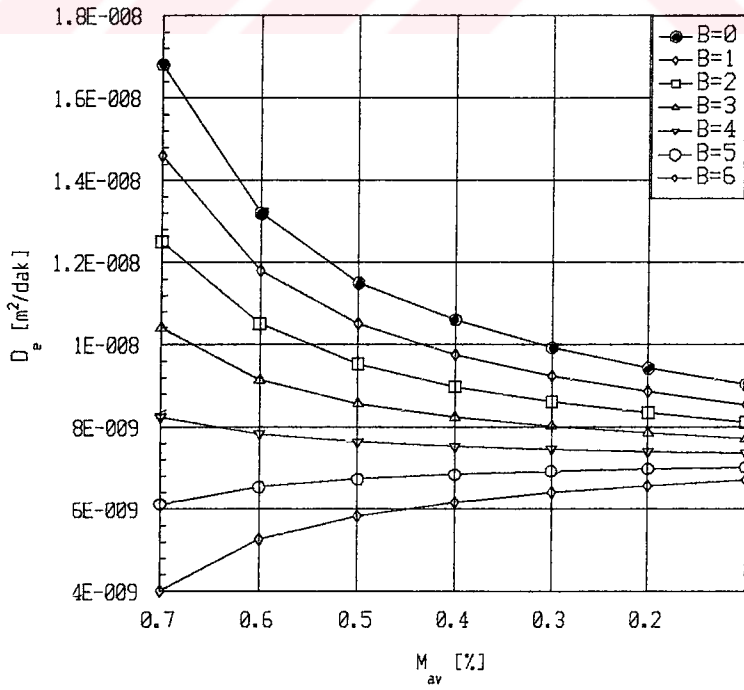
Ek Şekil 75. Fındıkta D_e - \bar{M}_{av} değişimi ($T=40^\circ C$, $\phi=0.45$, $u=0.3$ m/s).



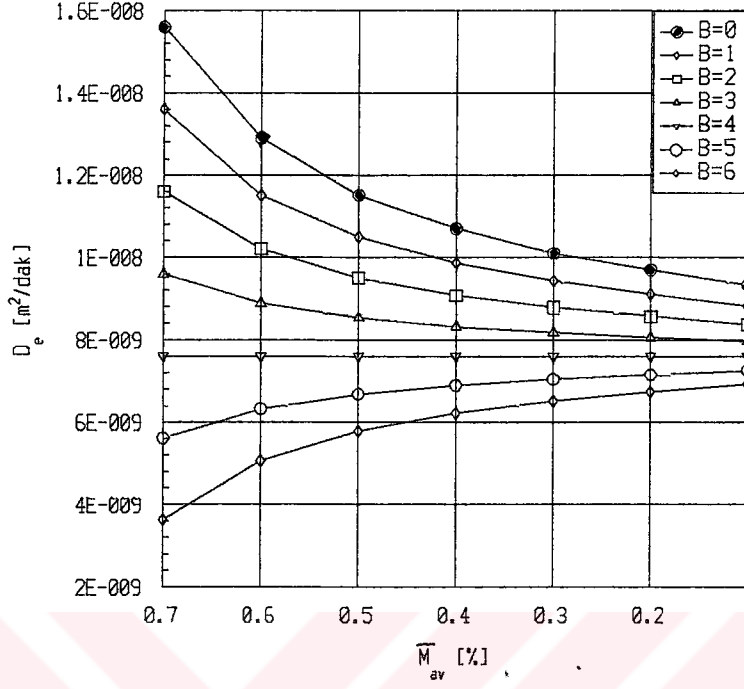
Ek Şekil 76. Fındıkta D_e - \bar{M}_{av} değişimi ($T=40^\circ C$, $\phi=0.45$, $u=0.6$ m/s).



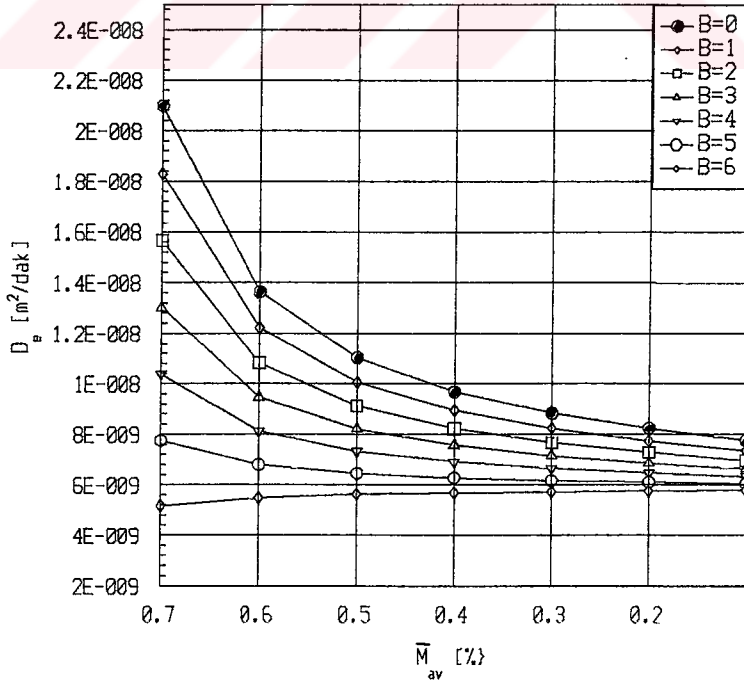
Ek Şekil 77. Fındıkta D_e - \bar{M}_{av} değişimi ($T=35^\circ C$, $\phi=0.45$, $u=0.2$ m/s).



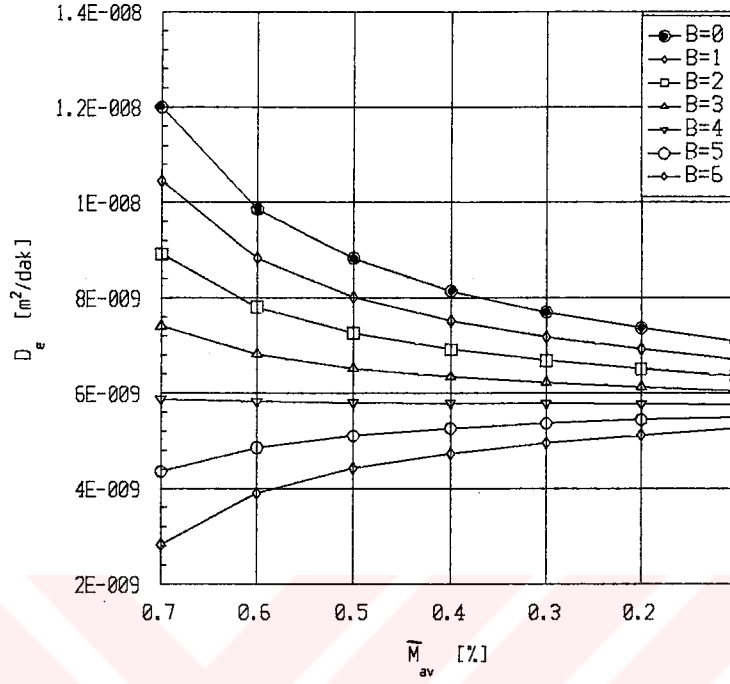
Ek Şekil 78. Fındıkta D_e - \bar{M}_{av} değişimi ($T=35^\circ C$, $\phi=0.45$, $u=0.3$ m/s).



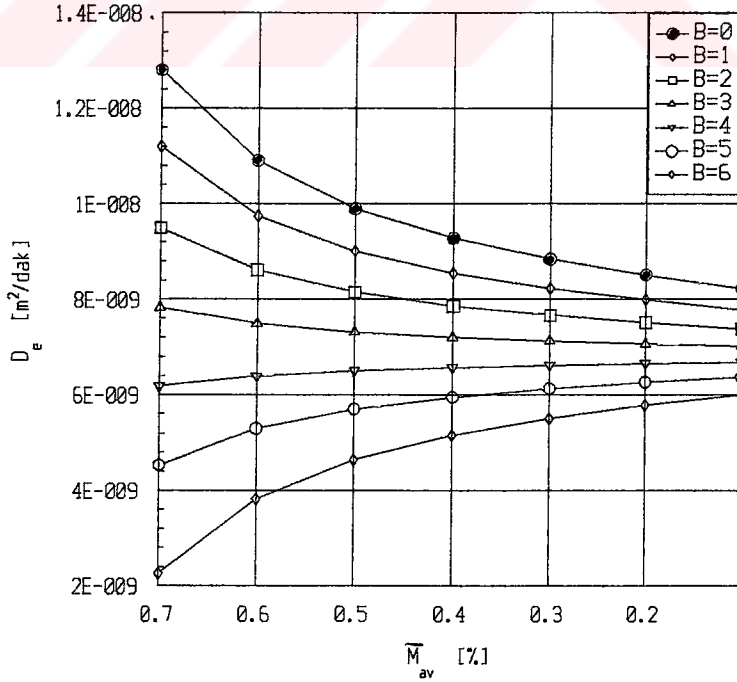
Ek Şekil 79. Fındıkta D_e - \bar{M}_{av} değişimi ($T=35^\circ C$, $\phi=0.45$, $u=0.6$ m/s).



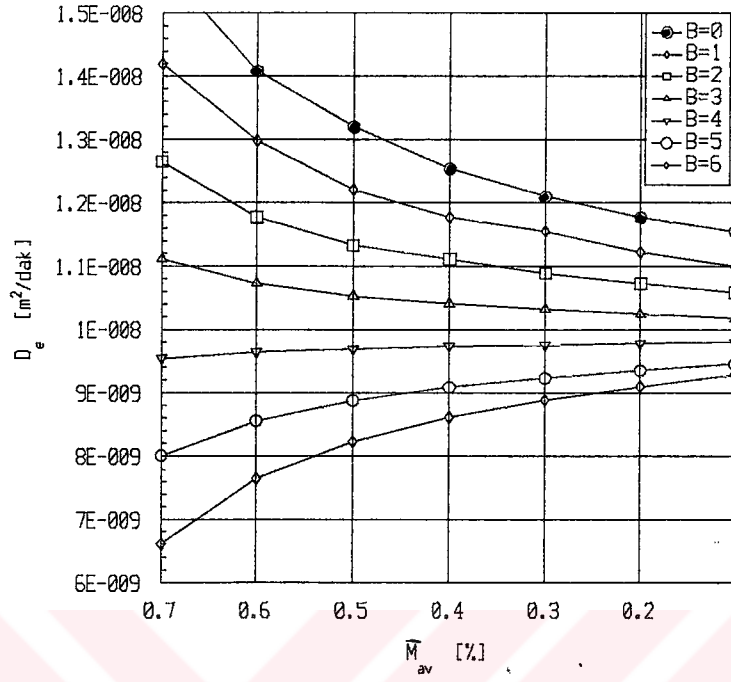
Ek Şekil 80. Fındıkta D_e - \bar{M}_{av} değişimi ($T=30^\circ C$, $\phi=0.45$, $u=0.2$ m/s).



