



**İTFAİYE HORTUMUNUN
KURUTMA PARAMETRELERİ VE
UYGUN KURUTUCU SEÇİMİ**

Merve DAĞLI

Yüksek Lisans Tezi

**Makine Mühendisliği Anabilim Dalı
Danışman: Doç. Dr. Soner ÇELEN
2020**

T.C.
TEKİRDAĞ NAMIK KEMAL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**İTFAİYE HORTUMUNUN KURUTMA PARAMETRELERİ VE UYGUN
KURUTUCU SEÇİMİ**

Merve DAĞLI

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

DANIŞMAN: Doç. Dr. Soner ÇELEN

TEKİRDAĞ-2020

Her hakkı saklıdır.



Bu tezde görsel, işitsel ve yazılı biçimde sunulan tüm bilgi ve sonuçların akademik ve etik kurallara uyularak tarafımdan elde edildiğini, tez içinde yer alan ancak bu çalışmaya özgü olmayan tüm sonuç ve bilgileri tezde eksiksiz biçimde kaynak göstererek belirttiğimi beyan ederim.

Merve DAĞLI

İMZA

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

İTFAİYE HORTUMUNUN KURUTMA PARAMETRELERİ VE UYGUN KURUTUCU SEÇİMİ

Merve DAĞLI

Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Soner ÇELEN

İtfaiye istasyonlarında yangın söndürme, su çekme vb. gibi işlemlerde kullanılan yangına müdahale hortumlarının kurutulması için mevcut durumda doğal kurutma kullanılmaktadır. Kullanımlarından sonra itfaiye istasyonlarında temizliği ve bakımı yapılan yangına müdahale hortumlarının, uzun ömürlü olabilmesi için kurutulması gerekmektedir. Burada amaç, hortumların yıpranmasının geciktirilmesi ve içlerindeki suyun kurutulması, hortumların ağırlığını azaltmak ve bu sayede olay esnasında en hızlı kullanım sağlanması için belirlenmiş tekniklerden olan serme toplama yöntemlerine göre hortumların depolanabilmesidir. Mevcut durumda kurutma işlemi için kullanılan doğal kurutma özellikle hava şartlarından çabuk etkilendiği ve yavaş olduğu için alternatif yöntemlere ihtiyaç duyulmaktadır. Bu çalışma ile doğal kurutmaya alternatif kurutma yöntemleri incelenmiştir. Bu sayede enerjiden ve zamandan tasarruf ederek verimsiz çalışma saatlerinde de azalmaya gidilmesi hedeflenmiştir. Mikrodalga kurutucu ve bantlı tip tünel kurutucu kullanılarak 30, 60 ve 90 dakika boyunca su emmesi sağlanan yangına müdahale hortumlarına kurutma işlemi uygulanmıştır. Mikrodalga kurutucuda 120 W, 350 W ve 460 W güç değerlerinde, bantlı tip tünel kurutucuda ise 50 °C, 60 °C ve 70 °C sıcaklık değerlerinde deneyler gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre nem analizi, enerji tüketim analizi, termal ölçümler, mukavemet analizi, SEM görüntüleri değerlendirmesi, kuruma hızı hesaplaması, difüzyon katsayısı ve aktivasyon enerjisi hesaplamaları yapılmıştır. Ayrıca deney sonuçlarından elde edilen veriler ile Approximation of Diffusion, Verma et al., Two Term Exponential, Henderson & Pabis, Newton, Wang & Singh, Midilli et al., Copace, ve Logarithmic modeller kullanılarak matematiksel modellemeleri de yapılmıştır. Modelleme sonuçlarına göre bu çalışma için en uygun modelin Logaritmik olduğu anlaşılmıştır. En az enerji tüketimi ve en kısa sürede kurutma 460 W güç değerinde mikrodalga kurutucu ile yapılan deneyde görülmüştür. Deneylere ait tüm sonuçlar değerlendirildiğinde iki tip kurutmanın da mekanizmaları farklı olduğu için farklı kuruma süreleri ile farklı enerji tüketimleri gözlemlendiği ancak genel sonuç olarak mikrodalga kurutmanın bantlı tip kurutmaya göre daha verimli gerçekleştiği anlaşılmıştır.

Anahtar kelimeler: Yangın Hortumu, Mikrodalga Kurutucu, Bantlı Kurutucu, Modelleme, Difüzyon

2020, 159 Sayfa

ABSTRACT

MSc. Thesis

DRYING PARAMETERS OF THE FIRE HOSE AND SELECTION OF APPROPRIATE DRYER

Merve DAĞLI

Tekirdağ Namık Kemal University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Mechanical Engineering

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Soner ÇELEN

Natural drying is currently being used in order to dry for the fire hoses which are used for fire extinguishing, water drawing, etc. in fire stations. The fire intervention hoses, which are cleaned and maintained at the fire stations after using, needs to be stored by drying for a long life. The aim is to store the hoses according to the laying methods, which are among the techniques determined to delay the wear of the hoses and to dry the water inside them, to reduce the weight of the hoses and thus ensure the fastest use during the event. In the current situation, alternative methods are needed due to the fact that the natural drying is slow and effected easily from the weather conditions. With this study, alternative drying methods to natural drying were investigated. In this way, it is aimed to decrease energy and inefficient working hours by saving energy and time. Drying was applied to fire intervention hoses, which provided water absorption for 30, 60 and 90 minutes using a microwave dryer and band tunnel type dryer. Experiments were carried out at 120 W, 350 W and 460 W power values in microwave dryers and at 50 °C, 60 °C and 70 °C temperature in band type tunnel dryers. According to the results moisture analysis, energy consumption analysis, thermal measurements, strength analysis, SEM images are evaluated, additively drying rate calculation, diffusion coefficient and activation energy were also calculated. In addition, Approximation of Diffusion, Verma et al., Two Term Exponential, Henderson and Pabis, Newton, Wang & Singh, Midilli et al., Copace, and Logarithmic models were used to the modeling results, it was understood that the most suitable model for this study is Logarithmic. The least energy consumption and the shortest drying time was observed in an experiment with a 460 W power of microwave dryer. When all the results of the experiments are evaluated, it is understood that different drying times and different energy consumption are observed since the mechanisms of two types of drying are different, but in general, microwave drying is faster than band type drying.

Keywords: Fire Hose, Microwave Drying, Band Type Drying, Drying Models, Diffusion

2020, 159 Pages

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	i
ABSTRACT	ii
ÇİZELGE DİZİNİ.....	vi
ŞEKİL DİZİNİ.....	vii
SİMGELER ve KISALTMALAR.....	xi
TEŞEKKÜR.....	xii
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Tünel Kurutma.....	2
1.2. Mikrodalga Kurutma	3
1.3. İtfaiye Hortumları	5
1.3.1. Hortum Çeşitleri	6
1.3.2. Kurutma İşleminin İtfaiye İstasyonlarında Kullanılması	7
2. LİTERATÜR ÇALIŞMASI.....	10
3. MATERYAL ve YÖNTEM	18
3.1. Materyal.....	18
3.1.1. Yangına Müdahale Hortumu	18
3.1.2. Bantlı Tip Tünel Kurutucu	19
3.1.3. Mikrodalga Kurutucu	19
3.1.4. Termal Kamera	20
3.1.5. SEM Cihazı.....	21
3.1.6. Çekme Deneyi Cihazı.....	21
3.1.7. Etüv.....	22
3.1.8. Ölçüm Aletleri	22
3.1.8.1. Enerji Ölçüm Cihazı	22
3.1.8.2. Ağırlık Ölçüm Cihazı (Hassas Terazî).....	23
3.1.8.3. Sıcaklık Ölçüm Cihazları (Termometre)	23
3.2. Yöntem	24
3.2.1. Numunelerin Hazırlanması.....	24
3.2.2. Nem Değerinin Belirlenmesi	25
3.2.3. Su Banyosu	25
3.2.4. Bantlı Tip Tünel Kurutucu	26
3.2.5. Mikrodalga Kurutucu	26

3.2.6. Ağırlık Analizi.....	26
3.2.7. Enerji Analizi.....	26
3.2.8. Termal Analiz.....	27
3.2.9. SEM Analizi.....	27
3.2.10. Mukavemet Analizi.....	27
3.2.11. Difüzyon Katsayısı ve Aktivasyon Enerjisi.....	28
3.2.12. Kuruma Hızı.....	29
3.2.13. Matematiksel Modelleme.....	30
4. ARAŞTIRMA BULGULARI.....	32
4.1. Ağırlık (Nem Değişimi) Analizi.....	32
4.1.1. Mikrodalga Kurutma - Su Banyosunda 30 dakika.....	32
4.1.2. Mikrodalga Kurutucu - Su Banyosunda 60 dakika.....	37
4.1.3. Mikrodalga Kurutucu - Su Banyosunda 90 dakika.....	42
4.1.4. Bantlı Tip Tünel Kurutucu - Su Banyosunda 30 dakika.....	47
4.1.5. Bantlı Tip Tünel Kurutucu - Su Banyosunda 60 dakika.....	52
4.1.6. Bantlı Tip Tünel Kurutucu - Su Banyosunda 90 dakika.....	57
4.2. Enerji Tüketim Analizi.....	62
4.2.1. Mikrodalga Kurutucu Deneyleri İçin Enerji Tüketimi.....	62
4.2.2. Bantlı Tip Tünel Kurutucu Deneyleri İçin Enerji Tüketimi.....	64
4.3. Termal Analiz.....	67
4.3.1. Mikrodalga Kurutucu - Su Banyosunda 30 dakika.....	67
4.3.2. Mikrodalga Kurutucu - Su Banyosunda 60 dakika.....	72
4.3.3. Mikrodalga Kurutucu - Su Banyosunda 90 dakika.....	76
4.3.4. Bantlı Tip Tünel Kurutucu - Su Banyosunda 30 dakika.....	80
4.3.5. Bantlı Tip Tünel Kurutucu - Su Banyosunda 60 dakika.....	84
4.3.6. Bantlı Tip Tünel Kurutucu - Su Banyosunda 90 dakika.....	87
4.4. SEM Analizi.....	89
4.4.1. Mikrodalga Kurutucu - Su Banyosunda 30 dakika.....	90
4.4.2. Mikrodalga Kurutucu - Su Banyosunda 60 dakika.....	91
4.4.3. Mikrodalga Kurutucu - Su Banyosunda 90 dakika.....	93
4.4.4. Bantlı Tip Tünel Kurutucu - Su Banyosunda 30 dakika.....	94
4.4.5. Bantlı Tip Tünel Kurutucu - Su Banyosunda 60 dakika.....	95
4.4.6. Bantlı Tip Tünel Kurutucu - Su Banyosunda 90 dakika.....	97

4.5. Mukavemet Analizi	98
4.5.1. Mikrodalga Kurutucu Deneyleri İçin Mukavemet Analizi.....	98
4.5.2. Bantlı Tip Tünel Kurutucu Deneyleri İçin Mukavemet Analizi.....	104
4.6. Difüzyon Katsayısı ve Aktivasyon Enerjisi Analizi	110
4.6.1. Mikrodalga Kurutucu Deneyleri İçin Efektif Difüzyon Katsayısı	110
4.6.2. Mikrodalga Kurutucu - Aktivasyon Enerjisi	113
4.6.3. Bantlı Tip Tünel Kurutucu Deneyleri İçin Efektif Difüzyon Katsayısı	113
4.6.4. Bantlı Tip Tünel Kurutucu - Aktivasyon Enerjisi	115
4.7. Kuruma Hızı Analizi.....	116
4.7.1. Mikrodalga Kurutucu Deneyleri İçin Kuruma Hızı.....	116
4.7.2. Bantlı Tip Tünel Kurutucu Deneyleri İçin Kuruma Hızı	119
4.8. Matematiksel Modelleme	122
5. TARTIŞMA ve SONUÇ	135
KAYNAKLAR.....	140
ÖZGEÇMİŞ	147

ÇİZELGE DİZİNİ

Çizelge 3.1. Matematiksel Modeller ve Denklemleri.....	30
Çizelge 4.1. Mikrodalga Kurutucu 120 W – 30 dakika Su Banyosu.....	33
Çizelge 4.2. Mikrodalga Kurutucu 350 W – 30 dakika Su Banyosu.....	34
Çizelge 4.3. Mikrodalga Kurutucu 460 W – 30 dakika Su Banyosu.....	35
Çizelge 4.4. Mikrodalga Kurutucu 120 W – 60 dakika Su Banyosu.....	38
Çizelge 4.5. Mikrodalga Kurutucu 350 W – 60 dakika Su Banyosu.....	39
Çizelge 4.6. Mikrodalga Kurutucu 460 W – 60 dakika Su Banyosu.....	40
Çizelge 4.7. Mikrodalga Kurutucu 120 W – 90 dakika Su Banyosu.....	43
Çizelge 4.8. Mikrodalga Kurutucu 350 W – 90 dakika Su Banyosu.....	44
Çizelge 4.9. Mikrodalga Kurutucu 460 W – 90 dakika Su Banyosu.....	45
Çizelge 4.10. Bantlı Tip Tünel Kurutucu 50 °C – 30 dakika Su Banyosu.....	48
Çizelge 4.11. Bantlı Tip Tünel Kurutucu 60 °C – 30 dakika Su Banyosu.....	49
Çizelge 4.12. Bantlı Tip Tünel Kurutucu 70 °C – 30 dakika Su Banyosu.....	50
Çizelge 4.13. Bantlı Tip Tünel Kurutucu 50 °C – 60 dakika Su Banyosu.....	53
Çizelge 4.14. Bantlı Tip Tünel Kurutucu 60 °C – 60 dakika Su Banyosu.....	54
Çizelge 4.15. Bantlı Tip Tünel Kurutucu 70 °C – 60 dakika Su Banyosu.....	55
Çizelge 4.16. Bantlı Tip Tünel Kurutucu 50 °C – 90 dakika Su Banyosu.....	58
Çizelge 4.17. Bantlı Tip Tünel Kurutucu 60 °C – 90 dakika Su Banyosu.....	59
Çizelge 4.18. Bantlı Tip Tünel Kurutucu 70 °C – 90 dakika Su Banyosu.....	60
Çizelge 4.19. 30 Dakika Su Banyosu Sonrası Matematiksel Modelleme Sonuçları.....	123
Çizelge 4.20. 60 Dakika Su Banyosu Sonrası Matematiksel Modelleme Sonuçları.....	127
Çizelge 4.21. 90 Dakika Su Banyosu Sonrası Matematiksel Modelleme Sonuçları.....	131

ŞEKİL DİZİNİ

Şekil 1.1. Bantlı Tip Tünel Kurutucu	3
Şekil 1.2. Endüstriyel Tip Mikrodalga Kurutucu	4
Şekil 1.3. A Tipi (Ala) Hortum ve Uygulamaları.....	6
Şekil 1.4. B ve C Tipi Hortumlar.....	6
Şekil 1.5. D Tipi Hortumlar	7
Şekil 1.6. İtfaiye İstasyonunda Bulunan Hortum Kurutma Direği	7
Şekil 1.7. Askılı Kurutma Dolabı	9
Şekil 1.8. Sıcak Hava Dolabı	9
Şekil 3.1. Yangına Müdahale Hortumu	18
Şekil 3.2. Bantlı Tip Tünel Kurutucu	19
Şekil 3.3. Mikrodalga Kurutucu Şeması	20
Şekil 3.4. Termal Ölçüm Kamerası	20
Şekil 3.5. SEM Cihazı	21
Şekil 3.6. Universal Test Cihazı	22
Şekil 3.7. Etüv	22
Şekil 3.8. Dijital Elektrik Sayacı	23
Şekil 3.9. Hassas Terazı	23
Şekil 3.10. Mikrodalga İle Kurutma İşlemi Esnasında Kullanılan Nemölçer	24
Şekil 3.11. Tünel Tipi Kurutucu İle Kullanılan Termometreler	24
Şekil 3.12. Çekme Deneyine Tabi Tutulacak Numune Ölçüleri	28
Şekil 4.1. 30 Dakika Su Banyosu - Mikrodalga Güç Değişimi Grafiği	36
Şekil 4.2. 60 Dakika Su Banyosu - Mikrodalga Güç Değişimi Grafiği	41
Şekil 4.3. 90 Dakika Su Banyosu - Mikrodalga Güç Değişimi Grafiği	46
Şekil 4.4. 30 Dakika Su Banyosu - Bantlı Tip Tünel Kurutucu Güç Değişimi Grafiği	51
Şekil 4.5. 60 Dakika Su Banyosu - Bantlı Tip Tünel Kurutucu Güç Değişimi Grafiği	56
Şekil 4.6. 90 Dakika Su Banyosu - Bantlı Tip Tünel Kurutucu Güç Değişimi Grafiği	61
Şekil 4.7. Mikrodalga Kurutucu - 30 Dakika Su Banyosu	62
Şekil 4.8. Mikrodalga Kurutucu - 60 Dakika Su Banyosu	63
Şekil 4.9. Mikrodalga Kurutucu - 90 Dakika Su Banyosu	64
Şekil 4.10. Bantlı Tip Tünel Kurutucu - 30 Dakika Su Banyosu	65
Şekil 4.11. Bantlı Tip Tünel Kurutucu - 60 Dakika Su Banyosu	66
Şekil 4.12. Bantlı Tip Tünel Kurutucu - 90 Dakika Su Banyosu	67
Şekil 4.13. Mikrodalga Kurutucu 120 W - 30 Dakika Su Banyosu	69