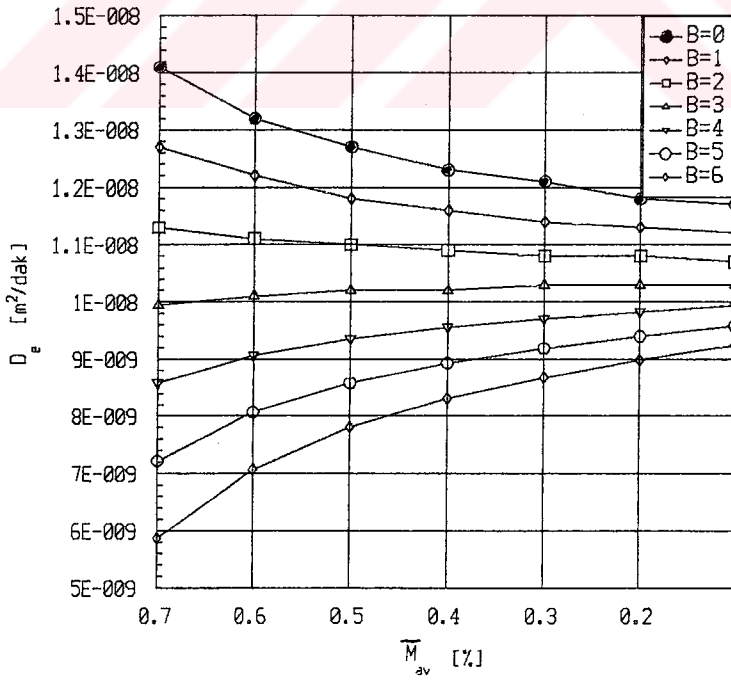
Ek Şekil 81. Fındıkta D_e - \bar{M}_{av} değişimi ($T=30^\circ C$, $\phi=0.45$, $u=0.3$ m/s).



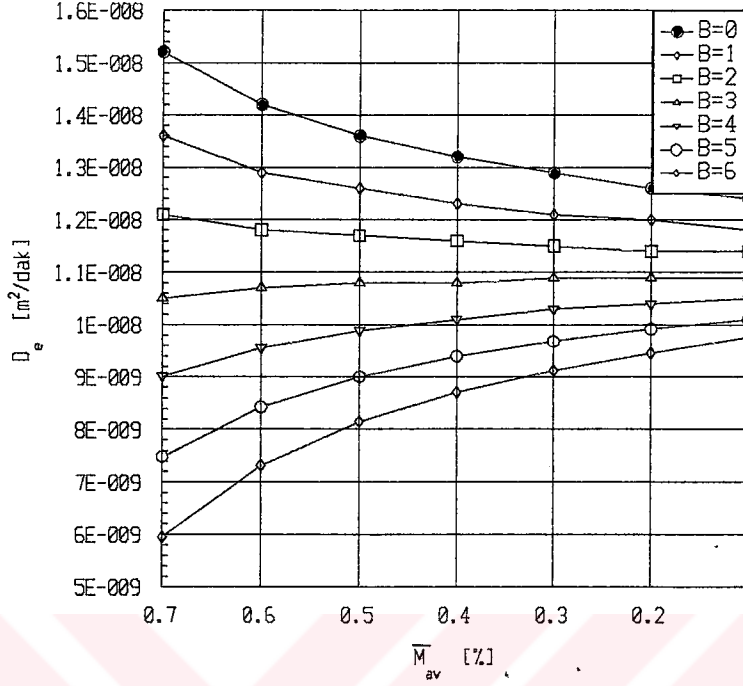
Ek Şekil 82. Fındıkta D_e - \bar{M}_{av} değişimi ($T=30^\circ C$, $\phi=0.45$, $u=0.6$ m/s).



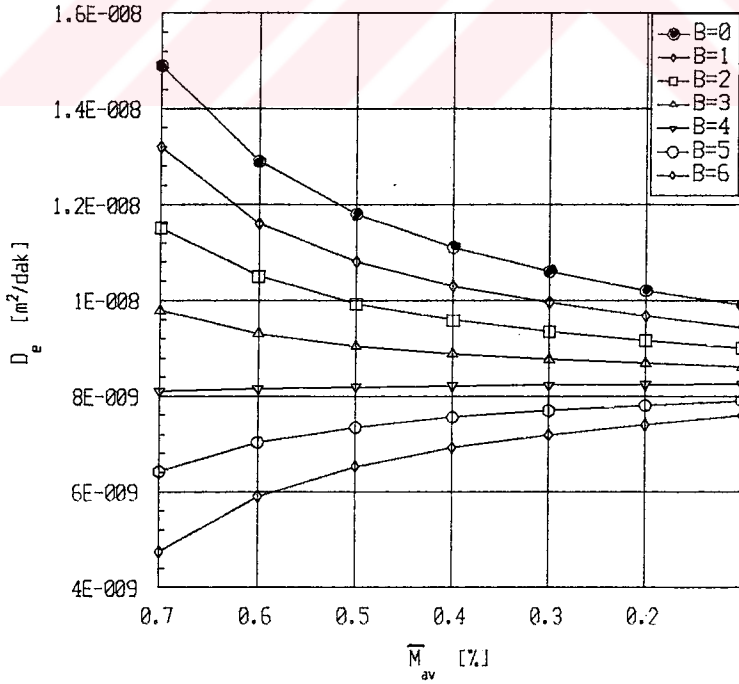
Ek Şekil 83. Fındıkta D_e - \bar{M}_{av} değişimi ($T=45^\circ C$, $\phi=0.70$, $u=0.2$ m/s).



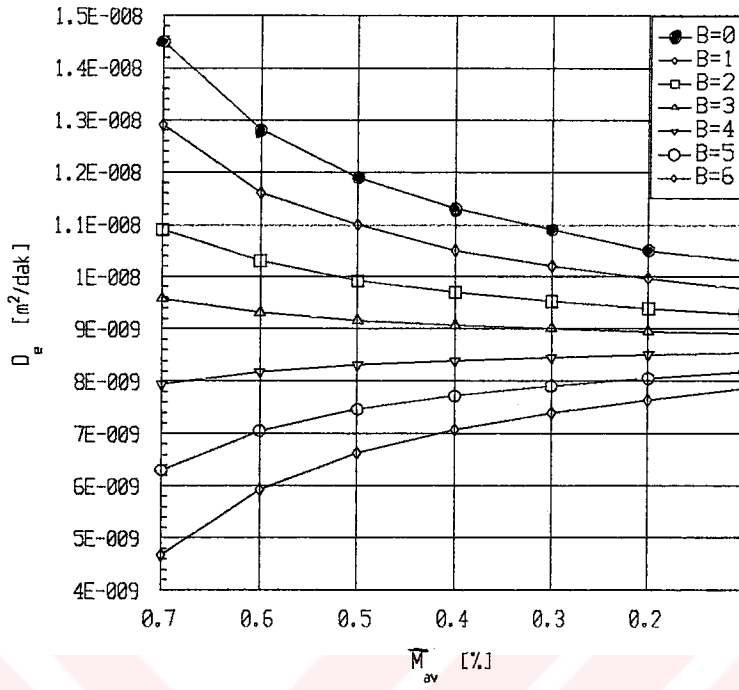
Ek Şekil 84. Fındıkta D_e - \bar{M}_{av} değişimi ($T=45^\circ C$, $\phi=0.70$, $u=0.3$ m/s).



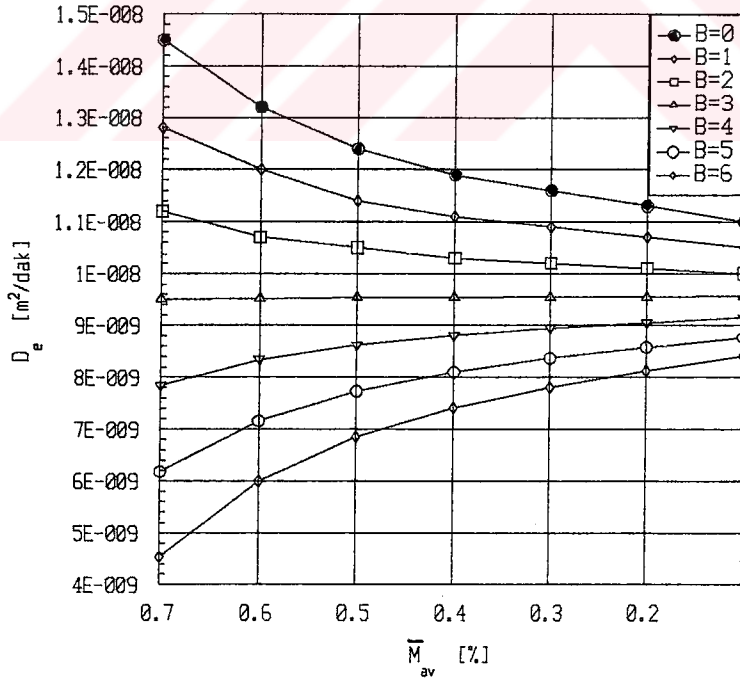
Ek Şekil 85. Fındıkta D_e - \bar{M}_{av} değişimi ($T=45^\circ\text{C}$, $\phi=0.70$, $u=0.6$ m/s).



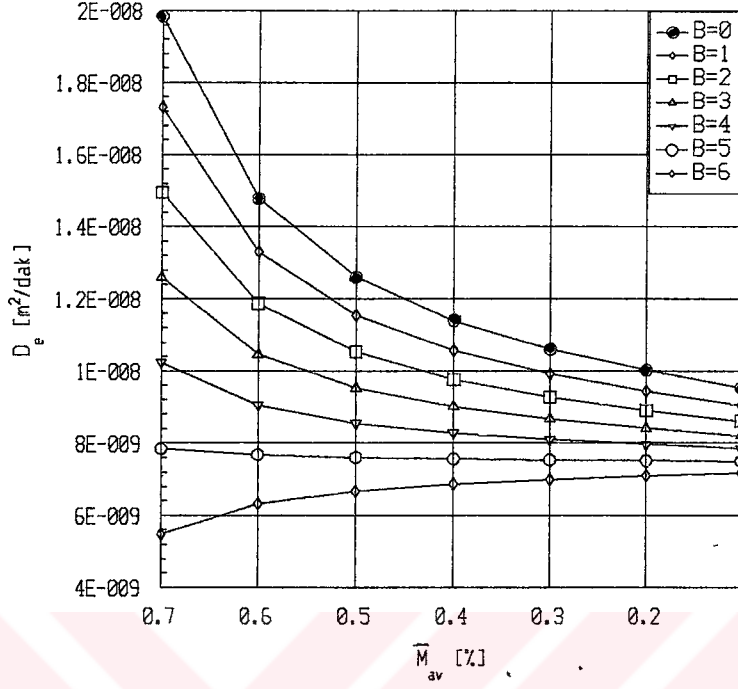
Ek Şekil 86. Fındıkta D_e - \bar{M}_{av} değişimi ($T=40^\circ\text{C}$, $\phi=0.70$, $u=0.2$ m/s).