Şekil 4.14. Mikrodalga Kurutucu 350 W - 30 Dakika Su Banyosu	70
Şekil 4.15. Mikrodalga Kurutucu 460 W - 30 Dakika Su Banyosu	71
Şekil 4.16. Mikrodalga Kurutucu 120 W - 60 Dakika Su Banyosu	73
Şekil 4.17. Mikrodalga Kurutucu 350 W - 60 Dakika Su Banyosu	74
Şekil 4.18. Mikrodalga Kurutucu 460 W - 60 Dakika Su Banyosu	75
Şekil 4.19. Mikrodalga Kurutucu 120 W - 90 Dakika Su Banyosu	77
Şekil 4.20. Mikrodalga Kurutucu 350 W - 90 Dakika Su Banyosu	78
Şekil 4.21. Mikrodalga Kurutucu 460 W - 90 Dakika Su Banyosu	79
Şekil 4.22. Bantlı Tip Tünel Kurutucu 50 °C - 30 Dakika Su Banyosu	81
Şekil 4.23. Bantlı Tip Tünel Kurutucu 60 °C - 30 Dakika Su Banyosu	82
Şekil 4.24. Bantlı Tip Tünel Kurutucu 70 °C - 30 Dakika Su Banyosu	83
Şekil 4.25. Bantlı Tip Tünel Kurutucu 50 °C - 60 Dakika Su Banyosu	85
Şekil 4.26. Bantlı Tip Tünel Kurutucu 60 °C - 60 Dakika Su Banyosu	86
Şekil 4.27. Bantlı Tip Tünel Kurutucu 70 °C - 60 Dakika Su Banyosu	86
Şekil 4.28. Bantlı Tip Tünel Kurutucu 50 °C - 90 Dakika Su Banyosu	88
Şekil 4.29. Bantlı Tip Tünel Kurutucu 60 °C - 90 Dakika Su Banyosu	88
Şekil 4.30. Bantlı Tip Tünel Kurutucu 70 °C - 90 Dakika Su Banyosu	89
Şekil 4.31. İşlem Görmemiş Hortum Numunesi SEM Görüntüleri (Dış Kısım)	89
Şekil 4.32. İşlem Görmemiş Hortum Numunesi SEM Görüntüleri (İç Kısım)	90
Şekil 4.33. Mikrodalga Kurutucu 120 W - 30 Dakika Su Banyosu (Dış Kısım – İç Kısım)	91
Şekil 4.34. Mikrodalga Kurutucu 350 W - 30 Dakika Su Banyosu (Dış Kısım – İç Kısım)	91
Şekil 4.35. Mikrodalga Kurutucu 460 W - 30 Dakika Su Banyosu (Dış Kısım – İç Kısım)	91
Şekil 4.36. Mikrodalga Kurutucu 120 W - 60 Dakika Su Banyosu (Dış Kısım – İç Kısım)	92
Şekil 4.37. Mikrodalga Kurutucu 350 W - 60 Dakika Su Banyosu (Dış Kısım – İç Kısım)	92
Şekil 4.38. Mikrodalga Kurutucu 460 W - 60 Dakika Su Banyosu (Dış Kısım – İç Kısım)	93
Şekil 4.39. Mikrodalga Kurutucu 120 W - 90 Dakika Su Banyosu (Dış Kısım – İç Kısım)	93
Şekil 4.40. Mikrodalga Kurutucu 350 W - 90 Dakika Su Banyosu (Dış Kısım – İç Kısım)	94
Şekil 4.41. Mikrodalga Kurutucu 460 W - 90 Dakika Su Banyosu (Dış Kısım – İç Kısım)	94
Şekil 4.42. Bantlı Tip Tünel Kurutucu 50 °C - 30 Dakika Su Banyosu (Dış Kısım – İç Kısım)	95
Şekil 4.43. Bantlı Tip Tünel Kurutucu 60 °C - 30 Dakika Su Banyosu (Dış Kısım – İç Kısım)	95
Şekil 4.44. Bantlı Tip Tünel Kurutucu 70 °C - 30 Dakika Su Banyosu (Dış Kısım–İç Kısım).....	95
Şekil 4.45. Bantlı Tip Tünel Kurutucu 50 °C - 60 Dakika Su Banyosu (Dış Kısım – İç Kısım)	96

Şekil 4.46. Bantlı Tip Tünel Kurutucu 60 °C - 60 Dakika Su Banyosu (Dış Kısım – İç Kısım)	96
Şekil 4.47. Bantlı Tip Tünel Kurutucu 70 °C - 60 Dakika Su Banyosu (Dış Kısım – İç Kısım)	97
Şekil 4.48. Bantlı Tip Tünel Kurutucu 50 °C - 90 Dakika Su Banyosu (Dış Kısım – İç Kısım)	97
Şekil 4.49. Bantlı Tip Tünel Kurutucu 60 °C - 90 Dakika Su Banyosu (Dış Kısım – İç Kısım)	98
Şekil 4.50. Bantlı Tip Tünel Kurutucu 70 °C - 90 Dakika Su Banyosu (Dış Kısım – İç Kısım)	98
Şekil 4.51. Mikrodalga Kurutucu 30 Dakika Su Banyosu Çekme Kuvveti Grafiği	100
Şekil 4.52. Mikrodalga Kurutucu 30 Dakika Su Banyosu Uzama Grafiği	100
Şekil 4.53. Mikrodalga Kurutucu 60 Dakika Su Banyosu Çekme Kuvveti Grafiği	101
Şekil 4.54. Mikrodalga Kurutucu 60 Dakika Su Banyosu Uzama Grafiği	102
Şekil 4.55. Mikrodalga Kurutucu 90 Dakika Su Banyosu Çekme Kuvveti Grafiği	103
Şekil 4.56. Mikrodalga Kurutucu 90 Dakika Su Banyosu Uzama Grafiği	104
Şekil 4.57. Bantlı Tip Tünel Kurutucu 30 Dakika Su Banyosu Çekme Kuvveti Grafiği	105
Şekil 4.58. Bantlı Tip Tünel Kurutucu 30 Dakika Su Banyosu Uzama Grafiği	106
Şekil 4.59. Bantlı Tip Tünel Kurutucu 60 Dakika Su Banyosu Çekme Kuvveti Grafiği	107
Şekil 4.60. Bantlı Tip Tünel Kurutucu 60 Dakika Su Banyosu Uzama Grafiği	108
Şekil 4.61. Bantlı Tip Tünel Kurutucu 90 Dakika Su Banyosu Çekme Kuvveti Grafiği	109
Şekil 4.62. Bantlı Tip Tünel Kurutucu 90 Dakika Su Banyosu Uzama Grafiği	110
Şekil 4.63. Mikrodalga Kurutucu 30 Dakika Su Banyosu Difüzyon Katsayısı Grafiği	111
Şekil 4.64. Mikrodalga Kurutucu 60 Dakika Su Banyosu Difüzyon Katsayısı Grafiği	112
Şekil 4.65. Mikrodalga Kurutucu 90 Dakika Su Banyosu Difüzyon Katsayısı Grafiği	112
Şekil 4.66. Mikrodalga Kurutucu Aktivasyon Enerjisi Grafiği	113
Şekil 4.67. Bantlı Tip Tünel Kurutucu 30 Dakika Su Banyosu Difüzyon Katsayısı Grafiği	114
Şekil 4.68. Bantlı Tip Tünel Kurutucu 60 Dakika Su Banyosu Difüzyon Katsayısı Grafiği	115
Şekil 4.69. Bantlı Tip Tünel Kurutucu 90 Dakika Su Banyosu Difüzyon Katsayısı Grafiği	115
Şekil 4.70. Bantlı Tip Tünel Kurutucu Aktivasyon Enerjisi Grafiği	116
Şekil 4.71. Mikrodalga Kurutucu - 30 Dakika Su Banyosu Kuruma Hızı Grafiği	117
Şekil 4.72. Mikrodalga Kurutucu - 60 Dakika Su Banyosu Kuruma Hızı Grafiği	118
Şekil 4.73. Mikrodalga Kurutucu - 90 Dakika Su Banyosu Kuruma Hızı Grafiği	119
Şekil 4.74. Bantlı Tip Tünel Kurutucu - 30 Dakika Su Banyosu Kuruma Hızı Grafiği	120
Şekil 4.75. Bantlı Tip Tünel Kurutucu - 60 Dakika Su Banyosu Kuruma Hızı Grafiği	121
Şekil 4.76. Bantlı Tip Tünel Kurutucu - 90 Dakika Su Banyosu Kuruma Hızı Grafiği	122

Şekil 4.77. 30 Dakika Su Banyosu – Mikrodalga Kurutucuya ait Logarithmic Model Grafiği.....	126
Şekil 4.78. 30 Dakika Su Banyosu – Bantlı Tip Tünel Kurutucuya ait Logarithmic Model Grafiği.....	126
Şekil 4.79. 60 Dakika Su Banyosu – Mikrodalga Kurutucuya ait Logarithmic Model Grafiği.....	130
Şekil 4.80. 60 Dakika Su Banyosu – Bantlı Tip Tünel Kurutucuya ait Logarithmic Model Grafiği.....	130
Şekil 4.81. 90 Dakika Su Banyosu – Mikrodalga Kurutucuya ait Logarithmic Model Grafiği.....	134
Şekil 4.82. 90 Dakika Su Banyosu – Bantlı Tip Tünel Kurutucuya ait Logarithmic Model Grafiği.....	134



SİMGELER ve KISALTMALAR

A	: Numunenin Kesit Alanı (metrekare)
ASTM	: Amerikan Test ve Materyalleri Topluluğu
D_{eff}	: Efektif Difüzyon Katsayısı (m^2/s)
DIN	: Alman Standartlar Enstitüsü
D_0	: Sonsuz Sıcaklıkta Difüzyon Sabiti
D_R	: Kuruma Hızı ($g_{su}/g_{kurumadde} \cdot dak$)
E_a	: Aktivasyon Enerjisi (kJ/mol)
e_s	: Standart Sapma Değeri
F	: Çekme Kuvveti (Newton)
ISO	: Uluslararası Standartlar Örgütü
L	: Numune Yarı Kalınlığı (metre)
m_e	: Denge Nem İçeriği ($g_{su}/g_{kurumadde}$)
m_k	: Kuru Baza Göre Nem İçeriği ($g_{su}/g_{kurumadde}$)
M_k	: Ürünün Kuru Kütlesi (gram)
m_o	: İlk Nem İçeriğini ($g_{su}/g_{kurumadde}$)
m_R	: Boyutsuz Nem Oranı
m_y	: Yaş Baza Göre Nem İçeriği ($g_{su}/g_{yaşmadde}$)
M_y	: Ürünün Yaş Kütlesi (gram)
m_t	: t Anında Nem İçeriği ($g_{su}/g_{kurumadde}$)
$m_{t+\Delta t}$: Δt Anında Kuru Baza Göre Nem Miktarı ($g_{su}/g_{kurumadde}$)
n	: Üs Değerleri
n_c	: Kurutma Modelindeki Sabitlerin Sayısı
n_o	: Gözlem Sayısı
P	: Mikrodalga Gücü (Watt)
r	: Korelasyon Katsayısı
R	: Gaz Sabiti
t	: Kurutma Süresi (dakika)
T	: Kurutma Sıcaklığı (santigrat derece)
σ	: Çekme Gerilmesi (Pascal)
χ^2	: Ki-Kare Değeri

TEŞEKKÜR

Çalıőmam süresince başta ailem, arkadaşlarım ve değerli danıőmanım Doç. Dr. Soner ÇELEN olmak üzere Tekirdağ Büyükşehir Belediyesi İtfaiye Dairesi Baőkanı Sayın Cengiz ÇELİK' e ve İtfaiye Dairesi Başkanlığı bünyesindeki iç arkadaşlarıma bilgilerini daima benimle paylaőtıkları için, ayrıca Kuleli Hortum ve Yangın Ürünleri San. Tic. Ltd. Őti. yetkililerine ve pes ettiğim her anda yeniden baőlamayı usanmadan bana anlatan, gücüm her tükendiğinde ayağa kalkmama sebep olacak iőıęı daima bana gösteren Kimya Yüksek Mühendisi Sayın Göksel TOSUN' a kalpten teşekkür ederim.

Ağustos 2020

Merve DAğLI

Makine Mühendisi

1. GİRİŞ

Kurutma, ürünün içinde bulunan nemin bir sınır değerine kadar buharlaştırılarak uzaklaştırılması işlemidir (Karaaslan ve Tunçer, 2009).

Kurutma işlemi geçmişten bugüne kullanılan ürün işleme tekniklerindedir. Doğal kurutma (gölgede veya güneş altında) ile sıcak havalı kurutucular kullanılarak oluşturulan kurutma yöntemleri düşük maliyetleri nedeniyle günümüzde en yaygın kullanılan yöntemlerdir. Kurutma işleminin tercih edilmesinin sebebi, ürünün dayanıklılığının artması ve uzaklaştırılan nem sebebiyle ürünlerin ağırlığının azalmasıdır. Gıda maddeleri gibi kısa tüketim ömrüne sahip maddelere kurutma işlemi uygulanarak, uzun süre kullanılabilmesi ve dayanıklılığını koruması sağlanır (Eren, Soysal, Öztekin ve Doğantan, 2005).

Doğal koşullarda gölgede veya güneş altına sererek kurutma ile pazarın talep ettiği yüksek kalite standartlarına ulaşmak ve büyük miktarlardaki ürünü işlemek olanaklı değildir (Soysal ve Öztekin, 2001). Bu nedenle pazara dönük kurutma işleminde kesikli kurutma yapan raflı kurutucular ve sürekli kurutma yapan bantlı kurutuculara olan talep giderek artmaktadır. (Eren vd., 2005).

Katı bir ürünün kuruma işlemi sırasında iki süreç oluşmaktadır. Bu iki durum ise, sıvının uzaklaştırılması için ısının kurutulmuş maddeye aktarılması ve sıvı - buhar transferi olarak gerçekleşen nem aktarım sürecidir. Kurutma işleminde kullanılacak ısı transferi, ısı iletimi, ısı taşınımı ve radyasyon yöntemleri ile sağlanabilir. Bu yöntemler:

- Isı İletimi (Kondüksiyon): Kurutma işlemine tabii tutulacak ürün, ısı kaynağına temas ettirilir ve sıcaklık farkından dolayı istenen ısı transferi gerçekleştirilmiş olur. Bu sayede nem buharlaştırılarak üründen uzaklaştırılır.
- Isı Taşınımı (Konveksiyon): Bir ısı kaynağı tarafından üretilen ısı, hava yardımı ile kurutulacak olan ürüne taşınır. Yüzeyde bulunan sıvı-buhar karışımı ısınan hava yardımı ile uzaklaştırılır ve kuruma gerçekleşir.
- Radyasyon (Işınım): Kurutulacak ürünün nemi, ışın kaynağından yayılan ısı ile üründen uzaklaştırılır (Nasıroğlu, 2007).

Kurutma işleminin uygulama alanları ise oldukça çeşitlidir. Çeşitli kurutucular tasarlanarak farklı yöntemler yardımı ile kurutma işlemi gerçekleştirilebilir. Bazı kurutucu çeşitleri; Tünel kurutucular, mikrodalga kurutucular, morötesi ışın kurutucuları, kızılötesi (infrared) radyant kurutucular, dondurarak kurutma gerçekleştiren kurutucular, vakumlu kurutucular, kızgın buharlı kurutucular, ısı pompalı kurutucular, dielektrik kurutma yapan kurutucular ve püskürtmeli kurutucular olarak örneklendirilebilir (Özsoy, 2015).

Vakum kurutma kâğıt sanayiinde, radyant kurutma tekstil sanayiinde, dondurarak kurutma farmakolojik ürünler, serumlar, bakteri kültürleri, meyve suları, sebze, kahve ve çay gibi gıda ürünlerinde, mikrodalga kurutma tekstil ürünlerinde, tünel tipi kurutucular atık su çamurlarında kullanılmaktadır (Ekici, 2019).

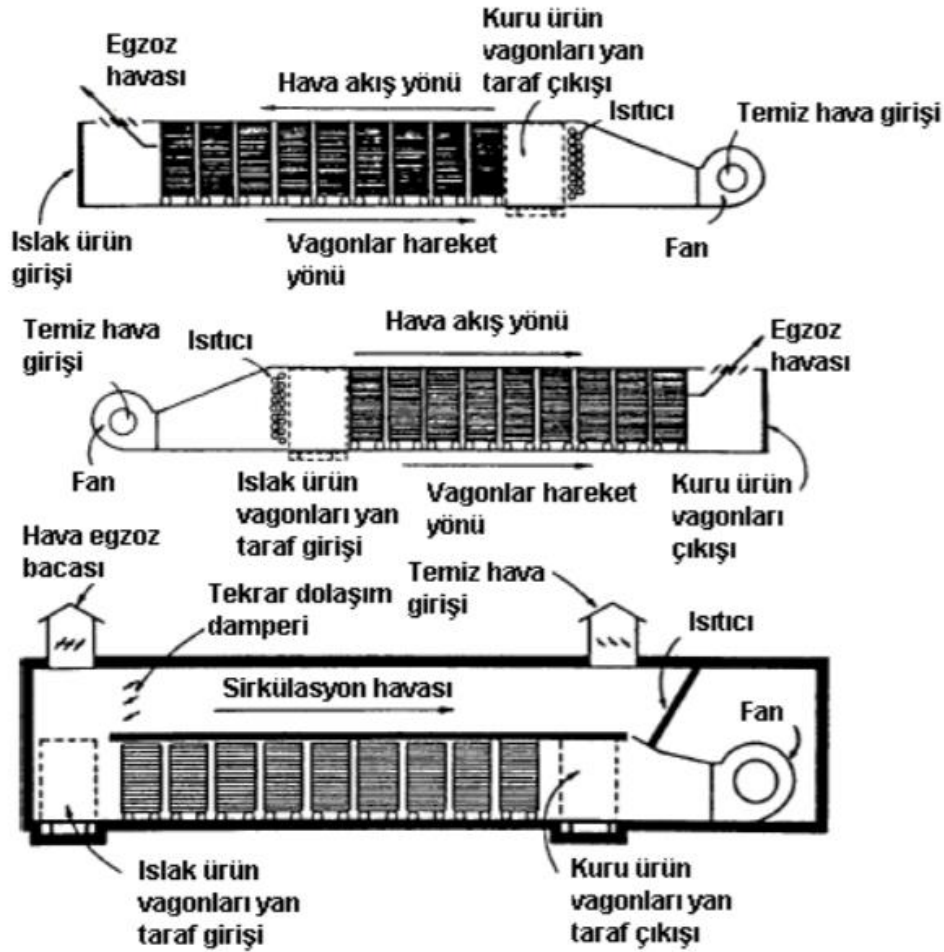
1.1. Tünel Kurutma

Tünel tipi kurutucular çok çeşitli olmakla beraber bu çalışmada bantlı tip kurutma sistemi incelenmiştir. Tünel tipi kurutucularda, komple kapalı ya da kısmen açık bir çatı ile tamamen üzeri örtülmüş bir alan bulunmaktadır. Kurutulacak ürün tünel kısmında kuruma işlemine tabii tutulmaktadır. Kuruma işlemi fan yardımı ile sıcak hava gönderilerek, güneş enerjisi ile veya mikrodalga enerjisi ile gerçekleştirilebilmektedir. (Çelen ve Karataşer, 2019).