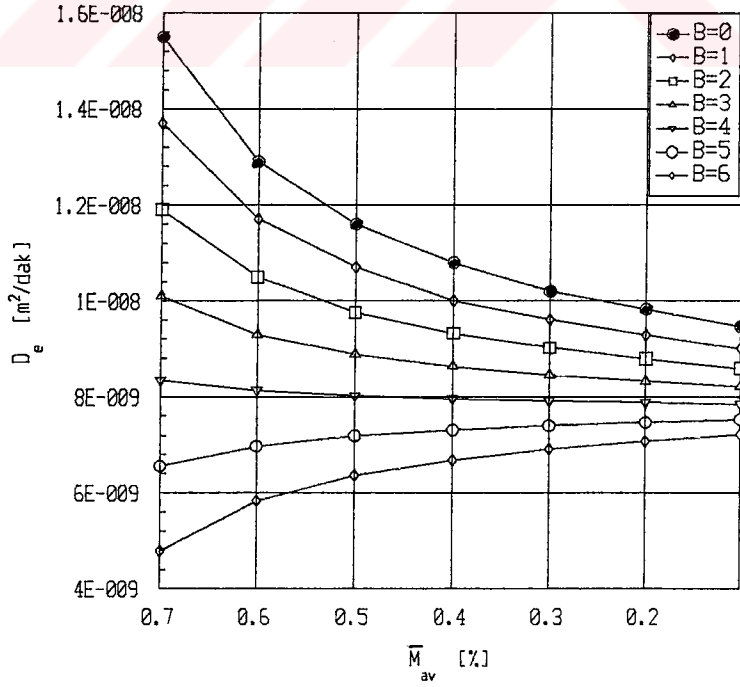
Ek Şekil 87. Fındıkta D_e - \bar{M}_{av} değişimi ($T=40^\circ C$, $\phi=0.70$, $u=0.3$ m/s).



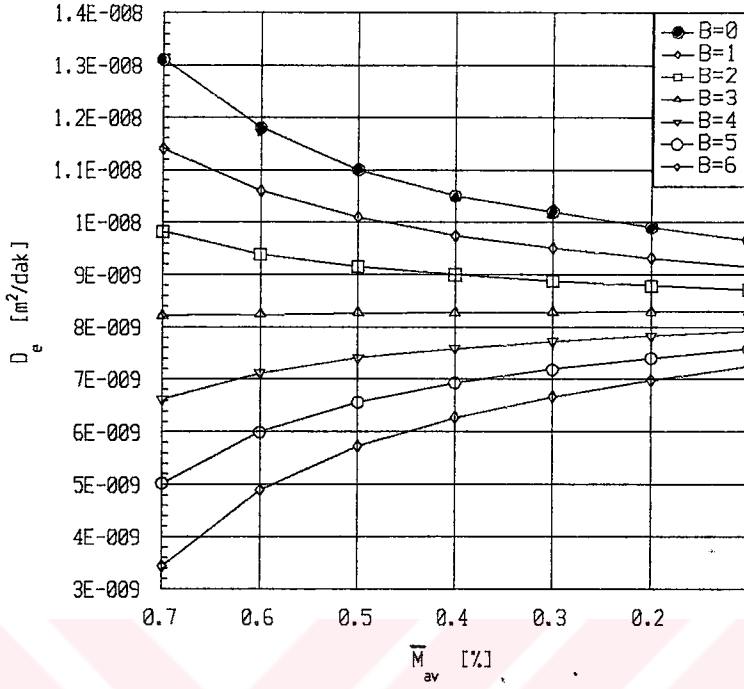
Ek Şekil 88. Fındıkta D_e - \bar{M}_{av} değişimi ($T=40^\circ C$, $\phi=0.70$, $u=0.6$ m/s).



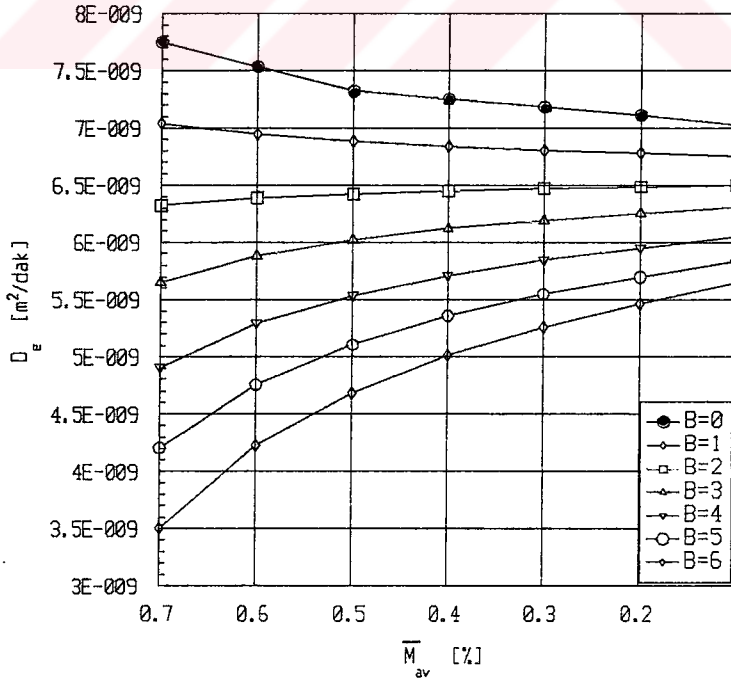
Ek Şekil 89. Fındıkta D_e - \bar{M}_{av} değişimi ($T=35^\circ C$, $\phi=0.70$, $u=0.2$ m/s).



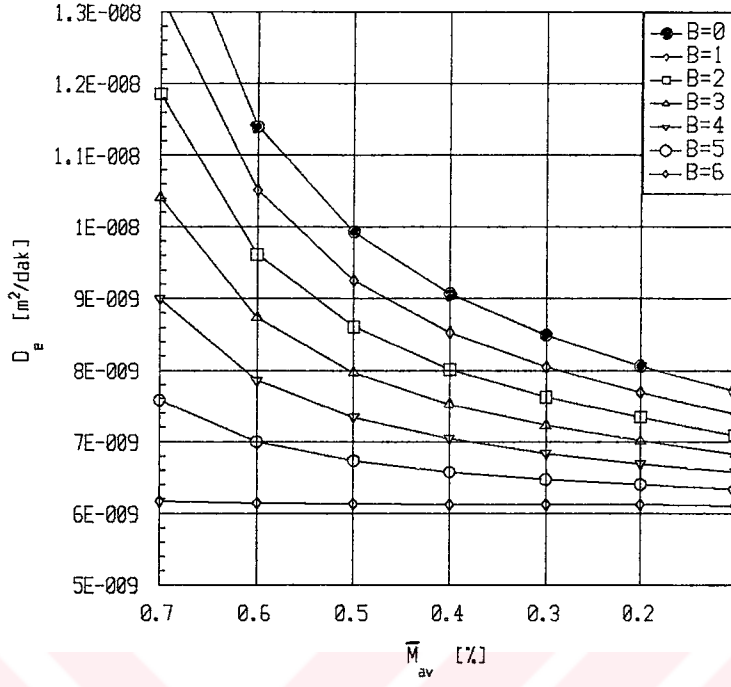
Ek Şekil 90. Fındıkta D_e - \bar{M}_{av} değişimi ($T=35^\circ C$, $\phi=0.70$, $u=0.3$ m/s).



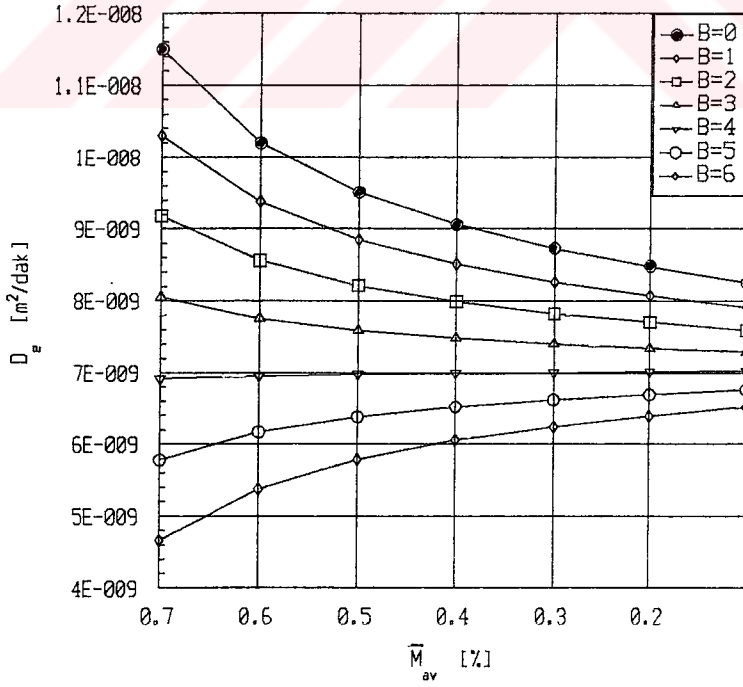
Ek Şekil 91. Fındıkta D_e - \bar{M}_{av} değişimi ($T=35^\circ\text{C}$, $\phi=0.70$, $u=0.6$ m/s).



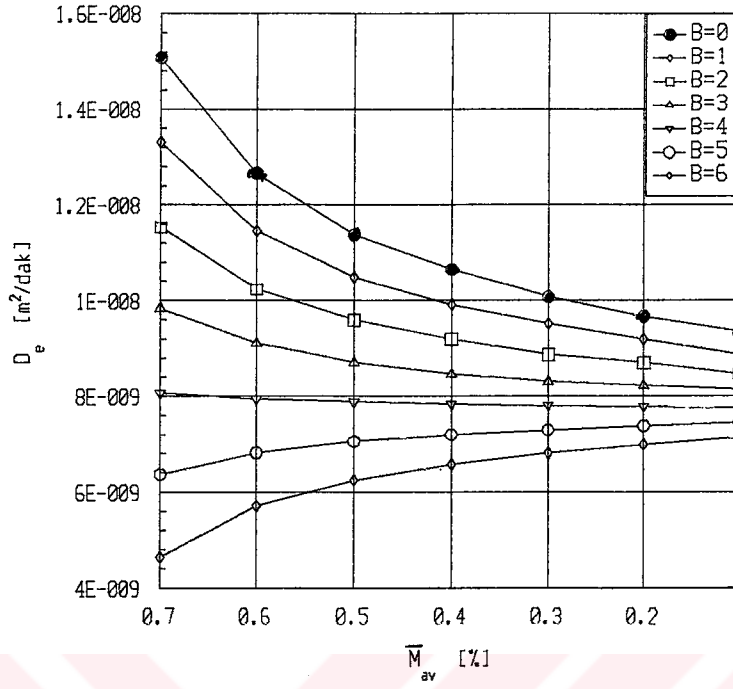
Ek Şekil 92. Fındıkta D_e - \bar{M}_{av} değişimi ($T=30^\circ\text{C}$, $\phi=0.70$, $u=0.2$ m/s).



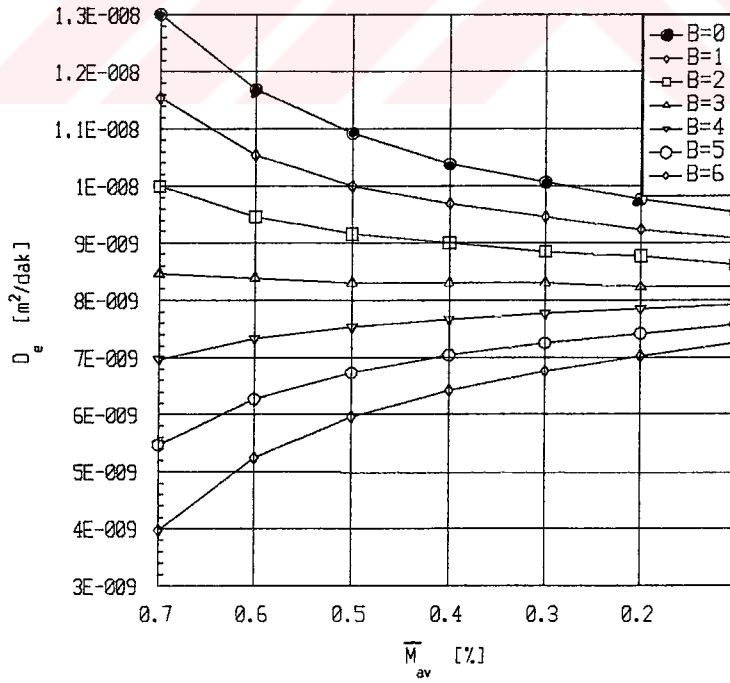
Ek Şekil 93. Fındıkta D_e - \bar{M}_{av} değişimi ($T=30^\circ C$, $\phi=0.70$, $u=0.3$ m/s).



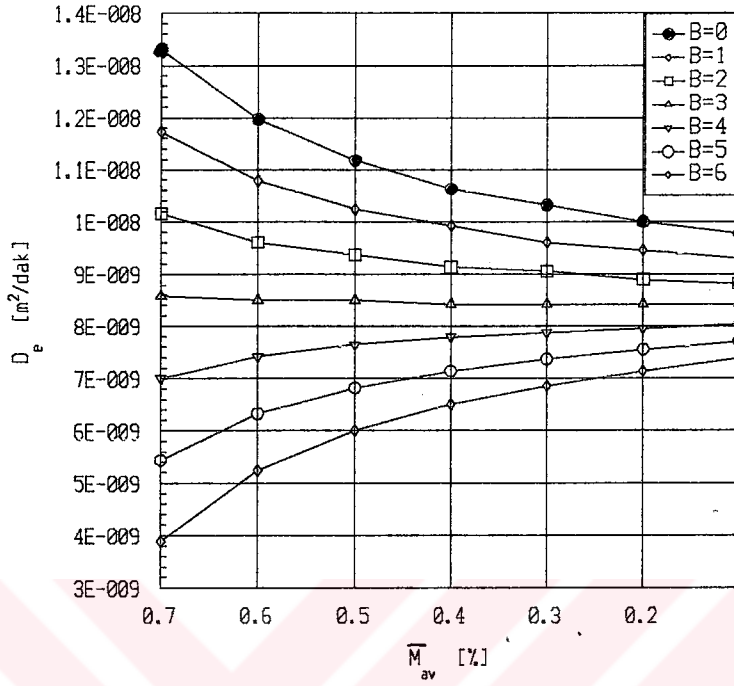
Ek Şekil 94. Fındıkta D_e - \bar{M}_{av} değişimi ($T=30^\circ C$, $\phi=0.70$, $u=0.6$ m/s).



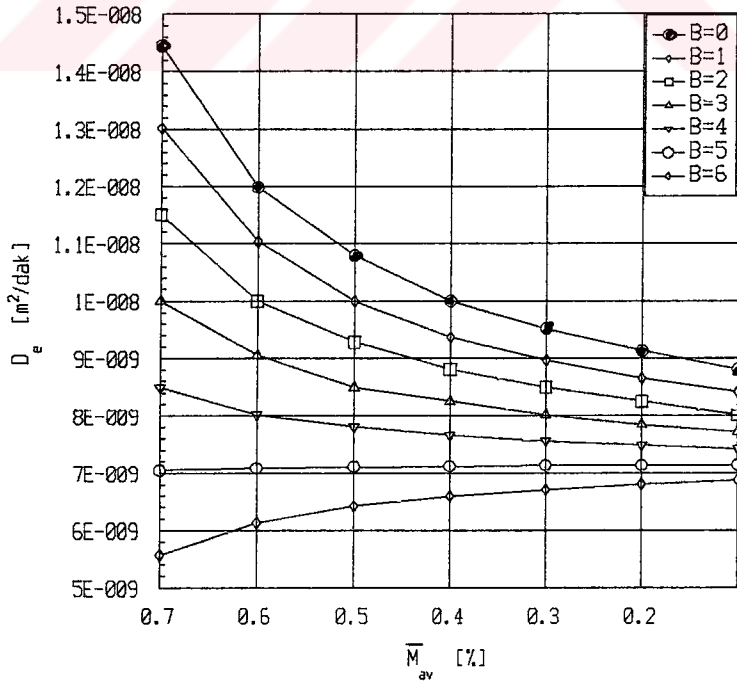
Ek Şekil 95. Fındıkta D_e - \bar{M}_{av} değişimi ($T=45^\circ\text{C}$, $\phi=0.55$, $u=0.2$ m/s).



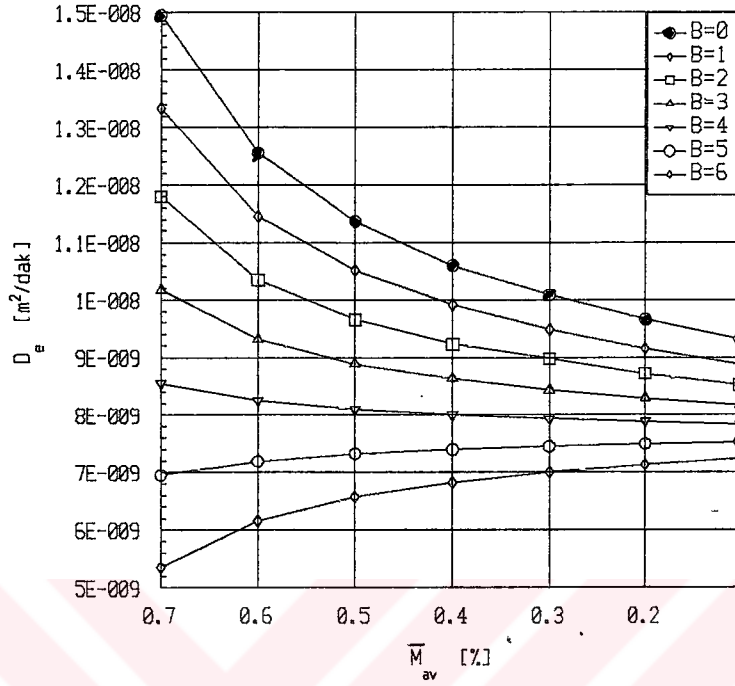
Ek Şekil 96. Fındıkta D_e - \bar{M}_{av} değişimi ($T=45^\circ\text{C}$, $\phi=0.55$, $u=0.3$ m/s).



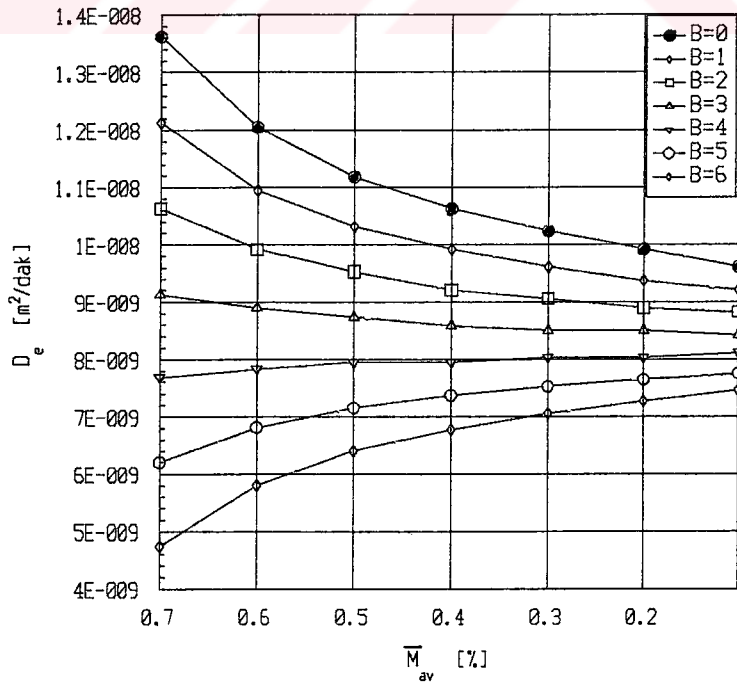
Ek Şekil 97. Fındıkta D_e - \bar{M}_{av} değişimi ($T=45^\circ\text{C}$, $\phi=0.55$, $u=0.6$ m/s).



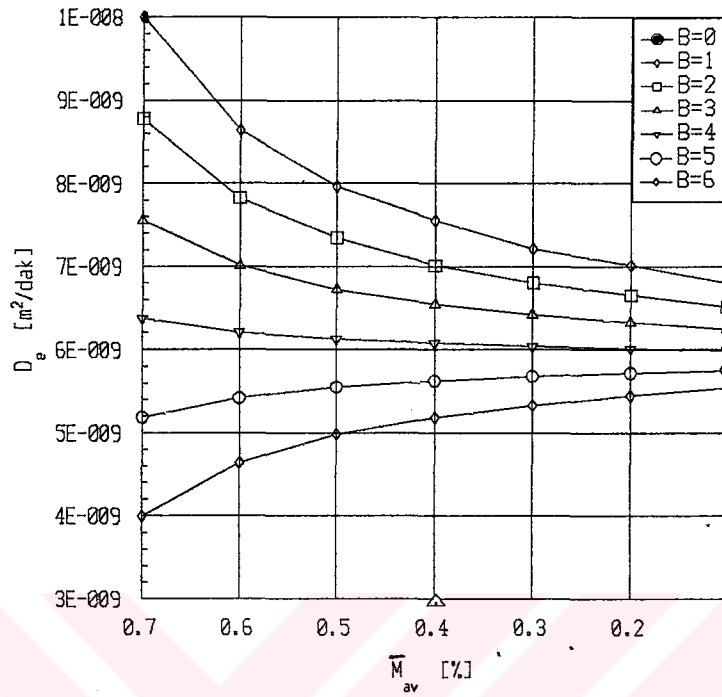
Ek Şekil 98. Fındıkta D_e - \bar{M}_{av} değişimi ($T=40^\circ\text{C}$, $\phi=0.55$, $u=0.2$ m/s).