Bantlı Tip Tünel Kurutucularda numune tünel içinde hareket halinde olan bantlar üzerine yerleştirilir. Numune bant veya bantlar üzerinde hareket halindeyken sıcak hava ile temas halindedir. Bu sistemde gerekli görüldüğü takdirde kurutucunun içine birden fazla sistem yerleştirilebilir. Örneğin sıcak hava tünel içerisindeki bant üzerinden geçirildikten sonra, başka bir ısıtıcıda ısıtılıp tekrar aynı kısımdaki banta gönderilebilir. Belirli periyotlarda malzeme banttan çıkabilir veya bantlar sayıca artırılıp devamlılık sağlanabilir. Tünel kurutucular genellikle miktarları büyük olan, fakat yavaş yavaş kurumaları gereken yapı malzemeleri, bazı gıda maddeleri ve diğer bazı malzemeler için de kullanılabilir (Güngör, 2013).

Bantlı Tip Tünel Kurutucunun (Şekil 1.1.) çalışma mekanizması önceden belirlenmiş olan ve kurutma işlemine tabii tutulacak ürüne uygun olan kurutma havası sıcaklığı, havanın debisi ve ürüne ait nem alma süresine göre kurutma işlemi periyotlar halinde belirlenmektedir. Numuneler hareketli bant üzerindeki yaş ürün kurutma işlemi boyunca sabit sıcaklıkta tutulan sıcak hava ile temas halindedir ve nemi bu şekilde azaltılmaktadır.

Makinenin üst kısmına ilave edilen bir fan yardımı ile çıkan nemli hava emilerek dışarıya atılmaktadır (Mengeş, Ertekin ve Aydın, 2005).

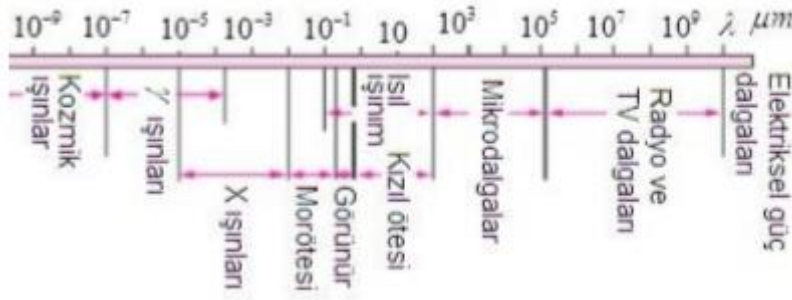


Şekil 1.1. Bantlı Tip Tünel Kurutucu (Güngör, 2013)

1.2. Mikrodalga Kurutma

Mikrodalgalar, elektrik alandaki elektronların titreşmesi sonucu oluşan yüksek frekanslı dalgalardır. Mikrodalga kurutma elektromanyetik ışınla gerçekleşmektedir. Mikrodalga ışınla bir manyetik alan ile bir elektrik alandan oluşmaktadır. Örneğin mikrodalga fırınlar, suyun en fazla emebildiği enerji frekansı olan 2,45 GHz frekansta çalışır. Mikrodalga fırının içinde kurutulan ürünün molekülleri enerji emilimi ile kısa süre içinde milyarlarca defa titreşir ve ürün kinetik enerji ile ısınır (Gümüşderelioğlu ve Kaynak, 2012). Mikrodalga ile kurutma işleminin tercih edilmesi ise daha az enerji harcanarak daha kaliteli son ürün elde edilmesi içindir. Elektromanyetik dalgalar hızlanan elektrik yüklerince oluşturulurlar.

Mikrodalgalar yayılma doğrultusuna dik olan ve titreşen elektrik alanlardan ve manyetik alanlardan meydana gelirler (Çalışkan 2002). Sabit akımlar ve sabit elektrik yükleri elektrik alanında değişim oluşturamayacağından akımın zamanla değiştirilmesi gerekir. Elektromanyetik dalgalar frekans aralıkları ve dalga boylarına göre farklı şekilde isimlendirilmiştir. Şekil 1.2. de, mikrodalgaların da için de bulunduğu elektromanyetik spektrum görülmektedir.



Şekil 1.2. Elektromanyetik Spektrum (Özsoy, 2015)

Elektromanyetik spektrum içinde özelliklerine göre birbirinden ayrılan çeşitli ışınlar yer almaktadır. Mikrodalgalar, elektromanyetik spektrumda Şekil 1.2. de de görüldüğü gibi görünür ışık ile radyo dalgaları arasında bulunmaktadır. Dalga boyları 1 mm–1 m ve frekansları 300 MHz - 300 GHz arasında değişmekte olan dalgalar, mikrodalga adını almaktadır (Decareau 1985).

Mikrodalga ile ısıtma işleminin sağlanması, mikrodalgaların enerjisinin kurutulacak olan ürün tarafından emilmesi sonucu sıcaklığının artması olarak açıklanabilir. Mikrodalga ile ısı üretimini açıklayan mekanizmalar iyonik polarizasyon ve dipol dönmesidir (Özsoy, 2015).

Normal koşullarda rastgele dağılmış olan artı ve eksi yükler, elektrik alanında dizilirler. Elektromanyetik dalga ise bir molekülün yanından geçerken, salınımlı bir elektrik alanının etkisinde kalır. Elektromanyetik dalganın elektrik alanı, polar moleküldeki atomların arasında bulunan bağ uzunluğu boyunca salınım gerçekleştirirse, atomlar itilme ve çekilme eğilimi gösterir. Bu durumda titreşim ortaya çıkar. Bu esnada, sürekli değişen elektrik alanının polaritesine uyum sağlamak için dönen polar moleküllerin sürtünmelerinden dolayı ısı enerjisi ortaya çıkmaktadır, bu durum dipol dönmesi olarak açıklanmaktadır (Baysal, 1994).

İyonik polarizasyon ise, polar olmayan maddeler ile mikrodalgaların ısı enerjisi oluşturmasıdır. Bir çözeltilde elektrik alanı oluşturulduğunda, bu çözelti içerisinde bulunan iyonlar artı ve eksi yükleri sebebiyle oluşan dış kuvvetler sonucu hızlanarak hareket ederler. Hareket eden bu iyonlar arasında oluşan çarpışmalar ise kinetik enerjinin ısı enerjisine dönüşmesine neden olur (Özsoy, 2015).

Mikrodalga hacimsel olarak ısı enerjisi oluşturan dielektrik ısıtma tekniklerindedir. Hacimsel ısıtma ile ısıнын ürünün içinde meydana gelmesi, mikrodalgaların kurutulacak olan ürünlerdeki penetrasyonunun çok olmasından ve su molekülleri tarafından emilmesinden dolayı oluşmaktadır. Bu sayede, ürünler diğer birçok yöntem nazaran daha kısa sürede istenilen sıcaklık düzeyine ulaşmaktadır (Ramesh ve ark., 2002). Böylece, mikrodalga tekniği ile daha hızlı ısınma daha düşük enerji tüketimiyle sağlanmaktadır. Ayrıca mikrodalga kurutucu ekipmanlarının az yer kaplaması ve ambalajlı ürünlere uygulanabilir olması sebebiyle geleneksel yöntemlere alternatif olarak günümüzde sıklıkla kullanılmaktadır (Başkaya Sezer ve Demirdöven, 2015).

Mikrodalga ile kurutma işleminin kullanıldığı birçok alan bulunmaktadır. Elektromanyetik dalgalardan olan mikrodalgaların suyu ısıtma etkisinin fark edilmesiyle kurutma konusunda etkinlikleri ve kullanım alanları araştırılmaya başlanmıştır. Günümüzde özellikle gelişen teknoloji ile birlikte, sanayide birçok uygulamada, tekstil, gıda sektörü, kimya, biyomedikal ve metalürji alanlarında elektromanyetik dalgalar kullanılmaktadır. (Çelen ve ark., 2015).

1.3. İtfaiye Hortumları

İtfaiye istasyonlarında başta yangınlara müdahale olmak üzere su çekme, su verme vb. gibi birçok işlemlerde hortumlar kullanılmaktadır. Hortumlar kullanıldığı işleme göre farklı tiplerde üretilmektedir (İzmir Büyükşehir Belediyesi İtfaiye Dairesi Başkanlığı [İzmir İTDB], 2015).

Yangına müdahale işleminde hortumlar, itfaiye araçlarından veya hidrantlardan çıkan basınçlı suyu yangın yerine taşımayı sağlayarak yangının söndürülmesinde rol oynar. Hortumların üretiminde, imal edildikleri malzemelerin kaliteli olmasına, kullanıldığı aracın ortalama pompa basıncından en az üç atmosfer daha fazla basınca dayanıklı olmasına, ıslandığı zaman sertleşmemesine ve koruyucu yumuşaklığını yitirmemesine ayrıca da çürüme ve

küflenmeye karşı dayanıklı olmasına dikkat edilir (Bursa Büyükşehir Belediyesi İtfaiye Daire Başkanlığı, 2016).

1.3.1. Hortum Çeşitleri

- **A Tipi (Ala) Hortum:** Su baskınlarında veya herhangi bir yerden su çekilmesi işlemlerinde kullanılan A tipi hortumlar, 110 mm çapında, 1,6-3 m uzunluğunda üretilen hortumlardır (Şekil 1.3.).



Şekil 1.3. A Tipi (Ala) Hortum ve Uygulamaları (İstanbul Büyükşehir Belediyesi İtfaiye Daire Başkanlığı [İstanbul İTDB], 2014)

- **B Tipi Hortum:** 75 mm çapında, 25 m uzunluğunda üretilen hortumlar yangına müdahalelerde ve aynı zamanda su çekme işlemi için kullanılmaktadır (Şekil 1.4.).

- **C Tipi Hortum:** 42-52 mm çapında 20 m uzunluğunda olan ve yangına müdahale işleminde sıklıkla hortumlardır. Çap ve uzunluk değerleri dışında B tipi hortumlar ile yapısal bir farklılığı bulunmamaktadır (Şekil 1.4.).



Şekil 1.4. B ve C Tipi Hortumlar (İstanbul İTDB, 2014)

- **D Tipi Hortum:** 25-28 mm çapında, 40 ile 60 m arasında farklı uzunluklarda üretilen ve genellikle itfaiye araçları üzerinde sarılı durumda bulunan hortumdur (Şekil 1.5.). Hızlı müdahale lansları ile beraber kullanılmaktadır (Ankara Büyükşehir Belediyesi İtfaiye Dairesi Başkanlığı [Ankara İTDB], 2012).



Şekil 1.5. D Tipi Hortumlar (İstanbul İTDB, 2014)

1.3.2. Kurutma İşleminin İtfaiye İstasyonlarında Kullanılması

Bu çalışmada, itfaiye istasyonlarında özellikle yangına müdahale amacı ile kullanılan B ve C tipi hortumlar incelenmiştir. Bahse konu hortumlar her kullanımdan sonra su ve sabun yardımıyla temizlenmektedir. Bu sayede diğer kullanımlara hazır hale getirilen hortumlar depolanmadan önce kurutulmalıdır. Güncel durumda, yaz aylarında itfaiye istasyonunun dışında (Şekil 1.6.), kış aylarında ise iç kısmında bulunan kurutma direğine hortumlar makaralı sistem ile asılmakta çevresel etkenler ile kuruma işlemi sağlanmaktadır (İzmir İTDB, 2015).



Şekil 1.6. İtfaiye İstasyonunda Bulunan Hortum Kurutma Direği

Bu sistemin dezavantajları; Özellikle kış aylarında kuruma süresinin oldukça uzun sürmesi ve kurutma direğine tek seferde belirli miktarda hortum asılabildiğinden, hortumların aynı anda kurutulmaması olarak görülmüştür.

Bu metodun kullanılmasının sebebi ise maliyetinin oldukça düşük olması ve doğal yollar ile kurutmanın itfaiye hortumunun yapısında herhangi bir zarara yol açmamasıdır. Temizlenen hortumlar doğal ortamda kurutulmaktadır. Hortumların yapısının bozulmaması için, aşırı güneş altında ve kızgın yüzeylere temas ettirilerek kurutma yapılmamalıdır (İstanbul İTDB, 2014).

Günümüzde, özellikle yurtdışında kullanılmakta olan hortum kurutma makineleri ise oldukça maliyetli ve itfaiye istasyonlarında fazla yer işgal eden makineler olarak görülmüştür. Farklı bölgelerde bulunan itfaiye istasyonlarında yangına müdahale hortumlarının serme-toplama ve kurutma işlemleri için kullanılan makineler de çalışmada incelenmiştir. Bu makineler genel olarak oldukça büyük olarak tasarlandıkları ve fiyatlarının pahalı olması da tercih edilmesini azaltan bir diğer etken olarak anlaşılmıştır.

Şekil 1.7.'de belirtilen "Askılı Kurutma Dolabı" n da, metal ve ısıya karşı yalıtımlı bir dolap içerisine yangına müdahale hortumları dik konumda, açık olarak asılmıştır ve içerisine sıcak hava üflenmiştir. Bu sayede hortumlar ısıtılarak kurutulması sağlanmıştır. Ayrıca hortumlar asıldığı ve sıcak havaya maruz bırakıldığı için bu yöntem mevcutta kullanılan doğal kurutmaya yakın bir yöntemdir. İlaveten itfaiye istasyonlarında bulunan başka ürünler de kurutulabilmektedir (Yangına Yaklaşma Elbisesi, Nomex eldiven, Çizme vs.). Ancak askılı kurutma dolaplarının fiyatları pahalıdır ve oldukça büyük bir alan kaplamaktadır (*Drying Cabinet*. Erişim tarihi: 18.02.2020. Erişim adresi: https://www.firepenny.com/Groves_Ready_Rack_PPE_and_Hose_Dryer_p/gv-ppehd.htm).



Şekil 1.7. Askılı Kurutma Dolabı (*Drying cabinet*. Erişim tarihi: 19.02.2020. Erişim adresi: https://www.firepenny.com/Groves_Ready_Rack_PPE_and_Hose_Dryer_p/gv-ppehd.htm).

Alt kısımda Şekil 1.8.'de belirtilen “Sıcak Hava Dolabı” nda ise askılı kurutma dolabından farklı olarak hortumlar toplu olarak ve raflarda kurutulabilmektedir. Bu makinenin üst kısmında bulunan fan sayesinde sıcak hava sirkülasyonu sağlanır. Ayrıca hortumlar gevşek bir biçimde kapalı konumda tutulduklarından, kurutulmuş hortumlar daha kolay ve hızlı depolanabilmektedir. Yaklaşık olarak 12 saatte hortumların ısıtılarak kurutulması sağlanmıştır. Isının artırılıp sürenin azaltılmamasının sebebi ise hortumlarda yıpranma miktarını en aza indirmektir. Yine bu yöntemde de sıcak hava dolaplarının fiyatları oldukça pahalıdır ve büyük bir alan kaplamaktadırlar (*Fire Hose Drying Equipments*. Erişim tarihi: 20.02.2020. Erişim adresi: <https://www.edarley.com/circul-air-dual-purpose-dryer.htm>).



Şekil 1.8. Sıcak Hava Dolabı (*Fire Hose Drying Equipments*. Erişim tarihi: 20.02.2020. Erişim adresi: <https://www.edarley.com/circul-air-dual-purpose-dryer.htm>).