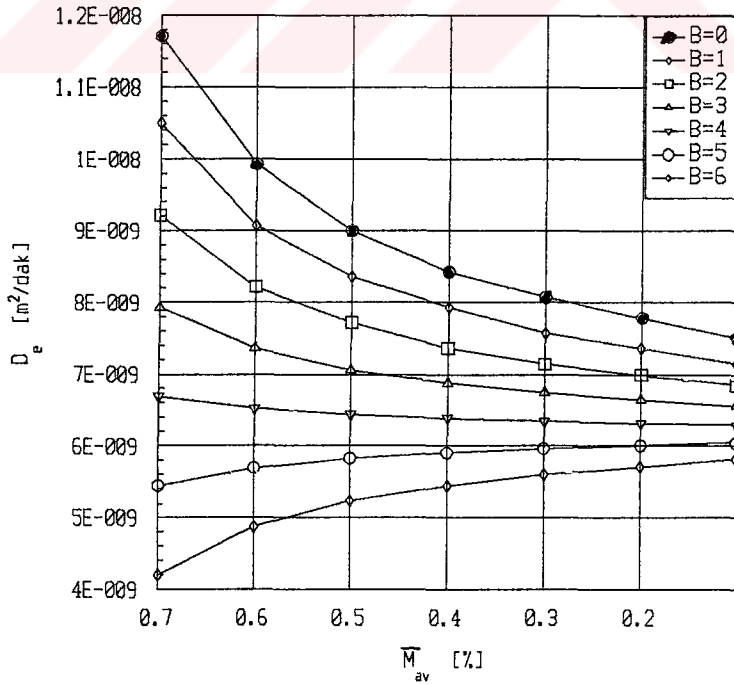
Ek Şekil 99. Fındıkta D_e - \bar{M}_{av} değişimi ($T=40^\circ C$, $\phi=0.55$, $u=0.3$ m/s).



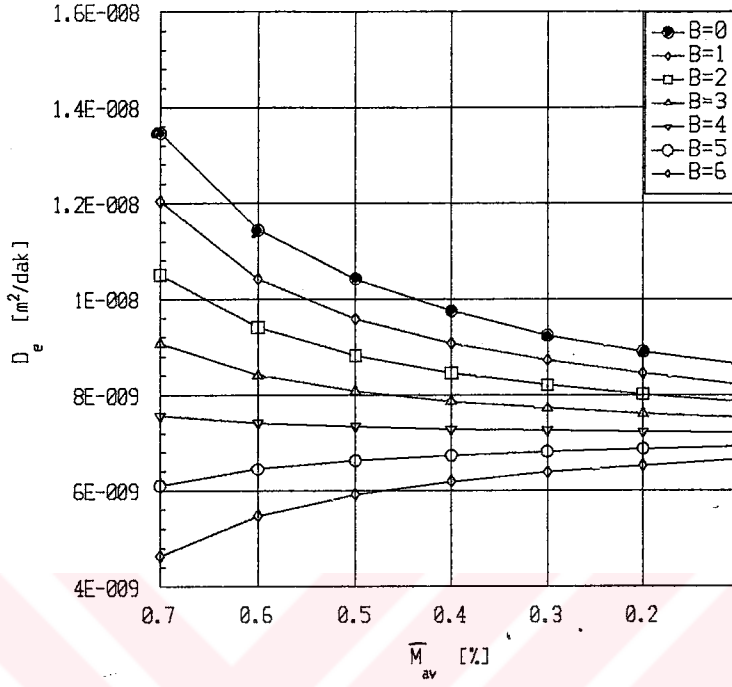
Ek Şekil 100. Fındıkta D_e - \bar{M}_{av} değişimi ($T=40^\circ C$, $\phi=0.55$, $u=0.6$ m/s).



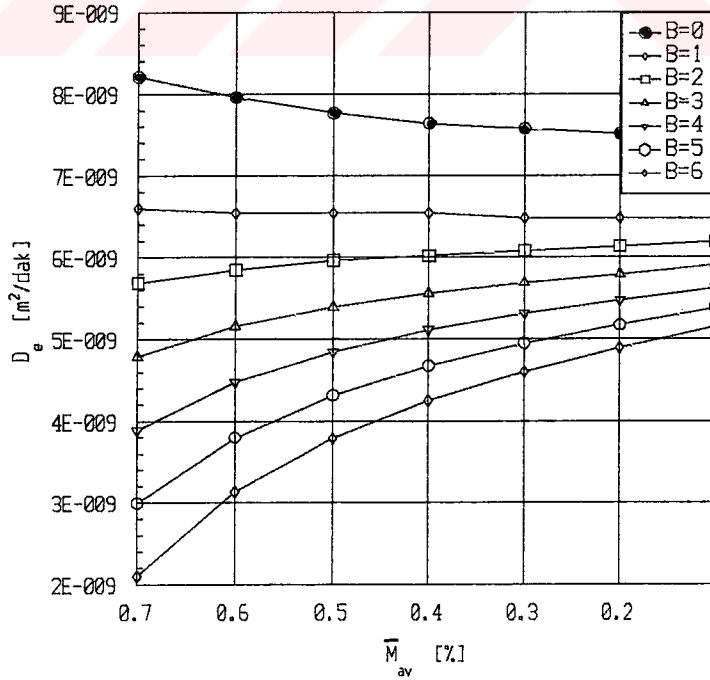
Ek Şekil 101. Fındıkta D_e - \bar{M}_{av} değişimi ($T=35^\circ\text{C}$, $\phi=0.55$, $u=0.2$ m/s).



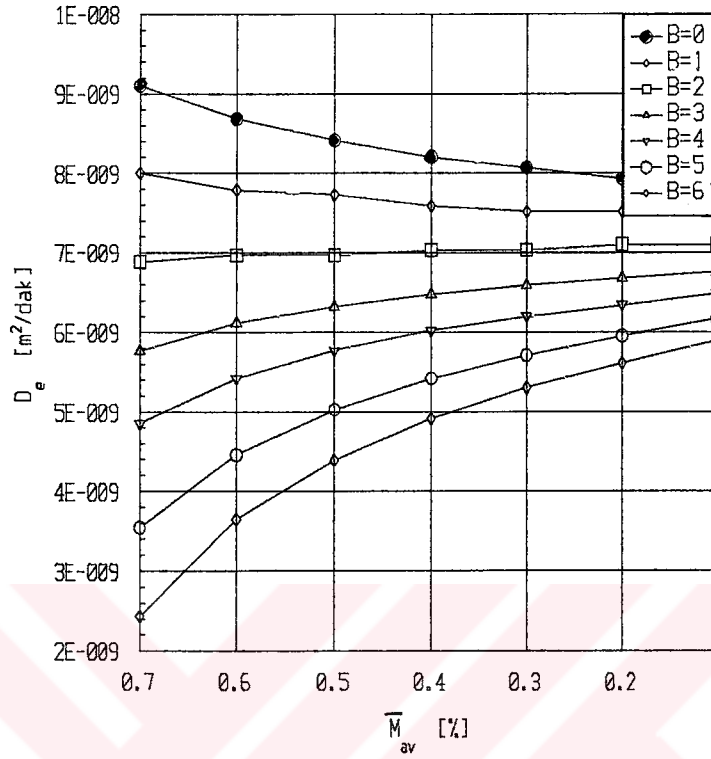
Ek Şekil 102. Fındıkta D_e - \bar{M}_{av} değişimi ($T=35^\circ\text{C}$, $\phi=0.55$, $u=0.3$ m/s).



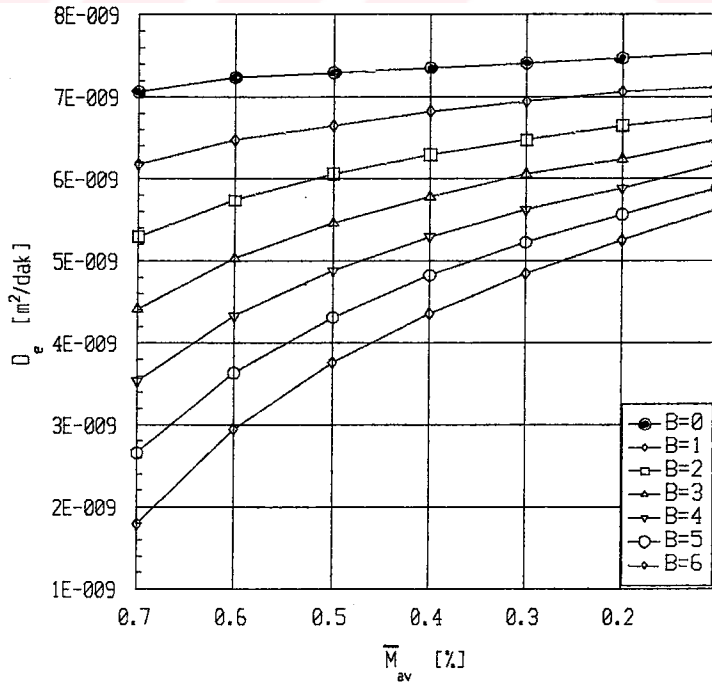
Ek Şekil 103. Fındıkta D_e - \bar{M}_{av} değişimi ($T=35^\circ\text{C}$, $\phi=0.55$, $u=0.6$ m/s).



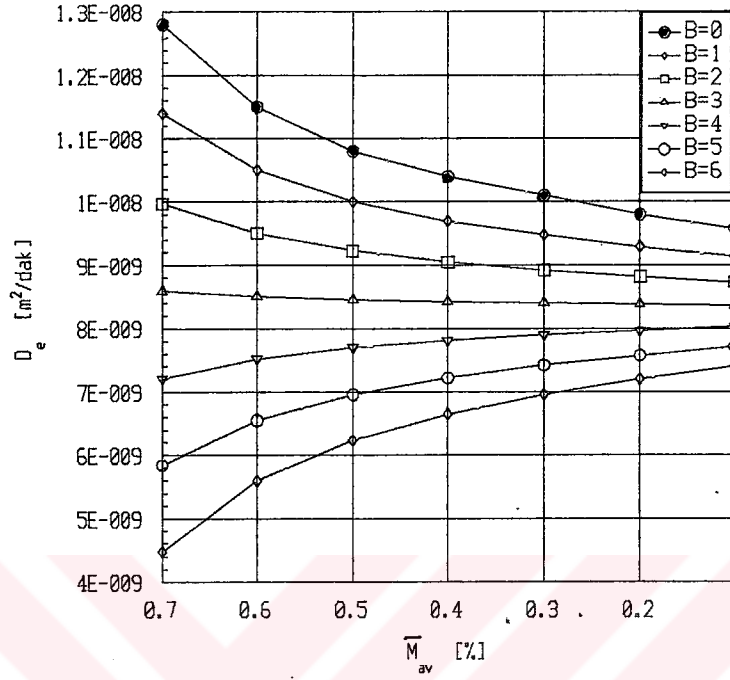
Ek Şekil 104. Fındıkta D_e - \bar{M}_{av} değişimi ($T=33^\circ\text{C}$, $\phi=0.45$, $u=0.2$ m/s).



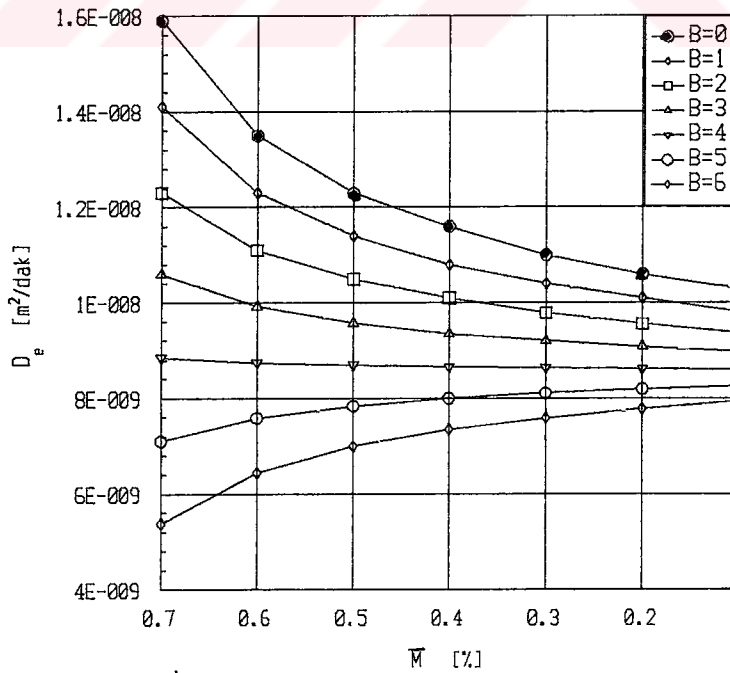
Ek Şekil 105. Fındıkta D_e - \bar{M}_{av} değişimi ($T=33^\circ\text{C}$, $\phi=0.45$, $u=0.3$ m/s).



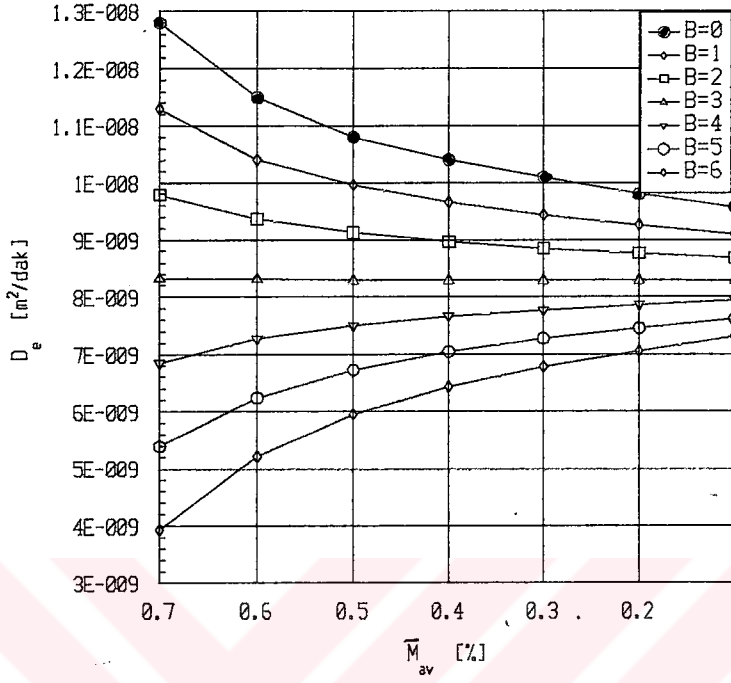
Ek Şekil 106. Fındıkta D_e - \bar{M}_{av} değişimi ($T=33^\circ\text{C}$, $\phi=0.45$, $u=0.6$ m/s).



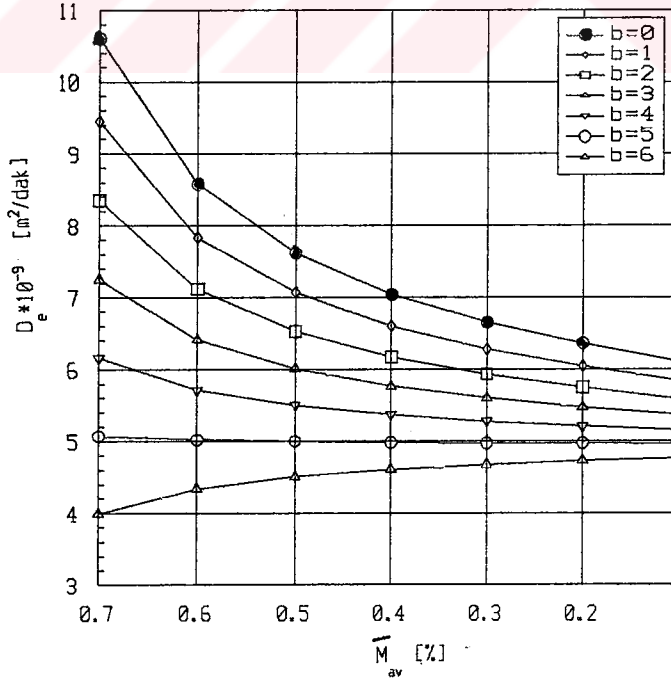
Ek Şekil 107. Fındıkta D_e - \bar{M}_{av} değişimi ($T=40^\circ\text{C}$, $\phi=0.70$, $u=0.2$ m/s).



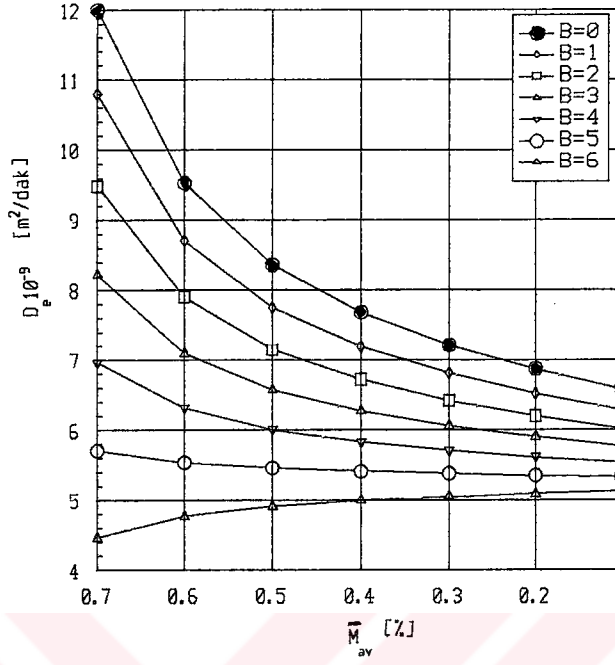
Ek Şekil 108. Fındıkta D_e - \bar{M}_{av} değişimi ($T=40^\circ\text{C}$, $\phi=0.70$, $u=0.3$ m/s).



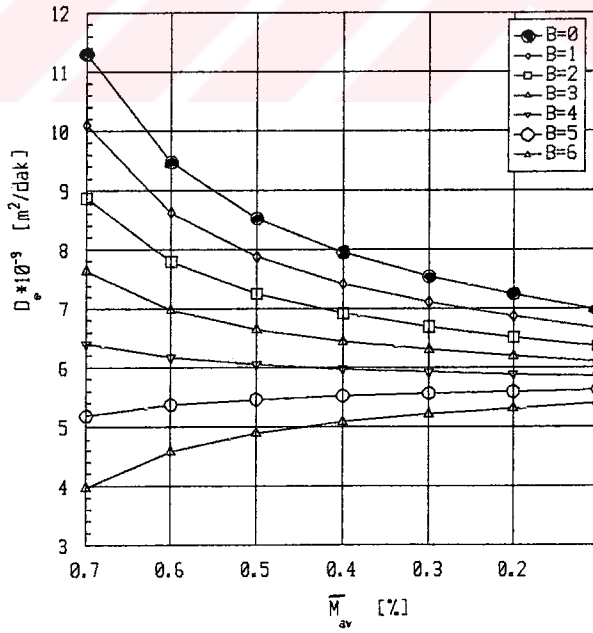
Ek Şekil 109. Fındıkta D_e - \bar{M}_{av} değişimi ($T=40^\circ C$, $\phi=0.70$, $u=0.6$ m/s).



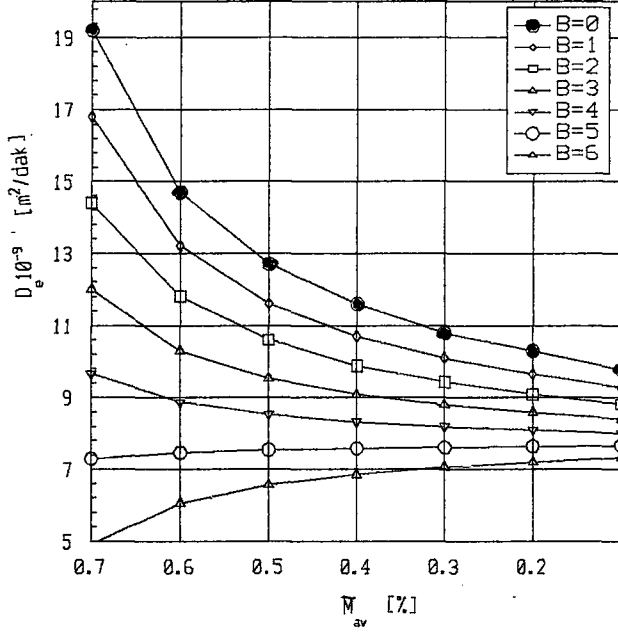
Ek Şekil 110. Fındıkta D_e - \bar{M}_{av} değişimi ($T=25^\circ C$, $\phi=0.60$, $u=0.2$ m/s).



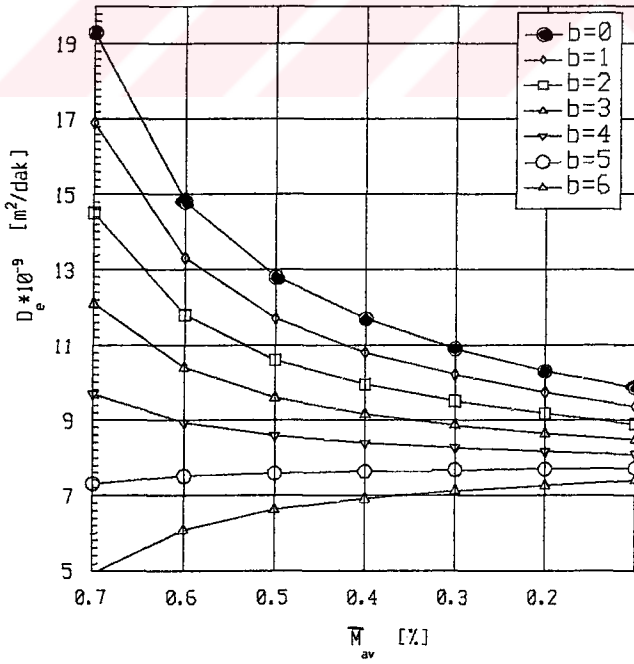
Ek Şekil 111. Fındıkta D_e - \bar{M}_{av} değişimi ($T=25^\circ\text{C}$, $\phi=0.60$, $u=0.3$ m/s).