2. LİTERATÜR ÇALIŞMASI

Oğulata ve ark., 1999 yılında yaptıkları çalışmalarında, tekstil ürünlerinin kurutulmasını ve bu esnada kullanılabilecek makineleri araştırmışlardır. Tekstil sektöründe ürünler, üretim esnasında çeşitli ön işlemlere tabi tutulmaktadır. Bu aşamalarda ürünlerin bünyesinde bulundurduğu nemin üründen uzaklaştırılması ve ürünün kurutulması gerekmektedir. Ürünün çeşidine göre, kurutulma işlemi de farklılık göstermektedir. Örnek olarak mekanik yöntemlerle yapılan ön kurutma veya üründe bulunan nemin ısı transferi ile uzaklaştırılmasını sağlayan asıl kurutma işleminden bahsedilebilir. Asıl kurutma işleminin birçok tekstil prosesinde ürüne uygulanması zorunludur. Buna rağmen ürüne zarar vermesi ve ürünün kalitesini azaltması gibi sorunlarda yaşanmaktadır. Bu sebeple ürüne en az hasarı verebilecek aynı zamanda da etkin bir kurutma sağlayabilecek yöntemler araştırılmıştır. Gergili kurutma makineleri, taşıma bantlı kurutucular ve yüksek frekanslı kurutucular üzerinde durulmuştur. Gergili kurutma makinelerinde kurutma işleminin yanı sıra, kondenzasyon ve termofiksaj işlemleri de yapılabilmekte ve üründe çekmezlik sağlanabilmektedir. Taşıma bantlı kurutucular ise hassas kumaşların daha hasarsız olarak kurutulabilmesini sağlasa da çekmezlik işlemi için kullanılamamaktadır. Yüksek frekanslı kurutucular ise bobin, çile, açık elyaf, iplik ve hazır ürünlerinin kurutulmasında tercih edilebilmektedir. Yüksek frekanslı kurutucular kısa zamanda ve düşük sıcaklıkta eşit dağılımlı bir kuruma sağladıklarından üründe yıpranmanın azaldığı anlaşılmıştır.

Akarşlan 2002 yılında yaptığı çalışmasında, tekstil ürünlerinin özelliklerine göre kurutma işlemini incelemiştir. İplik numarası, dokuma konstrüksiyonu, iplik sıklığı gibi farklı özelliklerin göre ürünlerin kuruması üzerindeki etkileri değerlendirilmiştir. Alınan sonuçlara göre, kuruma eğrileri tasarlanmış ve kuruma verimi ile alakalı yorumlar yapılmıştır. Kurutma işleminin verimliliği değerlendirilirken hem yöntemin ekonomik olması hem de ürünün kalitesinin azalmamasına önem verilmektedir. Bu sebeple kurutma esnasında uygun sıcaklık tercih edilmesine, havanın hızına ve nem azalışı kontrolüne önem verilmesi gerekmektedir. Kurutma sıcaklığı olarak 50 °C, 60 °C ve 70 °C tercih edilmiştir. Uygulanan kurutma işlemi sonrası, artan kurutma sıcaklığı ile tüm kumaşların kuruma hızının arttığı, kumaş ağırlığının arttıkça kuruma süresinin de arttığı ve sık dokuma yapılmış kumaşların daha çabuk kurduğu sonuçlarına ulaşılmıştır.

Eren ve ark., (2005) bu çalışmalarında, maydanoz (*Petrocelinum crispum* Mill.) bitkisinin mikrodalga destekli Bantlı Tip Tünel Kurutucuda kurutulmasını incelemiştir.

Çalışma için kullandıkları kurutucu, infrared ısıtıcı yardımı ile sağlanan sıcak hava ve atımlı mikrodalga enerjisi ile beraber çalışmaktadır. Bu sayede mikrodalga uygulaması kesikli olarak gerçekleştirilmiştir. Yapılan deneylerde ise kesikli şekilde uygulanan mikrodalga enerjisi miktarı arttırıldığında, enerji tüketiminin arttığı, nem miktarının ve numune kalitesinin azaldığı anlaşılmıştır. Optimum enerji- nem dengesinin ise bantta 0,133 m/dak hızında, yarı aktif yarı pasif mikrodalga atımında 41 dakikada meydana geldiği görülmüştür. İstenen son nem olan %10,5 seviyesine ise yaklaşık 3 kW enerji tüketimiyle ulaşılmıştır.

Goyal ve ark. (2006) çalışmalarında, erik (*Prunus Domestica*) meyvesinin tünel kurutucuda kurutulması matematiksel modelleme ile incelenmiştir. Erik meyvesine ait dilimler önceden hazırlanmış potasyum meta bisülfat çözeltisinde ön işleme tabi tutulmuştur. Daha sonra tünel kurutucuda 0,004 m/s bant hızında, 55 °C, 60 °C, 65 °C sıcaklığındaki hava, erik dilimlerine uygulanarak kurutma işlemi gerçekleştirilmiştir. Erik dilimlerine ait deney sonuçları Newton, Page, Geliştirilmiş Page, Henderson ve Pabis, Logaritmik ve Wang ve Singh modellerine göre karşılaştırılmıştır. Ayrıca kurutma deney sonuçlarından elde edilen difüzyon katsayıları da bu çalışma ile incelenmiştir. Elde edilen sonuçlardan yola çıkarak, kurutma sıcaklığı arttıkça kurutma süresinin azaldığı ve ön işleme tabi tutulan eriklerin daha hızlı kuruduğu anlaşılmıştır. Ayrıca en uygun kurutma modelinin Logaritmik model olduğu ve difüzyon katsayılarının $3,04 \times 10^{-10}$ ile $4,41 \times 10^{-10}$ m²/s arasında değiştiği de belirlenmiştir.

Sousa ve arkadaşları, 2006 yılında yaptıkları çalışmalarında tekstil ürünlerinde kurutma kinetiğini ve nem dağılımını incelemişlerdir. Çalışma için ham pamuklu kumaş kullanılmış olup, kurutma işlemi iki aşamada incelenmiştir. Öncelikle ürünün içindeki nem dağılımının analizi yapılmış olup, sonrasında ise konvektif kurutma değişkenleri analiz edilmiştir. Çalışma için asılı durumda olan numunelerin sıcak hava akışına maruz kalacakları bir kurutma odası tasarlanmıştır. Ham pamuklu kumaştan oluşan numunelerin nem dağılımları, literatürden bulunmuş olan tekstilde kullanılan pamuklu kumaşın son nem değerine ulaştığında oluşan nem dağılımları ile karşılaştırılmıştır. Yapılmış olan çalışma ile kurutma sıcaklığının arttıkça kuruma süresinin azaldığı tespit edilmiştir. Ayrıca, hava hızının değiştirilmesinin de etkileri incelenmiştir. Kurutma havasının hızı sabitken, kumaş ile kurutma havası arasındaki konveksiyon katsayısı da doğrulanmıştır. Kurutma havası hızı değişken tutulduğunda ise, nem dengesinin kurutma hızı ile doğrusal olarak değiştiği anlaşılmıştır. Bu tür farklı sonuçlar genel olarak kumaş numunelerinin yüzeyinde oluşan buharlaşma ile ilgili olarak gerçekleştiği anlaşılmıştır.

Silaghi ve Rohde (2009) bu çalışmalarında, mikrodalga enerjisinin alternatif bir enerji kaynağı olarak kullanımını konusunu incelemişlerdir. Geleneksel yöntemlere oranla mikrodalga enerjisinin en büyük faydası daha çabuk istenen sıcaklığa ulaşmayı sağlaması ve bu sayede harcanan sürelerin azalması olarak tespit edilmiştir. Özellikle mikrodalga yöntemi sayesinde ürün numunesine direkt enerji transferi, numunenin hızlı ve homojen olarak ısıtılmasına yardımcı olurken aynı zamanda geleneksel ısıtmadan kaynaklı olarak yüzeyde meydana gelen termal farkların oluşması da engellenmiştir. Bu özelliklerinden dolayı son zamanlarda mikrodalga enerjisinin kullanımını oldukça yaygınlaştırmıştır.

Çakı (2009) bu çalışmasında, mikrodalga kullanım alanları incelenmiş ve bu alanları yaygınlaştırmak için yapılabilecek çalışmalar üzerinde durulmuştur. Mikrodalga günümüzde özellikle gıda kurutmada, tıbbi sterilizasyonda, buz çözme gibi işlemlerde ve bazı reaksiyonların hızlandırılması gibi alanlarda kullanılmaktadır. Mikrodalga'nın Türkiye' de kullanımının az olmasının sebebi olarak ise teknolojik ARGE çalışmalarına gerekli yatırımın yapılmaması, yetişmiş personelin bulunmaması, mikrodalga kullanımının tehlikeli olması gibi konular olarak anlaşılmıştır. Ancak mikrodalga ile alakalı yapılan bu çalışma ile yöntemin faydalarından olan proses sürelerinin kısılması, ekonomik olması ve mikrodalga enerjisi ile çalışan makinelerin az yer kaplaması gibi unsurlardan dolayı tercih edilirliliğinin artması gerektiği gözlenmiştir.

Çelen ve ark. (2011) tarafından yapılan bu çalışmada, 5 mm. kalınlığında kesilen elma dilimleri (*Granny Smith*) 4 farklı mikrodalga gücü ile (90 W, 180 W, 360 W, 600W) kurutma işlemine tabii tutulmuştur. Sonrasında ise bu çalışmadan elde edilen sonuçlar istatistiksel analiz yöntemleri ile modellenmiştir. Çalışmaya konu deneyin başında ürünün nem içeriği çok yüksek olarak tespit edilmiştir. Bu nedenle kurutmanın başında mikrodalga gücünün daha fazla emildiği gözlenmiştir. Kurutma ilerledikçe, ürünün nemden arındırılması yani mikrodalga gücünün emilimi azalmış olduğundan kuruma süresinin de azaldığı anlaşılmıştır. Ancak renk ölçümü değerlendirmelerinde ise 90 W' da yapılan kurutma işleminde en az fiziksel değişim gerçekleşmiştir. Elma meyvesinin kurutmasındaki parametreler için kullanılan beş model arasında Verma ve ark. Modeli, deneysel ve tahmin edilen nem oranı değerleri arasındaki en benzer sonuçların elde edilmesini sağlamıştır.

Büyükakıncı (2012) bu çalışmada, Türkiye'de tekstil ürünleri üzerinde mikrodalga enerjisinin kullanılmasını araştırmıştır. Tekstil ürünlerinde mikrodalga enerjisi, ön işlemler, boyama, kaplama ve özellikle de kurutmada kullanılmaktadır. Tekstil ürünlerinin tabii

tutulduğu ilk işlem olan yıkama sonrası prosesin devamında ürünlerin kurutulması gerekmektedir. Bu kurutma aşamasında artan teknolojik gelişmeler ile birlikte mikrodalga enerjisi de sıklıkla kullanılmaya başlanmıştır. Mikrodalga enerjisinin kullanımı ile geleneksel yöntemlere göre zaman ve enerji tasarrufunun arttığı, genel olarak üretimde maliyetin azaldığı tespit edilmiştir. Mikrodalga enerjisinin özellikle kurutma aşamalarında tekstil endüstrisinde kullanımının her geçen gün popülerleştiği de bu çalışmadan anlaşılmaktadır.

Merdan ve ark. (2013) bu çalışmalarında, %2,5, %5 ve %10 konsantrasyonunda maleik anhidrit ile kenevir (*Cannabis Sativa*) liflerini üzerinde deneyler yapmışlardır. Kenevir liflerinin maleik anhidrit ile işleminde, konvansiyonel ısıtma yöntemleri ve mikrodalga yöntemlerinin uygulanmasına göre liflerin kopma dayanımı ve uzama değerleri araştırılmıştır. Elde edilen verilere göre, Konvansiyonel yöntem için en verimli maleik anhidrit konsantrasyonu %2,5 iken, işlem süresi 20 dakika olarak görülmüştür. Ancak mikrodalga yönteminde aynı konsantrasyonda süre 3 dakikaya düşmektedir. Benzer şekilde elde edilen veriler karşılaştırıldığında kopma gerilmesi ve uzama değerleri de mikrodalga yönteminde daha verimli olarak tespit edilmiştir. Bu sebeple enerji kullanımı da azaldığından mikrodalga yönteminin konvansiyonel yöntemlere göre daha ekonomik ve verimli bir yöntem olduğu anlaşılmıştır.

Şevik ve ark. (2014) bu çalışmalarında, kırmızıbiber kurutulması için sera tipi bir tünel kurutucu kullanmışlardır. Isı kaybını engellemek adına kurutucu yüzeyine kaplama malzemesi (polikarbonat levha) kullanmayı tercih etmişlerdir. Kurutucunun içinde sıcak hava sağlanması için ise fanın yanı sıra bakırdan yapılmış kanatçıklar kullanılmıştır. Kurutucunun enerjisi ise fotovoltaik piller yardımı ile sağlanmıştır. Kırmızıbiberler, tasarlanan kurutucu içerisinde ortalama olarak 0.34 m/s hızında sıcak havaya tabi tutulmuşlardır. İlk nem miktarı 11,5 g_{su}/g_{kurumadde} olan kırmızıbiberler farklı hava sıcaklıklarında kurutulmuştur. Bu çalışmada kurutmanın zorlanmış taşınımlı ısı transferi ile olması sayesinde kırmızıbiberlerin doğal kurutmaya göre daha hızlı sonuçlandığı görülmüştür. Ayrıca güneş enerjisinin yeterli verim sağlamadığı kış aylarında da cihaz sera olarak kullanılabilir. Bu sayede daha kısa sürede daha az dış etkene maruz kalarak kurutma yapılabilmesi sağlanmıştır.

Karabacak ve ark., (2015) bu çalışmada, mikrodalga ile kurutmanın çeşitli gıda maddeleri üzerinde ki kalite parametrelerinde yarattığı değişimi incelemiştir. Mikrodalga enerjisi ile kurutma, geleneksel kurutma yöntemlerine göre numunenin daha fazla ısınmasına yardımcı olmaktadır. Ancak, numunenin şeklinin homojen ısınmaya olanak sağlayabilecek

olması gerektiğinden tüm ürünlere uygulanamamaktadır. Ayrıca mikrodalga kurutucular kısa sürede az enerji harcayarak kurutma sağladıkları için diğer yöntemlere nazaran daha avantajlıdır. Dezavantajları ise mikrodalga kurutucu ekipmanlarının tasarım maliyetlerinin fazla olması nedeniyle ilk yatırım maliyetlerinin yükselmesi, şekilleri düzenli olmayan numunelerin homojen olarak kurutulmaması olarak anlaşılmıştır.

Morad ve ark., (2016) çalışmalarında güneş enerjisi ile çalışan sera tipi bir tünel kurutucuda nane (*Mentha Pepperrita*) bitkisinin kurutulmasını incelemişlerdir. Kurutma işleminde kullanılmak üzere, zorlanmış taşınım ile ısı transferi sağlayan tünel tipi bir kurutucu tasarlanmıştır. Hazırlanan nane yaprakları kurutucuya konularak kurutma işlemi esnasında çeşitli şekillerde analiz edilmişlerdir. Çalışma ile kuruma hızı, kurutma verimliliği, ürün kalitesi ve maliyet parametrelerine göre değerlendirmeler yapılmıştır. Ulaşılan sonuçlar ışığında, nane yapraklarını bu yöntemle kurutmada, sürenin diğer yöntemlere kıyasla azaldığı ve en yüksek uçucu yağ yüzdesine ulaşıldığı tespit edilmiştir. Diğer yöntemler ile kıyaslandığında kuruma oranının yaklaşık % 23 arttığı anlaşılmıştır.

Çelen ve ark., (2016) çalışmalarında, mikrodalga enerjisi ile kurutma yapabilen bantlı tip bir kurutucu ile patates dilimleri (*Solanumtuberosum*) üzerinde çalışmışlardır. Deneyler için kullanılan patates dilimleri çeşitli (1mm, 2mm ve 3mm) kalınlıktadır. Kurutma işlemi için 1500 W ve 2100 W mikrodalga güçleri ile 0,175 m/dak, 0,210 m/dak ve 0,245 m/dak bant hızlarında denemeler yapılmıştır. Çalışma ile gıda kurutmada fiziksel değişiklikler (renk değişimi), aman ve enerji tüketimi ile alakalı hususlar incelenmiştir. Patates için yaklaşık olarak %12 son nem değerine ulaşıldığında kurutma işlemi sonlandırılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre, modelleme yapıldığında Geliştirilmiş Henderson ve Pabis modeli uygun olarak bulunmuştur. Zaman kıyaslaması yapıldığında en kısa sürede kuruma ve en az fiziksel değişiklik 1mm patates dilimi için 1500W mikrodalga gücünde ve 0,175 m/dak bant hızında gözlenirken, en az enerji tüketimi ise yine aynı bant hızında ancak 2100 W gücünde ölçülmüştür.

Galoppi ve ark., 2017 yılında yaptıkları bu çalışmalarında, pamuk ipliği bobinlerinin kurutma işlemini incelemişlerdir. Bu çalışma için, hem mekanik hem de termal kurutmanın aynı anda yapılabildiği bir deney düzeneği kullanmışlardır. Mekanik kurutma işlemi için, bobinlerin iç ve dış kısımları arasında bir basınç farkı yaratılmıştır. Bu basınç farkı yardımıyla da bobinlerin çekmiş olduğu suyun %25 ile %30 'a yakın kısmı bobinlerden uzaklaştırılmıştır. Termal kurutma işlemi ile ise, kurutma havası elektrikli bir ısıtıcı yardımı ile istenen sıcaklığa ısıtılırken, fan yardımı ile de hava sirkülasyonu sağlanmıştır. En verimli sonuç yapılan

denemeler sonrasında, basıncın daha az miktarda azaltılması ve daha yüksek kütle transferi elde edilmesi ile bobinleri içten dışarı doğru kurutma işlemiyle gerçekleşmiştir. Bu sonuca ilaveten, kurutma sıcaklığı artırıldığında, basıncın da arttığı ve kütle transferi hızının da arttığı anlaşılmıştır. Bu durum ile kuruma süresi de belirgin bir şekilde azalmıştır. Kurutma odası basınçsız duruma getirilmesi kütle transferi hızını azaltmıştır. En az enerji tüketimi ise, odanın düşük basınçlar ile basınçlandırılmasıyla elde edilmiştir. Tüm veriler değerlendirildiğinde en uygun sonuçların, yüksek kurutma sıcaklıklarında optimum basınç ve kütle transfer hızına göre kurutma süresi ile enerji tüketimi arasında denge elde edilerek elde edildiği anlaşılmıştır.