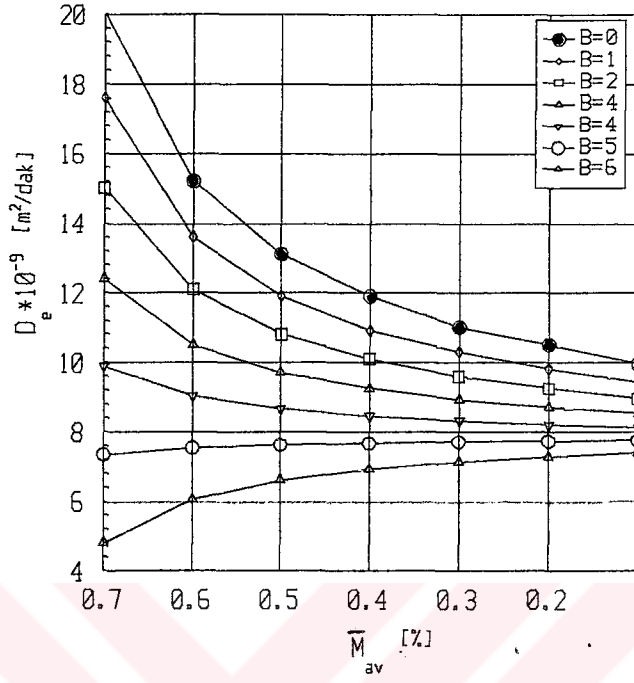
Ek Şekil 112. Fındıkta D_e - \bar{M}_{av} değişimi ($T=25^\circ\text{C}$, $\phi=0.60$, $u=0.6$ m/s).



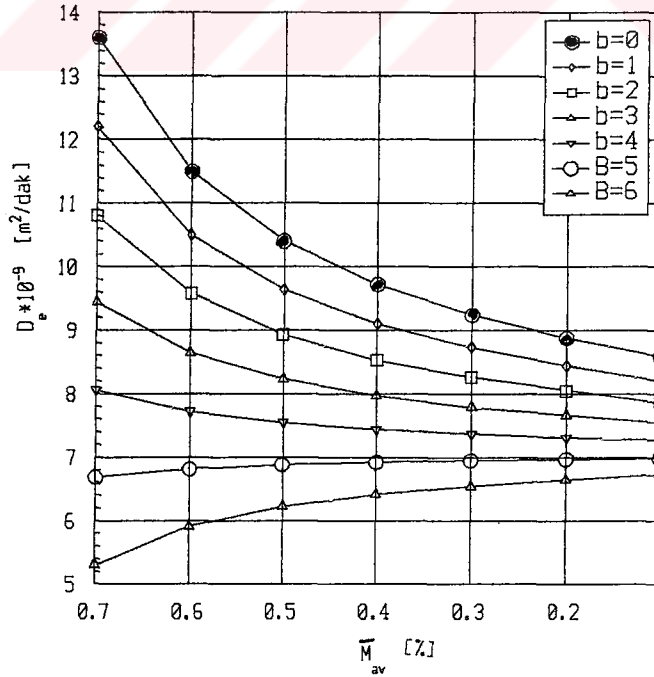
Ek Şekil 113. Fındıkta $D_e - \bar{M}_{av}$ değişimi ($T=40^\circ\text{C}$, $\phi=0.60$, $u=0.2$ m/s).



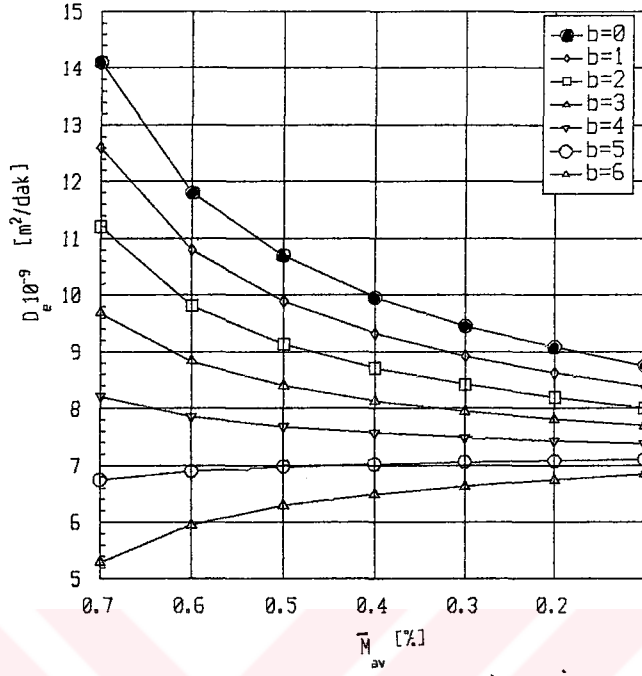
Ek Şekil 114. Fındıkta $D_e - \bar{M}_{av}$ değişimi ($T=40^\circ\text{C}$, $\phi=0.60$, $u=0.3$ m/s).



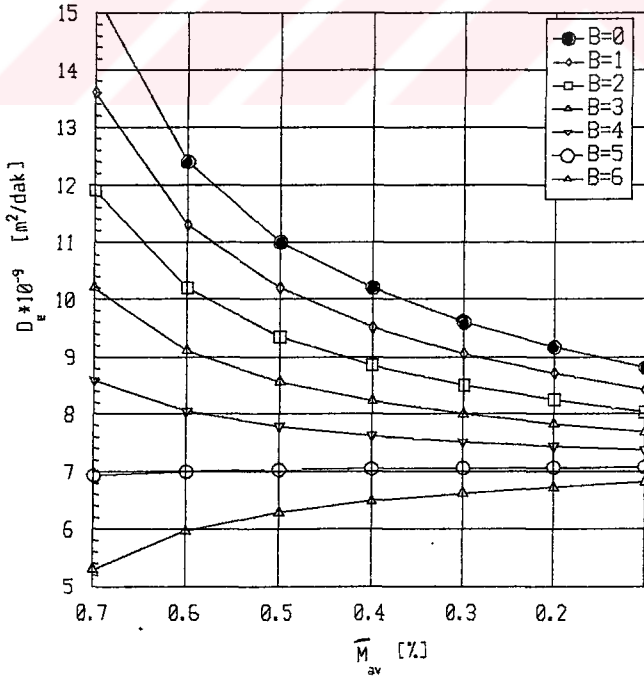
Ek Şekil 115. Fındıkta D_e - \bar{M}_{av} değişimi ($T=40^\circ\text{C}$, $\phi=0.60$, $u=0.6$ m/s).



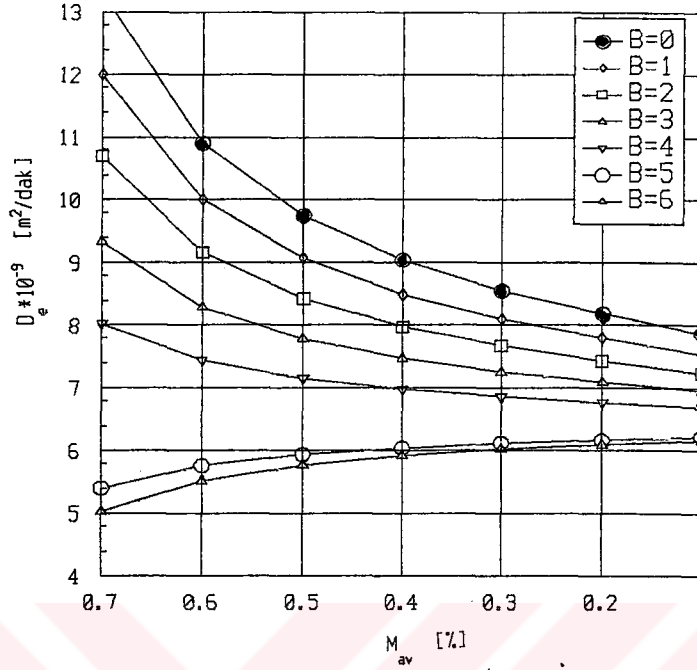
Ek Şekil 116. Fındıkta D_e - \bar{M}_{av} değişimi ($T=35^\circ\text{C}$, $\phi=0.60$, $u=0.2$ m/s).



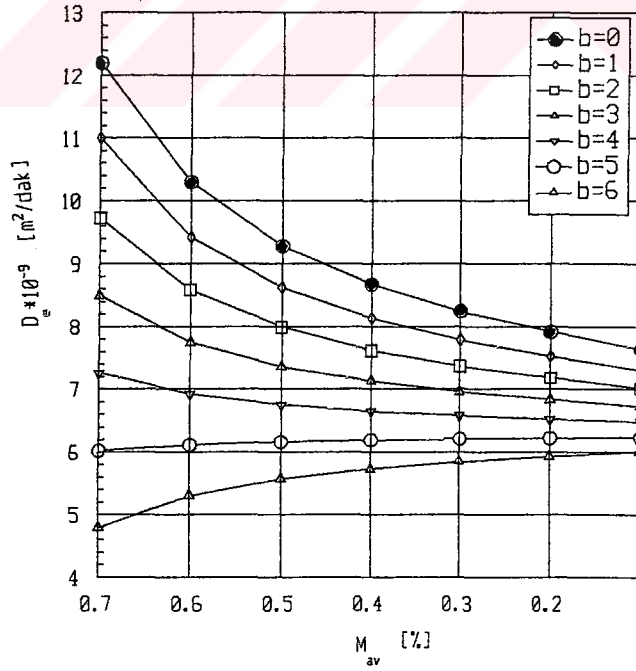
Ek Şekil 117. Fındıkta D_e - \bar{M}_{av} değişimi ($T=35^\circ\text{C}$, $\phi=0.60$, $u=0.3$ m/s).



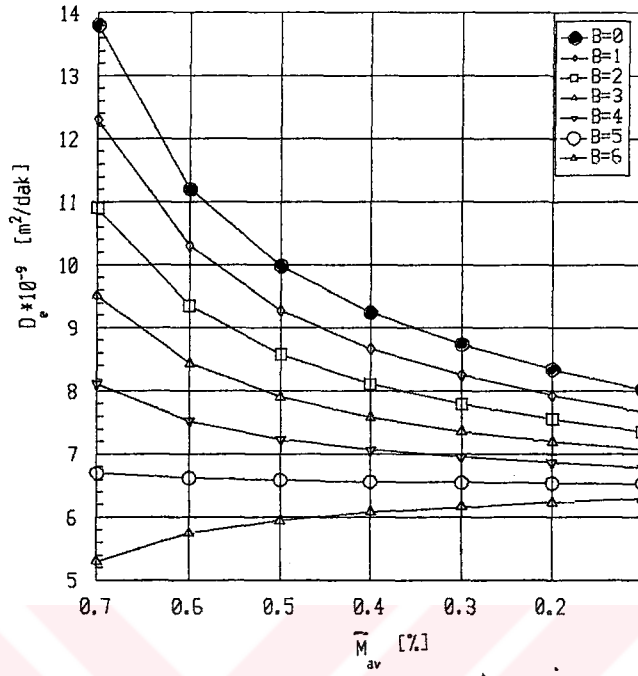
Ek Şekil 118. Fındıkta D_e - \bar{M}_{av} değişimi ($T=35^\circ\text{C}$, $\phi=0.60$, $u=0.6$ m/s).