Eltawil ve ark., (2018) çalışmalarında, nane bitkisinin (*Mentha Viridis*) güneş enerjisi kolektörü ve fotovoltaik pillerden oluşan hibrit bir kurutucu ile kurutulma işleminin enerji analizini yapmışlardır. Kurutucuda tesis edilen güneş enerjisi sıcak hava sağlayabilirken, fotovoltaik sistem ise zorlanmış taşınım ile kurutmayı desteklemektedir. Oluşan ısı kaybının engellenebilmesi ve oluşabilecek radyasyon kaynaklı hasarlardan nanenin korunabilmesi amacıyla kurutucu termal bir perde ile de kaplanmıştır. Doğal kurutma ve geliştirilen hibrit kurutucu, ince tabaka nane kurutulması için incelenmiştir. Kurutma işlemine başlarken kurutucu tablasına tek tabaka, iki tabaka veya üç tabaka nane yerleştirilmiş olup numune ağırlığı artırılarak çalışmalar yapılmıştır. Doğal kurutma ile kuruma, numune ağırlığına göre 270 ile 420 dakika arasında sürerken, hibrit kurutucu ile bu süre 210 ile 360 dakika aralığına kadar azalmıştır. Bu sayede hibrit kurutucu ile kurutma süresi ortalama 1 saat kadar azalmıştır. Çalışmaya ait matematiksel modelleme yapıldığında ise en uygun modelin 'İki Terimli' model olduğu anlaşılmıştır. Kurutucuya ait enerji tüketimi değerlendirildiğinde ise, kurutucunun doğal kurutmaya oranla yaklaşık %30 oranında daha verimli olduğu ve maliyetini yaklaşık 2 yılda geri karşıladığı görülmüştür. Ek olarak kullanılan termal perdenin de nane kalitesinde azalmayı engellediği tespit edilmiştir.

Karthikeyan ve Murugavelh (2018) bu çalışmaları ile zerdeçal (*Curcuma Longa*) bitkisinin güneş enerjili tünel tipi kurutucuda zorlanmış taşınım ile kurutulması esnasında kuruma kinetiğini ve ekserji analizini incelemişlerdir. Bu çalışmanın diğer çalışmalardan farkı, malzeme taşıma bandının eğimli tasarlanması sayesinde güneş ışınlarından daha fazla faydalanılmasıdır. Ek olarak taşıma tepsileri de sökülebilir olarak imal edilmiştir. Tepsilere yerleştirilmiş zerdeçal numuneleri, başlangıç nem miktarı olan yaklaşık $0,78 \text{ kg}_{\text{su}}/\text{kg}_{\text{kurumadde}}$ değerinden, $0,070 \text{ kg}_{\text{su}}/\text{kg}_{\text{kurumadde}}$ değerine ulaşana kadar kurutulmuşlardır. Kurutma işlemi açık havada doğal kurutma ile 43 saat sürerken, tasarlanan kurutucu ile 12 saatte tamamlanmıştır.

Zorlanmış taşınım ile tünel kurutucuda kurutulan ince tabaka zerdeçallara kuruma kinetiği ve ekserji analizi yapıldığında ise tünelin enerji tüketimi %9,75-%34 aralığında ve kurutucunun ekserjetik verimi de %49 olarak tespit edilmiştir. Ek olarak uygulanan 11 adet matematiksel model arasından en uygun modelin Verma ve ark. olduğu da anlaşılmıştır.

Çelen (2019) bu çalışması ile mikrodalga enerjisi ile kurutma işlemine tabi tutulan Trabzon hurması (*Diospyros kaki* L.) meyvesinin kuruma parametrelerini, fiziksel değişimlerini ve enerji tüketimini incelemiştir. 5 mm, 7 mm ve 9 mm kalınlıkta dilimlenen Trabzon hurması meyvesi mikrodalga kurutucu ile çeşitli güçler uygulanarak kurutulmuştur. Laboratuvar ortamında kullanılan mikrodalga kurutucu ile hurma dilimlerine 120 W, 350 W, 460 W ve 600 W güç değerleri uygulanmıştır. Kurutulan numunelere termal analiz, ağırlık analizi ve kurutma esnasında kullanılan enerji analizi deney sonunda değerlendirilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, mikrodalga ile kurutulan numunelerin diğer konvansiyonel yöntemlere göre daha az enerji harcanarak ve daha kısa sürede minimum neme ulaştığı görülmüştür. Fiziksel özellikler ve renk değerlendirilmesi yapıldığında ise yüksek mikrodalga enerjisi uygulanan numunelerin bazı kısımlarında yanma olduğu görülmüştür. Sonuçlar değerlendirildiğinde optimum sonuçların enerji tüketimine bağlı olarak 7 mm dilim kalınlığı için 460 W değerinde, kuruma süresine bağlı olarak değerlendirildiğinde ise 5 mm dilim kalınlığı için 600 W değerinde tespit edilmiştir.

Traxl ve ark., 2019 yılında yaptıkları çalışmalarında, kumaş takviyeli hortumların mekanik yapısını kafes tabanlı hücre modeline göre incelemiştir. Kumaş takviyeli hortumlar, çoğunlukla tarımda, inşaat sektöründe ve itfaiye hizmetlerinde su sağlamak için kullanılmaktadır. Kumaş takviyesi hortumların hem esnek olmasına hem de dayanıklı olmasına yardımcı olmaktadır. Ancak takviye olarak kullanılan kumaşın geometrisi ve sertliği kuvvet yüklemesi esnasındaki mekanik etkilerin değerlendirilmesini karmaşıklaştırmaktadır. Bu soruna yönelik olarak çalışmada, düz örgülü kumaş kullanımı ve geometrik olarak non-lineer bir analitik model kullanılması önerilmektedir. Çalışmada kullanılan kafes tabanlı hücre modeli, rastgele çapraz açığa sahip bir çözümlü ve atkı kesişiminden oluşturulmuştur. Kullanılan model, iç basınca maruz kalan hortumda yük kaynaklı dezinformasyonun analizi ve yük taşıma kapasitesinin değerlendirilebilmesi için hortuma yatay bir kuvvet uygulanması ile çalışmaktadır. İşlem sonucunda model verileri ile deneysel sonuçlar karşılaştırılmaktadır. Sonuç olarak, kumaş takviyeli hortumların mekanik verimliliği iplik dalgalanmalarının azaltıcı etkisinden ve uzunlamasına etkiyen çekme kuvvetlerinin yük taşıma kapasitesini değiştirmesini etkilemektedir. Ayrıca, modelin deneyler ile uyumluluğu da sonlu elemanlar analizi ile

değerlendirilmiştir. Uygulanan model, homojen dağılımlı gerilimler ile gösterilen yükleme durumlarında kullanılabilen olarak anlaşılmıştır.

Akan ve Özkan (2019) bu çalışmalarında, tekstil endüstrisinde sıklıkla kullanılan ram makinelerini incelemiştir. Ram makineleri basitçe, kurutucu içine asılan kumaşın kurutulmasını sıcak hava ile sağlayan makinelerdir. Çalışma için, 10 kabinli bir ram makinesi kullanılmıştır. Kurutma sıcaklığı olarak, 110 °C, 130 °C ve 150 °C sıcaklıklar tercih edilmiştir. Kurutma işlemi için, likra ilaveli pamuklu kumaş kullanılmış ve 10 m/dak hızıyla kumaşın ram kabininde hareketi sağlanmıştır. Çalışma ile, ısı transfer katsayısı, kütle transfer katsayısı, nem analizi ve enerji tüketimi hususları değerlendirilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde ise, kurutma sıcaklığı arttırıldıkça ısı ve kütle transferi katsayılarının artış eğiliminde olduğu, enerji verimliliğinde ise azalış olduğu anlaşılmıştır.

3. MATERYAL ve YÖNTEM

3.1. Materyal

3.1.1. Yangına Müdahale Hortumu

Yangına müdahale hortumları (Şekil 3.1.), itfaiye istasyonlarında standart olarak kullanılmakta olup dış kısmı kumaş, iç kısmı kauçuktan oluşmaktadır. Kauçuk ve kumaş kısmı birbirine bağlamak amacıyla özel bir tutkal kullanılmıştır. Bahse konu hortumların, iç astarı kauçuk ve poliüretan, dış yüzeyi dokuma olanları olduğu gibi sadece kauçuk ve poliüretan alaşımli olanları da vardır. Kauçuk hortumlar yüksek basınca dayanıklı olma özelliğinden dolayı hızlı müdahale lansı ile kullanılırlar. Kauçuk hortumlarla 10 – 40 bar arası çalışma yapılabilir.

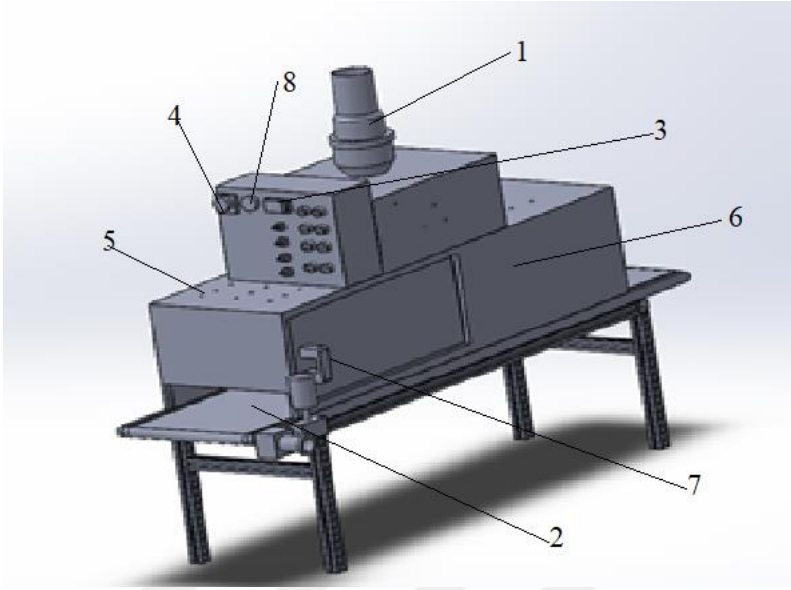
Bu çalışmada daha önce herhangi bir kullanım durumunda olmamış ve herhangi bir işlem ile kurutulmamış hortum numuneleri kullanılmıştır.



Şekil 3.1. Yangına Müdahale Hortumu

3.1.2. Bantlı Tip Tünel Kurutucu

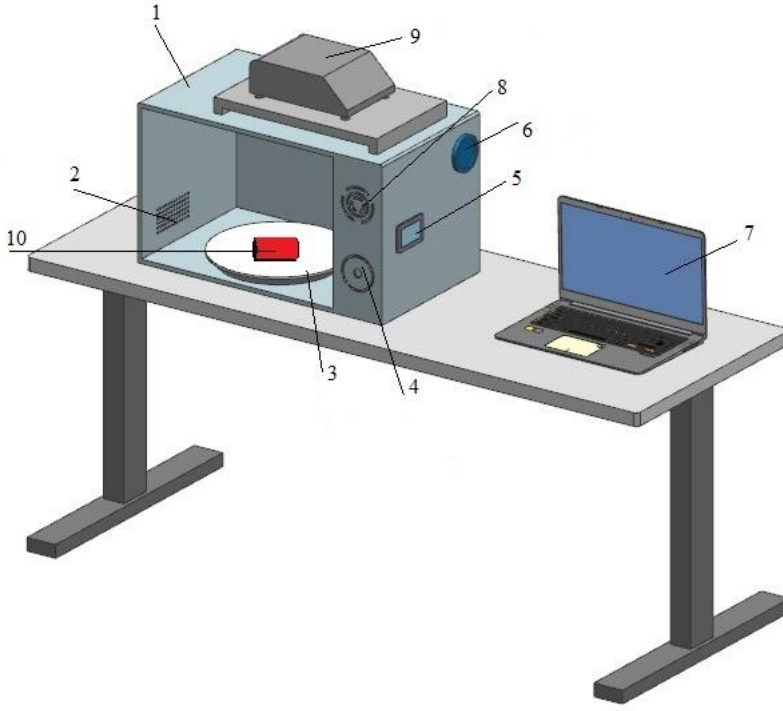
Bu çalışmada, Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi Çorlu Mühendislik Fakültesi Laboratuvarında yer alan Bantlı Tip Tünel Kurutucu (Şekil 3.2.) kullanılmıştır. Bantlı kurutucu 172x50x40 cm boyutlarında ve 2000 W gücündedir. Bu yöntemde ürün bant üzerinde hareket etmekte olup, sabit sıcak hava akışına tabii tutulmaktadır. Bu sayede hortum üzerinde homojen dağılımlı bir kurutma elde edilmesi amaçlanmıştır.



Şekil 3.2. Bantlı Tip Tünel Kurutucu Şeması (1: fan, 2: bant, 3: ayar ekranı, 4: sıcaklık düğmesi, 5: havalandırma boşlukları, 6: tünel kurutucu, 7: tünel kapağı, 8: tünel hızı ayar düğmesi)

3.1.3. Mikrodalga Kurutucu

Bu çalışmada, Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi Çorlu Mühendislik Fakültesi Laboratuvarında yer alan mikrodalga kurutucu (Şekil 3.3.) kullanılmıştır. Mikrodalga enerjisinin hortum numuneleri tarafından emilmesi ile hızlı ve verimli kurumanın elde edilmesi amaçlanmıştır.



Şekil 3.3. Mikrodalga Kurutucu Şeması (1: fırın, 2: havalandırma, 3: tepsi, 4: zamanlayıcı, 5: magnetron, 6: Fan; 7: bilgisayar, 8: güç ayar düğmesi, 9: hassas terazi, 10: hortum numunesi)

3.1.4. Termal Kamera

Bu çalışmada hortum numuneleri kuruma öncesi ve kurutma işlemi esnasında termal ölçüm kamerası yardımı ile periyodik olarak görüntülenmiştir. Elde edilen termal görüntüler ve sonuçlar ile de sıcaklık değişimleri analiz yapılmıştır. Çorlu Mühendislik Fakültesi Laboratuvarında bulunan termal kamera (Flir EX E6, Estonya) kullanılmıştır (Şekil 3.4.).



Şekil 3.4. Termal Ölçüm Kamerası

3.1.5. SEM Cihazı

Kurutma işleminden sonra numunelerin içyapısında meydana gelen değişimlerin detaylı olarak tespit edilebilmesi için, Şekil 3.5.'de gösterilen Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM-Scanning Electron Microscope) yardımı ile görüntüleme yapılmıştır. Bu çalışma için Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi Merkezi Araştırma Laboratuvarı (NABİLTEM) içerisinde bulunan SEM cihazı (FEI Quanta-Feg 250, A.B.D.) kullanılmıştır.



Şekil 3.5. SEM Cihazı (*Scanning Electron Microscope*. Erişim tarihi: 20.03.2020. Erişim adresi: <https://www.fei.com/products/sem/Quanta-SEM-for-Materials-Science>)

3.1.6. Çekme Deneyi Cihazı

Yangına müdahale hortumlarından elde edilen numuneler kurutma işlemi sonrası mukavemet analizine tabi tutulmuşlardır. Numunelerin mukavemetinde meydana gelen değişimlerin anlaşılabilmesi adına kurutulma işlemi biten hortum numunelerine Çekme Deneyi yapılmıştır. Çekme Deneyi için Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi Merkezi Araştırma Laboratuvarı (NABİLTEM) içerisinde bulunan Universal Test Cihazı (Tinius Olsen H10KS, İngiltere) kullanılmıştır (Şekil 3.6.).



Şekil 3.6. Universal Test Cihazı (*Universal Test Machine*. Erişim tarihi: 20.03.2020. Erişim adresi: <https://www.tiniusolsen.com/tinius-olsen-products/tensile-compression-tinius-olsen>)

3.1.7. Etüv

Hortum numunelerine ait kuru ağırlığı tespit edebilmek için Çorlu Mühendislik Fakültesi Laboratuvarında mevcut bulunan etüv fırını (MINGDA KIT-35A, Çin) (Şekil 3.7.) kullanılmıştır.



Şekil 3.7. Etüv

3.1.8. Ölçüm Aletleri

3.1.8.1. Enerji Ölçüm Cihazı

Mikrodalga kurutucu ve Bantlı Tip Tünel Kurutucularda enerji tüketiminin takibi için Şekil 3.8 de gösterilen 0,01 kW hassasiyetli dijital elektrik sayacı (Polaxtor PLX-15366, Çin) kullanılmıştır.



Şekil 3.8. Enerji ölçüm cihazı

3.1.8.2. Ağırlık Ölçüm Cihazı (Hassas Terazı)

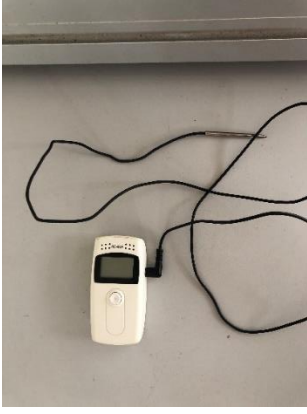
Bu çalışmada ağırlık ölçümleri Şekil 3.9' da görülen hassas terazı (Precisa XB 620 M, İsviçre) ile yapılmıştır. Kullanılan terazı Çorlu Mühendislik Fakültesi Laboratuvarında yer almakta olup, 0,001 g hassasiyete sahiptir.



Şekil 3.9. Hassas Terazı

3.1.8.3. Sıcaklık Ölçüm Cihazları (Termometre)

Bu çalışma esnasında çeşitli aşamalarda 4 ayrı termometre kullanılmıştır. Bunlardan ilki mikrodalga kurutucu ile deneyler gerçekleştirilirken ortam neminin saptanmasında kullanılan termometredir (Şekil 3.10). Diğer 3 termometre ise (Testo 650, Almanya) markalıdır. Bantlı tip tünel kurutucunun iç kısmındaki sıcaklık değerlerinin takibi için kullanılmıştır. Termometreler tünelin giriş, orta ve çıkış kısımlarına yerleştirilmiş ve sıcaklık değişimleri takip edilmiştir (Şekil 3.11).