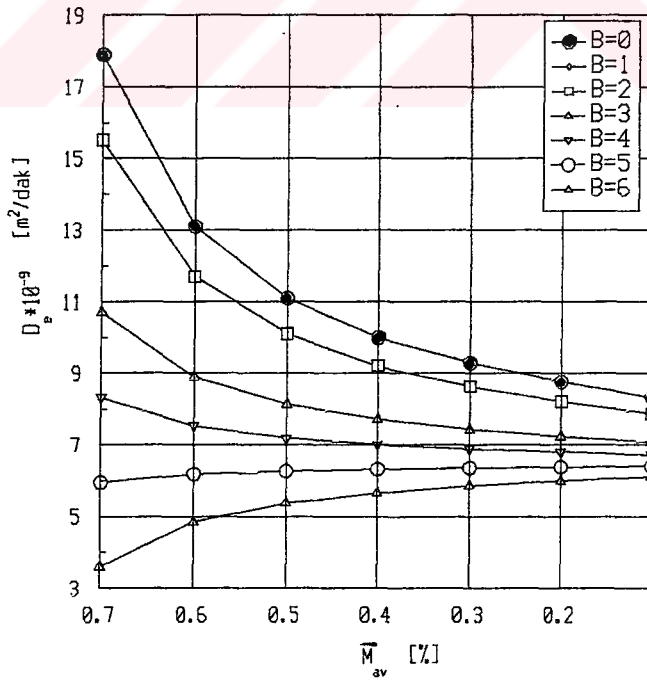
Ek Şekil 119. Fındıkta D_e - M_{av} değişimi ($T=30^\circ C$, $\phi=0.60$, $u=0.2$ m/s).



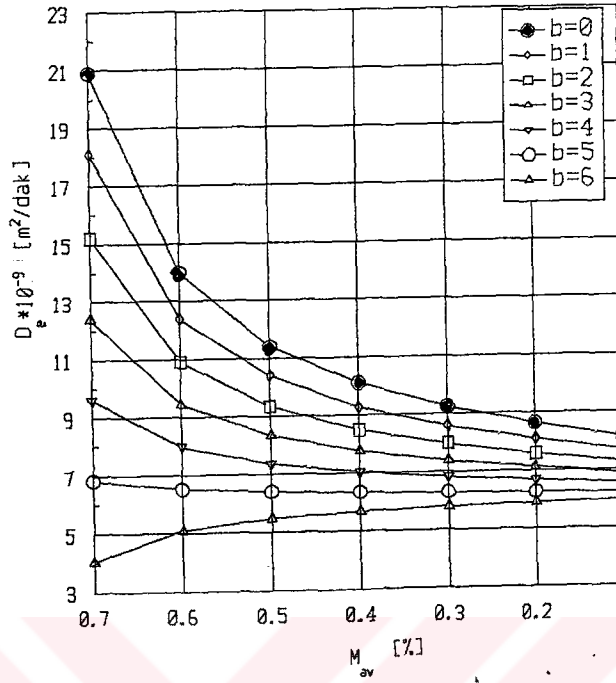
Ek Şekil 120. Fındıkta D_e - M_{av} değişimi ($T=30^\circ C$, $\phi=0.60$, $u=0.3$ m/s).



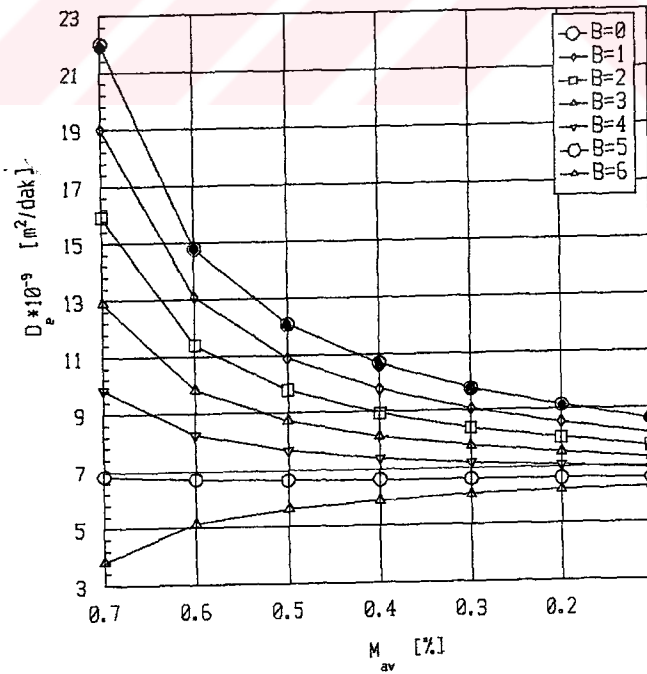
Ek Şekil 121. Fındıkta $D_e - \bar{M}_{av}$ değişimi ($T=30^\circ C$, $\phi=0.60$, $u=0.6$ m/s).



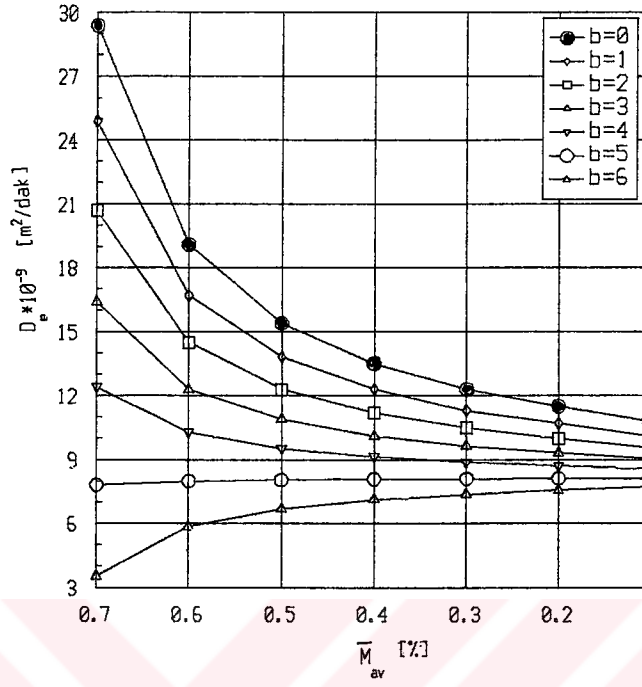
Ek Şekil 122. Fındıkta $D_e - \bar{M}_{av}$ değişimi ($T=33^\circ C$, $\phi=0.60$, $u=0.2$ m/s).



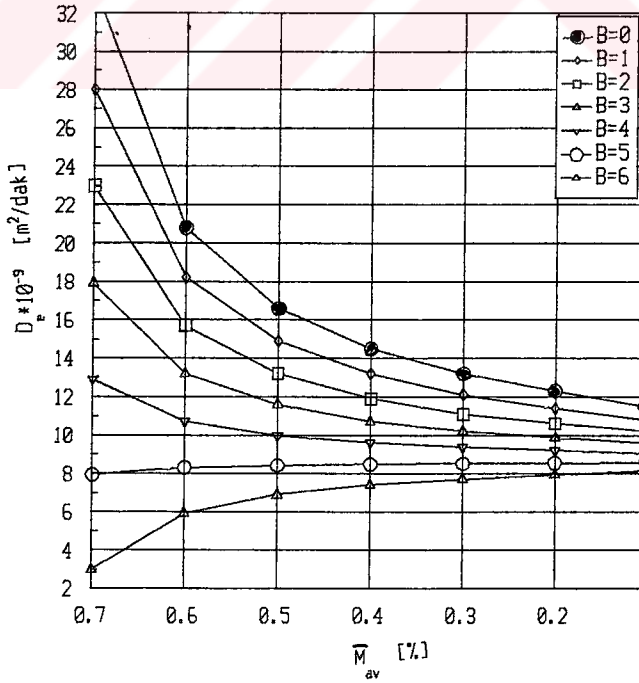
Ek Şekil 123. Fındıkta D_e - M_{av} değişimi ($T=33^\circ C$, $\phi=0.60$, $u=0.3$ m/s).



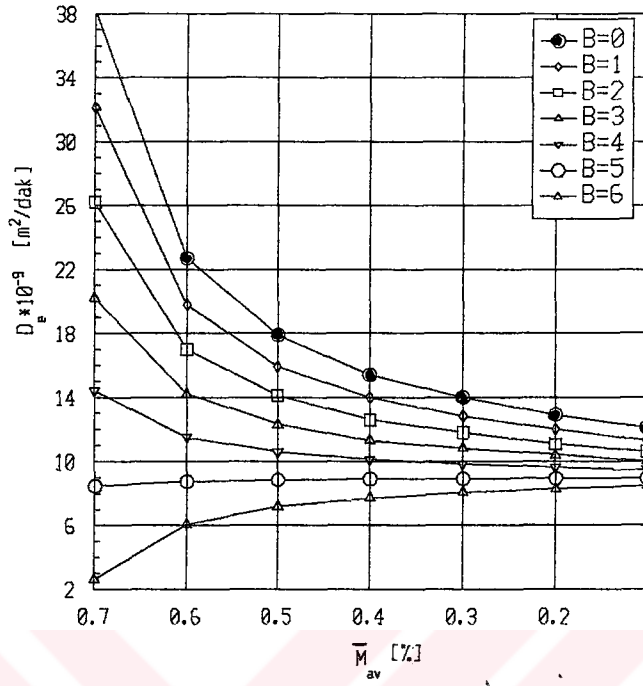
Ek Şekil 124. Fındıkta D_e - M_{av} değişimi ($T=33^\circ C$, $\phi=0.60$, $u=0.6$ m/s).



Ek Şekil 125. Fındıkta $D_e - \bar{M}_{av}$ değişimi ($T=45^\circ\text{C}$, $\phi=0.60$, $u=0.2$ m/s).



Ek Şekil 126. Fındıkta $D_e - \bar{M}_{av}$ değişimi ($T=45^\circ\text{C}$, $\phi=0.60$, $u=0.3$ m/s).



Ek Şekil 127. Fındıkta D_e - \bar{M}_{av} değişimi ($T=45^\circ\text{C}$, $\phi=0.60$, $u=0.6 \text{ m/s}$).

9. ÖZGEÇMİŞ

1959 yılında Trabzon'un Of ilçesinde doğdu. İlk, orta ve lise eğitimini burada tamamladı. 1980 yılında girdiği İ.T.Ü. Sakarya Mühendislik Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümü'nden 1985 yılında mezun oldu. 1989 yılında K.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Makina Anabilim Dalı'nda başladığı yüksek lisans eğitimini 1992 yılında tamamlayarak, aynı yıl doktora eğitimine başladı. Ocak 1992 yılından itibaren K.T.Ü. Makina Mühendisliği Bölümü Termodinamik Anabilim Dalı'nda araştırama görevlisi olarak çalışmaktadır.

İ.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMAN TASTOZ MÜHÜRÜ