Şekil 3.10. Mikrodalga İle Kurutma İşlemi Esnasında Kullanılan Nemölçer



Şekil 3.11. Tünel Tipi Kurutucu İle Kullanılan Termometreler

3.2. Yöntem

Bu çalışmada piyasada satılan 20 m uzunluğunda yangın müdahale hortumu kullanılmıştır. Deney öncesinde hortumların başında ve sonunda bulunan rakorlar sökülmüş ve sadece hortum kısmı üzerinde çalışmalar gerçekleştirilmiştir. 20 m uzunluğundaki hortumdan deneyler için 20 cm uzunluğunda numuneler kesilip deneylerde kullanılmıştır.

Yangına müdahale hortumlarının kurutulması ile ilgili bu çalışmada yapılacak işlemler sırasıyla aşağıda belirtilmiştir.

3.2.1. Numunelerin Hazırlanması

Yangına müdahale hortumları 20 cm' lik parçalar halinde kesilmiştir. Kesilen numunelerin ilk ağırlıkları hassas terazi yardımı ile ölçülmüştür.

3.2.2. Nem Değerinin Belirlenmesi

Deneylerde kullanılacak hortum numunesi, ilk nem değerinin belirlenebilmesi için Etüv' de 105 °C de 24 saat kurutulmuştur. Nem değişimleri ürünün ağırlıkları dikkate alınarak hesaplanmıştır. Ağırlık kayıpları hassas terazi ile belirlenmiştir. Deney esnasında numunelere ait yaş baza göre nem değeri Eşitlik 3.1 ve kuru baza göre nem değeri Eşitlik 3.2' ye göre hesaplanmıştır. Bantlı kurutma için boyutsuz nem oranı Eşitlik 3.3 ve mikrodalga kurutma için ise Eşitlik 3.4 kullanılmıştır. Bu durumun sebebi ise, mikrodalga kurutucu için denge nem içeriğinin (m_e) sıfır olarak baz alınmasıdır (Maskan, 2000).

$$m_y = \frac{M_y - M_k}{M_y} \quad (3.1)$$

$$m_k = \frac{M_y - M_k}{M_k} \quad (3.2)$$

$$m_R = \frac{m - m_e}{m_o - m_e} \quad (3.3)$$

$$m_R = \frac{m}{m_o} \quad (3.4)$$

Bu eşitliklerde; m_y : yaş baza göre nem içeriği, m_k : kuru baza göre nem içeriği, M_k : ürünün kuru kütlesi (g), M_y : ürünün yaş kütlesi (g), m_R : boyutsuz nem oranı, m : ürünün belli bir zamandaki nem içeriği ($g_{su}/g_{kurumadde}$), m_e : denge nem içeriği ($g_{su}/g_{kurumadde}$), m_o : ilk nem içeriğini ($g_{su}/g_{kurumadde}$) temsil eder (Çelen ve Kuş, 2016).

3.2.3. Su Banyosu

Yangına müdahale hortumları kullanıldıkları süre içerisinde sürekli su ile temas halindedirler. Kullanımdan sonra ise hortumlar yine su yardımı ile temizlenmekte ve depolanmadan önce tamamen kurutulmuşlardır. Bu çalışma için, hortumların kullanım koşullarının sağlıklı bir değerlendirmeye tabi tutulabilmesi amacıyla hortum numuneleri çeşitli süre suya maruz bırakılmışlardır.

Deneylerde kullanılan numunelerin, 17 cm çapında, 28 cm yüksekliğinde olan derin bir kap içerisinde su emmesi sağlanan numuneler, 30, 60 ve 90 dakikalık sürelerde su banyosunda bekletildikten sonra yaş ağırlıkları hassas terazi yardımı ile ölçülüp kaydedilmiştir.

3.2.4. Bantlı Tip Tünel Kurutucu

Bantlı tip tünel kurutma sisteminde tüm kuruma sıcaklıkları (50 °C,60 °C ve 70 °C) için 0,117 m/dak hızı ile hareket eden bant üzerine önceden su emdirilen hortum numunesi konulduktan sonra kurutma işlemi başlatılmıştır. Tünel içerisine 1 m/s hız ile üflenen sıcak hava yardımı ile hortum numunelerinin kuruması sağlanmıştır. Ürün kurutma tüneli içinde 15 dakika boyunca kalmıştır. Deney boyunca her 15 dakikada bir ağırlık kayıpları, enerji tüketim değerleri ölçülüp termal fotoğrafları çekilmiştir. Bu çalışma esnasında bantın farklı noktalarındaki sıcaklık problemleri ile ortam sıcaklıkları periyodik olarak ölçülmüştür. İstenilen nem değerine gelince kurutma işlemi sonlandırılmıştır.

3.2.5. Mikrodalga Kurutucu

Mikrodalga kurutucu içerisinde yer alan tabla üzerine önceden su emdirilerek hazırlanan hortum numunesi yerleştirilmiştir. Mikrodalga kurutma işlemleri 2450 Hz ve 120 W, 350 W ve 460 W güç değerinde yapılmıştır. Mikrodalga kurutucuda uygulanan güç değerine göre deneyin ölçüm periyotları değişiklik göstermektedir. Numunelere 120 W değeri uygulandığında 3 dakikada, 350 W değeri uygulandığında 1 dakikada ve 460 W değeri uygulandığında da 0,5 dakikada ağırlık, termal ve enerji ölçümü uygulanmıştır.

3.2.6. Ağırlık Analizi

Etüv cihazında kuru ağırlığı tespit edilmiş olan hortum numuneleri, 30 dakika, 60 dakika ve 90 dakika boyunca su banyosunda bekletilmiş ve numunelerin emdikleri su miktarı hassas terazi yardımı ile ölçülmüştür.

Kurutma işlemi esnasında bantlı tip tünel kurutucuda 15 dakikalık periyotlar ile mikrodalga kurutucuda ise çeşitli sürelerde (0,5 dak, 1 dak ve 3 dak) yapılan ölçümler ile hortum numunelerinin ağırlık değişimleri not alınmıştır. Ağırlık değişimi gerçekleşmediği yani istenen son nem değerine ulaşıldığında deneyler sonlandırılmış ve elde edilen sonuçlar yardımı ile ağırlık analiz grafikleri elde edilmiştir.

3.2.7. Enerji Analizi

Mikrodalga kurutucuda 0,5 dakikalık, 1 dakikalık ve 3 dakikalık periyotlarda ve bantlı tip tünel kurutucuda 15 dakikalık periyotlarda yapılan denemelerde kurutucuların harcadıkları enerji miktarı tespit edilmiştir.

3.2.8. Termal Analiz

Bantlı tip tünel kurutucuda 15 dakikalık periyotlar ile mikrodalga kurutucuda ise çeşitli sürelerde yapılan denemelerde periyodik olarak numunelerin termal kamera yardımı ile sıcaklıkları tespit edilmiştir. Ürün üzerindeki ısı dağılımı da bu fotoğraflar sayesinde incelenmiştir.

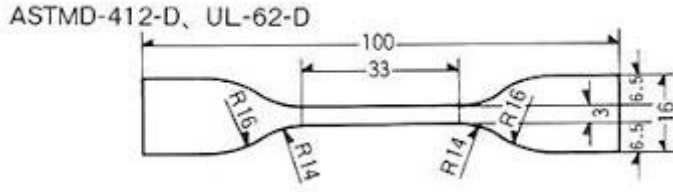
3.2.9. SEM Analizi

Kurutma işlemi tamamlanmış olan numunelerin içyapısında meydana gelen değişimler Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM-Scanning Electron Microscope) ile incelenmiştir. SEM cihazının çalışma prensibi kısaca, elektronların yoğunlaştırıcı mercekle yardımı ile toplanması ve sapıtıcı bobinler yardımı ile yüzeyde tarama işlemi yapması olarak özetlenebilir. Elektron demetinin, incelemeye tabi tutulan yüzey ile yaptığı çarpışmalar sonucu oluşan sinyallerin toplanması ile görüntü oluşmaktadır (Türkiye Atom Enerjisi Kurumu [TAEK], 2012).

SEM cihazı olarak adlandırılan mikroskop yardımı ile numunelere ait görüntülerin elde edilebilmesi için kurutulmuş numunelere ait, 1 cm² boyutunda parçalar çıkarılmıştır. Bıçak ile numunenin hem alt hem üst yüzeyinden çıkarılan parçalar incelenmiş ve fotoğraflanmıştır. Cihazdan elde edilen görüntüler ile numunenin içyapısı 2000 kat büyütülmüş ve oluşan değişimler birbiri ile karşılaştırmaya tabi tutulmuştur.

3.2.10. Mukavemet Analizi

Hortum numunelerine bu çalışma ile uygulanan su emme ve kurutma işlemlerinin numunelerin dayanıklılığı üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Özellikle kullanım esnasında hortumların yırtılması veya kopması, su aktarma işlemini olumsuz olarak etkileyeceği için istenmeyen bir durumdur. Bu sebeple, kurutma işlemi tamamlanmış olan numunelere çekme deneyi uygulanmış ve numunelerin uzama değerleri ile akma gerilmeleri tespit edilmiştir. Çekme testi, numunenin kopana dek maruz kaldığı kuvvetler karşısında gösterdiği mukavemet olarak özetlenebilir. Kauçuk türü malzemelere ait çekme deneyi için, ASTM D 412, DIN 53 504 ve ISO 37 no'lu standartlar kullanılabilir (Vahapoğlu, 2013). ASTM D 412 standardı incelendiğinde ise, numunelerin ASTM D412-D şeklinde parçalar haline getirildikten sonra çekme deneyinin uygulanması gerekliliği anlaşılmıştır (Şekil 3.12.).



Şekil 3.12. Çekme Deneyine Tabi Tutulacak Numune Ölçüleri (ASTM D412, 1992)

Hortum numuneleri, Şekil 3.2.1. de belirtilen şekilde, hortum içinden hem boyuna hem enine kesim uygulanarak elde edilmiştir. Bu sayede iki eksenli çekme deney verileri ile şekil değiştirme arasındaki bağlantı da incelenebilmiştir (Vahapoğlu, 2013). İki eksenli çekme deneyine tabi tutulmuş numunelerde çekme gerilmesi Eşitlik 3.5 yardımı ile hesaplanmıştır. Uygulanan çekme dayanımının kesit alanına bölümü ile gerilme değeri elde edilmiştir (Babalık ve Çavdar, 2012).

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad (3.5)$$

σ : çekme gerilmesini, F : çekme kuvvetini ve A : numunenin kesit alanını ifade etmektedir.

Yangına müdahale hortumuna ait çekme deneyi numuneleri, çekme cihazı yardımı ile 25 mm/dak hızla çekme işlemine tabi tutulmuşlardır. Sonrasında ise elde edilen sonuçlar ile kurutulmamış hortumların sonuçları karşılaştırılmış ve çekme mukavemetinde gerçekleşen değişimler değerlendirilmiştir.

3.2.11. Difüzyon Katsayısı ve Aktivasyon Enerjisi

Madhiyanon ve ark. (2009) çalışmalarında, difüzyon katsayısı ve aktivasyon enerjisinin değerlendirilmesinin ince tabaka kurutma işlemlerinde kullanılmasının Fick' in ikinci yasasına bağlı olduğunu belirtmişlerdir. Bu değerlendirmeye göre, difüzyon katsayısı sabit tutularak eşitliklerde uygun sınır koşulları çözümlene, Eşitlik 3.6'a ulaşılmaktadır. Brasiello ve ark. (2013) çalışmalarına göre ise benzer şekilde, uzun zaman alan kurutma işlemlerinde Eşitlik 3.7'nin ilk terimi çözüm için tercih edilebileceği belirtilmiştir. Eşitlik 3.8'de ise kurutma süresi ile $\ln(m_R)$ grafiğinin eğimi yardımıyla K değerinin elde edilmesi açıklanmıştır. Sobukola ve ark. (2008) yaptıkları çalışma ile Eşitlik 3.9'da yer alan efektif difüzyon katsayısının bantlı tip tünel kurutucuda sıcaklık ile değişimini göstermişlerdir. $1/(T+273,15)$ değerlerine karşı $\ln D_{eff}$

grafiğinin eğiminin yardımı ile de aktivasyon enerjisi değeri hesaplanır (Doymaz ve Aktaş, 2018). Mikrodalga kurutucu da ise efektif difüzyon katsayısı Eşitlik 3.10 ile hesaplanır (Kutlu ve İşçi, 2016).

$$m_R = \frac{m_t - m_e}{m_0 - m_e} = \frac{8}{\pi^2} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{1}{(2n+1)^2} \exp\left(-\frac{(2n+1)^2 \pi^2 D_{eff} t}{4L^2}\right) \quad (3.6)$$

$$m_R = \frac{8}{\pi^2} \exp\left(-\frac{\pi^2 D_{eff} t}{4L^2}\right) \quad (3.7)$$

$$K = \left(\frac{\pi^2 D_{eff}}{4L^2}\right) \quad (3.8)$$

$$D_{eff} = D_0 \exp\left(-\frac{E_a}{R(T+273,15)}\right) \quad (3.9)$$

$$D_{eff} = D_0 \exp\left(-\frac{E_a m}{P}\right) \quad (3.10)$$

m_R : Nem oranını, m_t : t anında nem içeriğini ($kg_{su}/kg_{kurumadde}$), m_e : denge nem içeriği ($kg_{su}/kg_{kurumadde}$), m_0 : kurutma öncesi ürünün nemini ($kg_{su}/kg_{kurumadde}$), m : yaş ürün ağırlığı, D_{eff} : efektif difüzyon katsayısını (m^2/s) ifade etmektedir. L : numune yarı kalınlığını (m), t : kurutma süresini (s), D_0 : sonsuz sıcaklıkta difüzyon hızına eş değer bir sabit (m^2/s), E_a : aktivasyon enerjisi (kJ/mol), R : gaz sabiti ($8,314kJ/(molK)$), P : mikrodalga gücünü ve T : kurutma sıcaklığını belirtmektedir.

3.2.12. Kuruma Hızı

Kurutma hızı, kurutulan numunede bulunan nem içeriğinin birim zamanda değişimi olarak tanımlanmıştır (Darvishi, 2012). Kuruma hızının tespitinde Eşitlik 3.11 kullanılmıştır.

$$D_R = \frac{m_{t+\Delta t} - m_t}{\Delta t} \quad (3.11)$$

Eşitlik 3.11’ de belirtilen; D_R : kuruma hızını ($g_{su}/g_{kurumadde}^{-1} \text{ dak}^{-1}$), m_t : t anında kuru baza göre nem miktarını, $m_{t+\Delta t}$: Δt anında kuru baza göre nem miktarını ifade etmektedir.

3.2.13. Matematiksel Modelleme

Yangına müdahale hortumunun dış malzemesi kumaştan, iç malzemesi kauçuktan oluşmakta ve iki malzeme birbirine tutkal ile yapıştırılmıştır. Numunelerin kurutulmasında bu sebeple diğer yöntemler kadar, ampirik ve yarı ampirik modellemeler de değerlendirilmiştir (Çelen, 2010). Bu çalışmada kullanılan modeller; Approximation of Diffusion, Verma et al., Two Term Exponential, Henderson & Pabis, Newton, Wang & Singh, Midilli et al., Copace, ve Logarithmic modelleridir (Çizelge 3.1.).

Bu çalışmada ise, XLSTAT programı yardımı ile non-lineer regresyon yöntemi ile nem değerlerindeki düşüş incelenmiş ve modellemeler yapılmıştır. Modellemelerin uygunluklarının değerlendirilmesi ise, korelasyon katsayısına, standart sapma değerine ve ki-kare değerine göre yapılmıştır.

Çizelge 3.1. Matematiksel Modeller ve Denklemleri

Matematiksel Model	Model Denklemi	Referans
Henderson & Pabis	$m_R = \alpha \exp(-kt)$	Mass ve Olten (1989)
Newton	$m_R = \exp(-kt)$	Ayensu (1997)
Wang & Singh	$m_R = 1 + at + bt^2$	Wang ve Singh (1978)
Logarithmic	$m_R = \alpha \exp(-kt) + b$	Yaldiz ve ark. (2001)
Midilli et al.	$m_R = \alpha \exp(-kt^n) + bt$	Midilli ve ark. (2002)
Copace	$m_R = (\alpha + bt) / (1 + ct + dt^2)$	Baptestini ve ark. (2016)
Approximation of Diffusion	$m_R = \alpha \exp(-kt) + (1-\alpha)\exp(-kbt)$	Çelen ve ark. (2010)
Verma et al.	$m_R = \alpha \exp(-kt) + (1-\alpha)\exp(-gt)$	Verma ve ark. (1985)
Two Term Exponential	$m_R = \alpha \exp(-kt) + (1-\alpha)\exp(-kat)$	Sharaf - Eldeen ve ark. (1980)

Deneylerden elde edilen verilere göre modeller değerlendirilmiş ve sonuçlara göre en uygun model seçilmiştir. Tespit edilen standart sapma değeri, teorik ve pratik uygulamalar arasındaki sapmayı, ki kare değeri uygulamalar arasındaki uygunluğu ve korelasyon katsayısı da modelin tercih edilebilirliğini belirtmektedir. Bu sebeple Herhangi bir modelin kabul

edilebilirliği için korelasyon katsayısının 1'e, standart sapma ve ki-kare değerinin ise 0 ya yakın olması tercih edilir. Eşitlik 3.12'de korelasyon katsayısı, Eşitlik 3.13'de standart sapma değeri ve Eşitlik 3.14'de ise ki-kare değeri tanımlanmıştır (Çelen ve Kuş, 2016).

$$r = \frac{n_o \sum_{i=1}^{n_o} mr_{pre,i} mr_{exp,i} - \sum_{i=1}^{n_o} mr_{pre,i} \sum_{i=1}^{n_o} mr_{exp,i}}{\sqrt{n_o \sum_{i=1}^{n_o} (mr_{pre,i})^2 - \left(\sum_{i=1}^{n_o} mr_{pre,i}\right)^2} \sqrt{n_o \sum_{i=1}^{n_o} (mr_{exp,i})^2 - \left(\sum_{i=1}^{n_o} mr_{exp,i}\right)^2}} \quad (3.12)$$

$$e_s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n_o} (mr_{pre,i} - mr_{exp,i})^2}{n_o}} \quad (3.13)$$

$$\chi^2 = \frac{\sum_{i=1}^{n_o} (mr_{pre,i} - mr_{exp,i})^2}{n_o - n_c} \quad (3.14)$$

Bu eşitliklerde bulunan; r : korelasyon katsayısını , e_s : standart sapma değerini, χ^2 : ki-kare değerini, $mr_{exp, i}$: deney sonucu elde edilen boyutsuz nem oranını, $mr_{pre, i}$: uygun modelde elde edilen boyutsuz nem oranını, n_o : gözlem sayısını, n_c : kurutma modelindeki sabitlerin sayısını ve n : üs değerlerini belirtmektedir.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI

4.1. Ağırlık (Nem Değişimi) Analizi

4.1.1. Mikrodalga Kurutma - Su Banyosunda 30 dakika

Çizelge 4.1. de değerleri gösterilen deneyde su banyosunda 30 dakika boyunca su emmiş olan 2 adet hortum numunesi mikrodalga kurutucuda 120 W gücünde kurutulmuştur. Kullanılan hortum numunelerinin su emmeden önceki ağırlıkları 1. numune için 125,674 g, 2. numune için ise 125,713 g olarak tespit edilmiştir. 30 dakika boyunca emdiği su ile birlikte 1. numune 142,435 g, 2. numune ise 142,815 g ağırlığına ulaşmıştır. Numunelerin kuruma işlemi toplam 63 dakikada gerçekleşmiş olup, bu süre boyunca numunelerin ağırlığı 1. numune için 17,315 g, 2. numune için ise 17,66 g azalmıştır. Kurutma işleminin gerçekleştiği sürede nem değeri 1. numune için 0,0569 $g_{su}/g_{kurumadde}$, 2. numune için ise 0,0547 $g_{su}/g_{kurumadde}$ miktarına kadar azalmıştır (Çizelge 4.1.).

Çizelge 4.2. de değerleri gösterilen deney için su banyosunda 30 dakika boyunca su emmiş olan 2 adet hortum numunesi mikrodalga kurutucuda 350 W gücünde kurutulmuştur. Deney için kullanılan hortum numunelerinin su emmeden önceki ağırlıkları 1. numune için 128,148 g, 2. numune için ise 128,574 g olarak ölçülmüştür. 30 dakika boyunca emdiği su ile birlikte 1. numunenin ağırlığı 144,168 g, 2. numunenin ağırlığı ise 144,510 g' a yükselmiştir. Numunelerin kuruma işlemi toplam 19 dakikada gerçekleşmiş olup, bu süre boyunca numunelerin ağırlığı 1. numune için 17,138 g, 2. numune için ise 17,005 g azalmıştır. Kurutma işleminin gerçekleştiği sürede nem değeri 1. numune için 0,0598 $g_{su}/g_{kurumadde}$, 2. numune için ise 0,0611 $g_{su}/g_{kurumadde}$ miktarına kadar azalmıştır (Çizelge 4.2.).

Çizelge 4.3. de değerleri gösterilen deneyde ise su banyosunda 30 dakika boyunca su emmiş olan 2 adet hortum numunesi mikrodalga kurutucuda 460 W gücünde kurutulmuştur. Bu deneyde ise, kullanılan hortum numunelerinin su emmeden önceki ağırlıkları 1. numune için 123,933 g, 2. numune için ise 123,795 g olarak ölçülmüş olup, 30 dakika boyunca emdikleri su ile birlikte 1. numune 140,813 g, 2. numune ise 140,236 g ağırlığa ulaşmıştır. Numunelerin kuruma işlemi toplam 12 dakikada gerçekleşmiş olup, bu süre boyunca numunelerin ağırlığı 1. numune için 17,513 g, 2. numune için ise 17,029 g azalmıştır. Kurutma işleminin gerçekleştiği sürede nem değeri 1. numune için 0,0539 $g_{su}/g_{kurumadde}$, 2. numune için ise 0,0571 $g_{su}/g_{kurumadde}$ miktarına kadar azalmıştır (Çizelge 4.3.).

Çizelge 4.1. Mikrodalga Kurutucu 120 W – 30 Dakika Su Banyosu

Mikrodalga gücü: 120 W	Hortum 1	Hortum 2		Hortum 1	Hortum 2		Hortum 1	Hortum 2	
	My 1 (g)	My 2 (g)	My Ort.	m _y 1 (g su/g kuru madde)	m _y 2 (g su/g kuru madde)	m _y Ort.	m _R 1	m _R 2	m _R Ort.
Zaman (dak)									
0	142,4350	142,8150	142,6250	0,1716	0,1716	0,1716	1,0000	1,0000	1,0000
3	139,9050	140,3750	140,1400	0,1566	0,1572	0,1569	0,9127	0,9161	0,9144
6	137,8700	138,1130	137,9915	0,1441	0,1433	0,1437	0,8401	0,8356	0,8378
9	136,6850	136,8850	136,7850	0,1367	0,1357	0,1362	0,7969	0,7908	0,7938
12	135,6360	135,8060	135,7210	0,1300	0,1288	0,1294	0,7579	0,7508	0,7543
15	134,5210	134,5420	134,5315	0,1228	0,1206	0,1217	0,7159	0,7031	0,7095
18	133,4850	133,4350	133,4600	0,1160	0,1133	0,1147	0,6762	0,6605	0,6684
21	132,4450	132,1670	132,3060	0,1091	0,1048	0,1069	0,6357	0,6109	0,6233
24	131,4290	131,0520	131,2405	0,1022	0,0972	0,0997	0,5956	0,5665	0,5811
27	130,4090	130,0180	130,2135	0,0952	0,0900	0,0926	0,5547	0,5247	0,5397
30	129,3420	128,8280	129,0850	0,0877	0,0816	0,0846	0,5112	0,4757	0,4934
33	128,2870	127,6930	127,9900	0,0802	0,0734	0,0768	0,4674	0,4281	0,4478
36	127,2930	126,8610	127,0770	0,0730	0,0674	0,0702	0,4256	0,3927	0,4091
39	126,4760	126,1690	126,3225	0,0670	0,0622	0,0646	0,3906	0,3629	0,3768
42	125,8620	125,6880	125,7750	0,0625	0,0587	0,0606	0,3641	0,3419	0,3530
45	125,4610	125,4110	125,4360	0,0595	0,0566	0,0580	0,3467	0,3298	0,3382
48	125,3010	125,2840	125,2925	0,0583	0,0556	0,0569	0,3397	0,3243	0,3320
51	125,2310	125,2610	125,2460	0,0577	0,0555	0,0566	0,3366	0,3232	0,3299
54	125,2080	125,2200	125,2140	0,0576	0,0551	0,0564	0,3356	0,3214	0,3285
57	125,1600	125,1950	125,1775	0,0572	0,0550	0,0561	0,3335	0,3203	0,3269
60	125,1280	125,1780	125,1530	0,0570	0,0548	0,0559	0,3321	0,3196	0,3258
63	125,1200	125,1550	125,1375	0,0569	0,0547	0,0558	0,3317	0,3186	0,3251

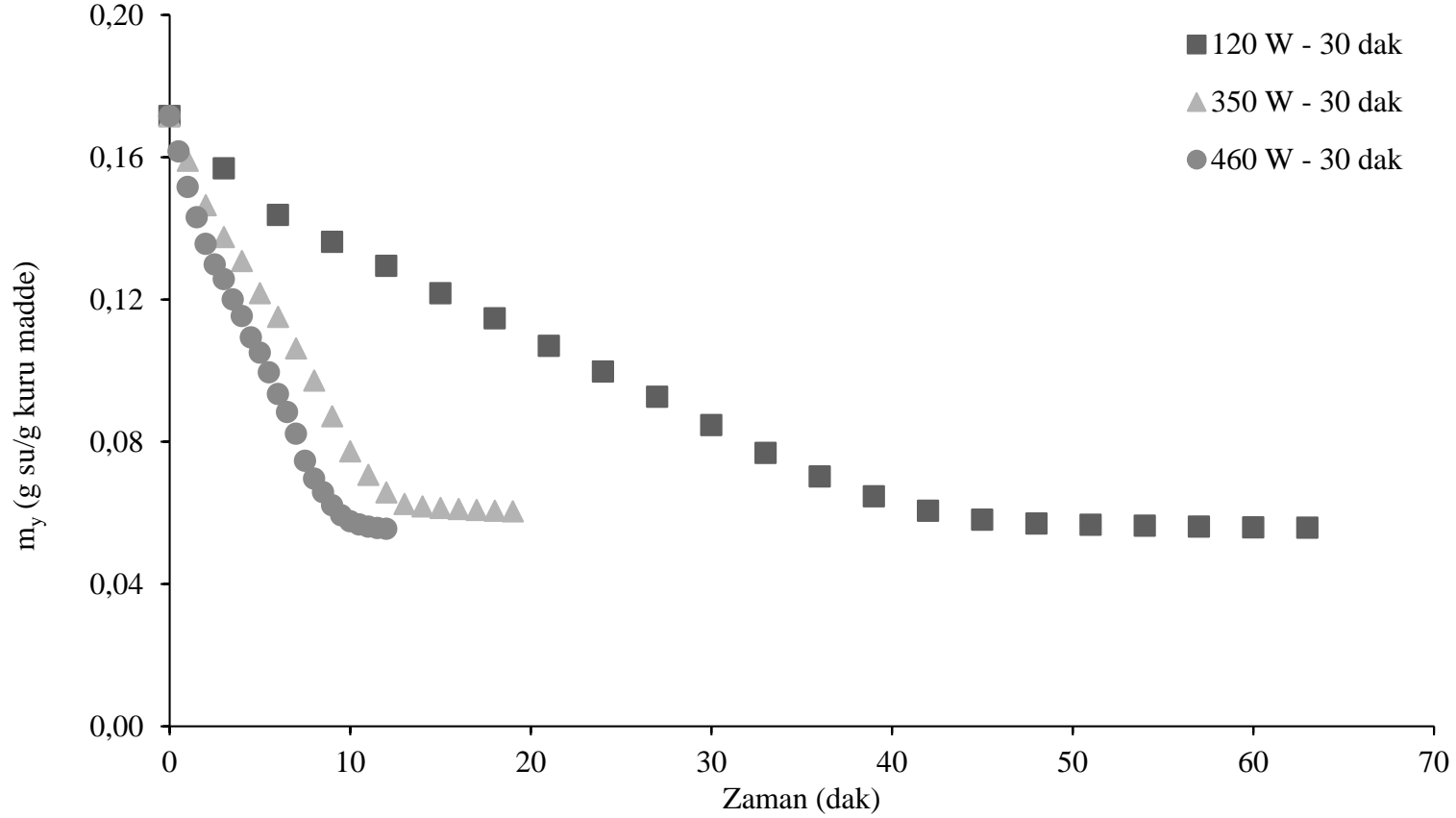
Çizelge 4.2. Mikrodalga Kurutucu 350 W – 30 Dakika Su Banyosu

Mikrodalga gücü: 350 W	Hortum 1	Hortum 2		Hortum 1	Hortum 2		Hortum 1	Hortum 2	
	My 1 (g)	My 2 (g)	My Ort.	m _y 1 (g su/g kuru madde)	m _y 2 (g su/g kuru madde)	m _y Ort.	m _R 1	m _R 2	m _R Ort.
Zaman (dak)									
0	144,1680	144,5100	144,3390	0,1715	0,1716	0,1716	1,0000	1,0000	1,0000
1	142,1150	142,2530	142,1840	0,1596	0,1584	0,1590	0,9302	0,9234	0,9268
2	139,9850	140,2190	140,1020	0,1468	0,1462	0,1465	0,8557	0,8522	0,8540
3	138,5180	138,7820	138,6500	0,1378	0,1374	0,1376	0,8030	0,8007	0,8019
4	137,4610	137,6780	137,5695	0,1311	0,1304	0,1308	0,7644	0,7604	0,7624
5	136,0530	136,2540	136,1535	0,1221	0,1214	0,1217	0,7120	0,7074	0,7097
6	135,0100	135,2530	135,1315	0,1154	0,1149	0,1151	0,6724	0,6695	0,6710
7	133,7910	133,7890	133,7900	0,1073	0,1052	0,1062	0,6254	0,6130	0,6192
8	132,4000	132,4950	132,4475	0,0979	0,0964	0,0972	0,5708	0,5621	0,5664
9	131,0290	130,9560	130,9925	0,0885	0,0858	0,0871	0,5157	0,5002	0,5080
10	129,6500	129,5430	129,5965	0,0788	0,0758	0,0773	0,4592	0,4421	0,4506
11	128,6300	128,7140	128,6720	0,0715	0,0699	0,0707	0,4167	0,4074	0,4120
12	127,8660	128,1130	127,9895	0,0659	0,0655	0,0657	0,3843	0,3819	0,3831
13	127,3150	127,7810	127,5480	0,0619	0,0631	0,0625	0,3607	0,3678	0,3643
14	127,2100	127,7050	127,4575	0,0611	0,0625	0,0618	0,3562	0,3645	0,3604
15	127,1470	127,6450	127,3960	0,0606	0,0621	0,0614	0,3535	0,3620	0,3577
16	127,0960	127,6190	127,3575	0,0603	0,0619	0,0611	0,3513	0,3608	0,3561
17	127,0650	127,5700	127,3175	0,0600	0,0615	0,0608	0,3500	0,3587	0,3544
18	127,0360	127,5500	127,2930	0,0598	0,0614	0,0606	0,3487	0,3579	0,3533
19	127,0300	127,5050	127,2675	0,0598	0,0611	0,0604	0,3485	0,3560	0,3522

Çizelge 4.3. Mikrodalga Kurutucu 460 W – 30 Dakika Su Banyosu

Mikrodalga gücü: 460 W	Hortum 1	Hortum 2		Hortum 1	Hortum 2		Hortum 1	Hortum 2	
	My 1 (g)	My 2 (g)	My Ort.	m _y 1 (g su/g kuru madde)	m _y 2 (g su/g kuru madde)	m _y Ort.	m _R 1	m _R 2	m _R Ort.
Zaman (dak)									
0	140,813	140,236	140,5245	0,1716	0,1716	0,1716	1	1	1
0,5	138,685	139,04	138,8625	0,1588	0,1644	0,1616	0,9259	0,9585	0,9422
1	137,13	137,318	137,224	0,1493	0,1539	0,1516	0,8703	0,8974	0,8838
1,5	135,814	135,889	135,8515	0,1411	0,1451	0,1431	0,8223	0,8455	0,8339
2	134,819	134,532	134,6755	0,1347	0,1364	0,1356	0,7853	0,7953	0,7903
2,5	133,886	133,677	133,7815	0,1287	0,1309	0,1298	0,7502	0,7631	0,7566
3	133,298	133,023	133,1605	0,1248	0,1266	0,1257	0,7277	0,7381	0,7329
3,5	132,371	132,223	132,297	0,1187	0,1213	0,12	0,692	0,7073	0,6997
4	131,737	131,437	131,587	0,1145	0,1161	0,1153	0,6673	0,6767	0,672
4,5	130,87	130,534	130,702	0,1086	0,11	0,1093	0,6331	0,6411	0,6371
5	130,225	129,91	130,0675	0,1042	0,1057	0,105	0,6074	0,6162	0,6118
5,5	129,415	129,137	129,276	0,0986	0,1004	0,0995	0,5747	0,585	0,5798
6	128,6	128,229	128,4145	0,0929	0,094	0,0934	0,5414	0,5478	0,5446
6,5	127,885	127,493	127,689	0,0878	0,0887	0,0883	0,5118	0,5173	0,5146
7	127,069	126,626	126,8475	0,0819	0,0825	0,0822	0,4777	0,481	0,4793
7,5	125,985	125,609	125,797	0,074	0,0751	0,0746	0,4316	0,4377	0,4346
8	125,291	124,954	125,1225	0,0689	0,0702	0,0696	0,4017	0,4094	0,4056
8,5	124,781	124,441	124,611	0,0651	0,0664	0,0658	0,3796	0,3871	0,3833
9	124,264	123,998	124,131	0,0612	0,0631	0,0621	0,3569	0,3676	0,3622
9,5	123,869	123,649	123,759	0,0582	0,0604	0,0593	0,3394	0,3522	0,3458
10	123,597	123,459	123,528	0,0562	0,059	0,0576	0,3274	0,3438	0,3356
10,5	123,479	123,344	123,4115	0,0553	0,0581	0,0567	0,3221	0,3387	0,3304
11	123,392	123,282	123,337	0,0546	0,0576	0,0561	0,3182	0,3359	0,3271
11,5	123,321	123,238	123,2795	0,054	0,0573	0,0557	0,315	0,3339	0,3245
12	123,3	123,207	123,2535	0,0539	0,0571	0,0555	0,3141	0,3326	0,3233

Şekil 4.1. de ise 30 Dakika su banyosunda bekletilen hortumun mikrodalga kurutmada nem değişimi görülmektedir. Mikrodalga kurutucu da uygulanan 120 W, 350 W ve 460 W güç değerlerinde kuruma işlemi, en hızlı 460 W güç değerinde 12 dakikada, en yavaş ise 120 W güç değerinde 63 dakika sürede gerçekleşmiştir.



Şekil 4.1. 30 Dakika Su Banyosunda Bekletilen Hortumun Mikrodalga Kurutmada Nem Değişimi

4.1.2. Mikrodalga Kurutucu - Su Banyosunda 60 dakika

Çizelge 4.4. de değerleri gösterilen deneyde su banyosunda 60 dakika boyunca su emmiş olan 2 adet hortum numunesi mikrodalga kurutucuda 120 W gücünde kurutulmuştur. Deneyde kullanılan hortum numunelerinin su emmeden önceki ağırlıkları 1.numune için 125,468 g, 2.numune için ise 125,783 g olarak tespit edilmiştir. 60 dakika boyunca emdiği su ile birlikte 1.numune 141,980 g, 2.numune ise 141,623 g ağırlığına ulaşmıştır. Numunelerin kuruma işlemi toplam 60 dakikada gerçekleşmiş olup, bu süre boyunca numunelerin ağırlığı 1. numune için 17,102 g, 2.numune için ise 16,437 g azalmıştır. Kurutma işleminin gerçekleştiği sürede nem değeri 1.numune için 0,0581 $\text{g}_{\text{su}}/\text{g}_{\text{kurumadde}}$, 2.numune için ise 0,0628 $\text{g}_{\text{su}}/\text{g}_{\text{kurumadde}}$ miktarına kadar azalmıştır (Çizelge 4.4.).

Çizelge 4.5. de değerleri gösterilen deney için su banyosunda 60 dakika boyunca su emmiş olan 2 adet hortum numunesi mikrodalga kurutucuda 350 W gücünde kurutulmuştur. Deneyde kullanılan hortum numunelerinin su emmeden önceki ağırlıkları 1.numune için 126,802 g, 2.numune için ise 127,034 g olarak tespit edilmiştir. 60 dakika boyunca emdiği su ile birlikte 1.numune 144,045 g, 2.numune ise 143,690 g ağırlığına ulaşmıştır. Numunelerin kuruma işlemi toplam 14 dakikada gerçekleşmiş olup, bu süre boyunca numunelerin ağırlığı 1. numune için 17,893 g, 2.numune için ise 17,373 g azalmıştır. Kurutma işleminin gerçekleştiği sürede nem değeri 1.numune için 0,0541 $\text{g}_{\text{su}}/\text{g}_{\text{kurumadde}}$, 2.numune için ise 0,0576 $\text{g}_{\text{su}}/\text{g}_{\text{kurumadde}}$ miktarına kadar azalmıştır (Çizelge 4.5.).

Çizelge 4.6. da değerleri gösterilen deneyde ise su banyosunda 60 dakika boyunca su emmiş olan 2 adet hortum numunesi mikrodalga kurutucuda 460 W gücünde kurutulmuştur. Deneyde kullanılan hortum numunelerinin su emmeden önceki ağırlıkları 1.numune için 128,032 g, 2.numune için ise 126,271 g olarak tespit edilmiştir. 60 dakika boyunca emdiği su ile birlikte 1.numune 144,411 g, 2.numune ise 141,593 g ağırlığına ulaşmıştır. Numunelerin kuruma işlemi toplam 11 dakikada gerçekleşmiş olup, bu süre boyunca numunelerin ağırlığı 1. numune için 16,990 g, 2.numune için ise 16,080 g azalmıştır. Kurutma işleminin gerçekleştiği sürede nem değeri 1.numune için 0,0611 $\text{g}_{\text{su}}/\text{g}_{\text{kurumadde}}$, 2.numune için ise 0,0654 $\text{g}_{\text{su}}/\text{g}_{\text{kurumadde}}$ miktarına kadar azalmıştır (Çizelge 4.6.).

Çizelge 4.4. Mikrodalga Kurutucu 120 W – 60 Dakika Su Banyosu

Mikrodalga gücü: 120 W	Hortum 1	Hortum 2		Hortum 1	Hortum 2		Hortum 1	Hortum 2	
	My 1 (g)	My 2 (g)	My Ort.	my 1 (g su/g kuru madde)	my 2 (g su/g kuru madde)	my Ort.	mR 1	mR 2	mR Ort.
Zaman (dak)									
0	141,9800	141,6230	141,8015	0,1716	0,1716	0,1716	1,0000	1,0000	1,0000
3	139,5000	139,4370	139,4685	0,1568	0,1586	0,1577	0,9141	0,9243	0,9192
6	137,6880	137,7860	137,7370	0,1457	0,1485	0,1471	0,8495	0,8655	0,8575
9	136,5050	136,6060	136,5555	0,1383	0,1411	0,1397	0,8063	0,8226	0,8145
12	135,4890	135,5910	135,5400	0,1319	0,1347	0,1333	0,7686	0,7852	0,7769
15	134,2690	134,4610	134,3650	0,1240	0,1274	0,1257	0,7227	0,7428	0,7327
18	133,0640	133,3110	133,1875	0,1160	0,1199	0,1180	0,6764	0,6989	0,6877
21	131,9550	132,2000	132,0775	0,1086	0,1125	0,1106	0,6331	0,6558	0,6445
24	130,9220	131,2400	131,0810	0,1016	0,1060	0,1038	0,5921	0,6180	0,6050
27	129,8960	130,1710	130,0335	0,0945	0,0987	0,0966	0,5508	0,5752	0,5630
30	128,8320	129,2000	129,0160	0,0870	0,0919	0,0895	0,5072	0,5357	0,5214
33	127,8590	128,2450	128,0520	0,0801	0,0851	0,0826	0,4667	0,4963	0,4815
36	126,7630	127,2570	127,0100	0,0721	0,0780	0,0751	0,4203	0,4548	0,4376
39	126,0970	126,5800	126,3385	0,0672	0,0731	0,0702	0,3917	0,4261	0,4089
42	125,5430	125,9750	125,7590	0,0631	0,0686	0,0659	0,3677	0,4002	0,3839
45	125,1780	125,5410	125,3595	0,0604	0,0654	0,0629	0,3518	0,3814	0,3666
48	125,0440	125,3740	125,2090	0,0593	0,0642	0,0618	0,3459	0,3741	0,3600
51	124,9570	125,2760	125,1165	0,0587	0,0635	0,0611	0,3421	0,3699	0,3560
54	124,9140	125,2280	125,0710	0,0584	0,0631	0,0607	0,3402	0,3678	0,3540
57	124,8890	125,1880	125,0385	0,0582	0,0628	0,0605	0,3391	0,3660	0,3526
60	124,8780	125,1860	125,0320	0,0581	0,0628	0,0604	0,3387	0,3659	0,3523

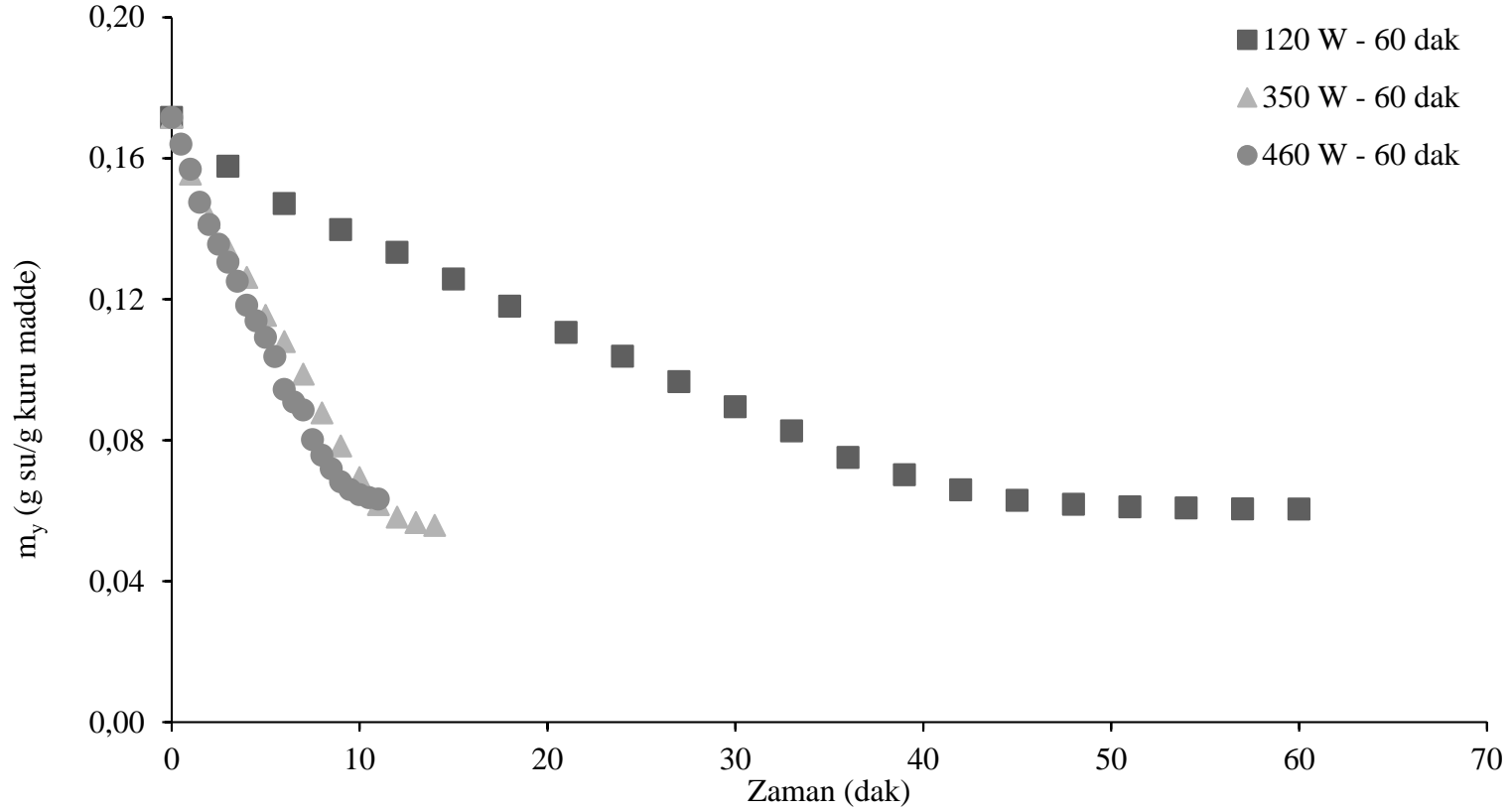
Çizelge 4.5. Mikrodalga Kurutucu 350 W – 60 Dakika Su Banyosu

Mikrodalga gücü: 350 W	Hortum 1	Hortum 2		Hortum 1	Hortum 2		Hortum 1	Hortum 2	
	My 1 (g)	My 2 (g)	My Ort.	m _y 1 (g su/g kuru madde)	m _y 2 (g su/g kuru madde)	m _y Ort.	m _R 1	m _R 2	m _R Ort.
Zaman (dak)									
0	144,0450	143,6900	143,8675	0,1716	0,1715	0,1716	1,0000	1,0000	1,0000
1	141,1400	141,1230	141,1315	0,1545	0,1565	0,1555	0,9006	0,9122	0,9064
2	139,3700	138,8140	139,0920	0,1438	0,1424	0,1431	0,8380	0,8304	0,8342
3	137,8020	137,5020	137,6520	0,1340	0,1343	0,1341	0,7812	0,7827	0,7819
4	136,5070	136,2860	136,3965	0,1258	0,1265	0,1262	0,7333	0,7376	0,7355
5	134,7900	134,6870	134,7385	0,1147	0,1162	0,1154	0,6684	0,6772	0,6728
6	133,6660	133,5590	133,6125	0,1072	0,1087	0,1080	0,6250	0,6337	0,6294
7	132,3000	132,1910	132,2455	0,0980	0,0995	0,0987	0,5713	0,5799	0,5756
8	130,7850	130,5140	130,6495	0,0876	0,0879	0,0877	0,5104	0,5125	0,5114
9	129,4700	129,1770	129,3235	0,0783	0,0785	0,0784	0,4564	0,4574	0,4569
10	128,1740	127,9770	128,0755	0,0690	0,0698	0,0694	0,4021	0,4071	0,4046
11	127,0680	126,9900	127,0290	0,0609	0,0626	0,0617	0,3548	0,3649	0,3599
12	126,4920	126,6050	126,5485	0,0566	0,0598	0,0582	0,3299	0,3483	0,3391
13	126,2590	126,4260	126,3425	0,0549	0,0584	0,0566	0,3197	0,3406	0,3302
14	126,1520	126,3170	126,2345	0,0541	0,0576	0,0558	0,3151	0,3358	0,3254

Çizelge 4.6. Mikrodalga Kurutucu 460 W – 60 Dakika Su Banyosu

Mikrodalga gücü: 460 W	Hortum 1	Hortum 2		Hortum 1	Hortum 2		Hortum 1	Hortum 2	
	My 1 (g)	My 2 (g)	My Ort.	m _y 1 (g su/g kuru madde)	m _y 2 (g su/g kuru madde)	m _y Ort.	m _R 1	m _R 2	m _R Ort.
Zaman (dak)									
0	144,4410	141,5930	143,0170	0,1716	0,1716	0,1716	1,0000	1,0000	1,0000
0,5	143,0410	140,4000	141,7205	0,1634	0,1645	0,1640	0,9527	0,9590	0,9559
1	141,9400	139,1120	140,5260	0,1570	0,1568	0,1569	0,9149	0,9139	0,9144
1,5	140,0350	137,9200	138,9775	0,1455	0,1495	0,1475	0,8481	0,8714	0,8597
2	139,1790	136,7360	137,9575	0,1402	0,1421	0,1412	0,8174	0,8285	0,8229
2,5	138,3230	135,8050	137,0640	0,1349	0,1362	0,1356	0,7864	0,7942	0,7903
3	137,5180	134,9980	136,2580	0,1298	0,1311	0,1305	0,7569	0,7641	0,7605
3,5	136,7670	134,0760	135,4215	0,1251	0,1251	0,1251	0,7290	0,7293	0,7291
4	135,7020	133,0450	134,3735	0,1182	0,1183	0,1183	0,6890	0,6897	0,6894
4,5	135,0450	132,3600	133,7025	0,1139	0,1138	0,1138	0,6640	0,6631	0,6636
5	134,3940	131,6060	133,0000	0,1096	0,1087	0,1092	0,6390	0,6335	0,6363
5,5	133,5810	130,8020	132,1915	0,1042	0,1032	0,1037	0,6074	0,6016	0,6045
6	132,2400	129,4150	130,8275	0,0951	0,0936	0,0944	0,5544	0,5456	0,5500
6,5	131,7580	128,8700	130,3140	0,0918	0,0898	0,0908	0,5351	0,5232	0,5292
7	131,1150	128,8700	129,9925	0,0874	0,0898	0,0886	0,5092	0,5232	0,5162
7,5	130,2680	127,3430	128,8055	0,0814	0,0789	0,0801	0,4746	0,4596	0,4671
8	129,6060	126,7650	128,1855	0,0767	0,0746	0,0757	0,4472	0,4351	0,4412
8,5	128,9850	126,3290	127,6570	0,0723	0,0715	0,0719	0,4213	0,4165	0,4189
9	128,3630	125,9380	127,1505	0,0678	0,0686	0,0682	0,3951	0,3997	0,3974
9,5	127,9500	125,7500	126,8500	0,0648	0,0672	0,0660	0,3776	0,3916	0,3846
10	127,6600	125,6430	126,6515	0,0627	0,0664	0,0645	0,3652	0,3870	0,3761
10,5	127,5200	125,5500	126,5350	0,0616	0,0657	0,0637	0,3592	0,3829	0,3711
11	127,4510	125,5130	126,4820	0,0611	0,0654	0,0633	0,3562	0,3813	0,3688

Şekil 4.2. de ise 60 dakika boyunca su emdirilen hortum numunelerine ait nem değerinin zamana göre azalışı görülmektedir. Mikrodalga kurutucu da uygulanan 120 W, 350 W ve 460 W güç değerlerinde kuruma işlemi, en hızlı 460 W güç değerinde 11 dakikada, en yavaş ise 120 W güç değerinde 60 dakika sürede gerçekleşmiştir.



Şekil 4.2. 60 Dakika Su Banyosunda Bekletilen Hortumun Mikrodalga Kurutmada Nem Değişimi

4.1.3. Mikrodalga Kurutucu - Su Banyosunda 90 dakika

Çizelge 4.7. de değerleri gösterilen deneyde su banyosunda 90 dakika boyunca su emmiş olan 2 adet hortum numunesi mikrodalga kurutucuda 120 W gücünde kurutulmuştur. Bu deneyde kullanılan hortum numunelerinin su emmeden önceki ağırlıkları 1.numune için 125,408 g, 2.numune için ise 125,532 g olarak tespit edilmiştir. 90 dakika boyunca emdiği su ile birlikte 1.numune 141,683 g, 2.numune ise 141,902 g ağırlığına ulaşmıştır. Numunelerin kuruma işlemi toplam 54 dakikada gerçekleşmiş olup, bu süre boyunca numunelerin ağırlığı 1. numune için 16,631 g, 2.numune için ise 16,853 g azalmıştır. Kurutma işleminin gerçekleştiği sürede nem değeri 1.numune için 0,0548 $g_{su}/g_{kurumadde}$, 2.numune için ise 0,0599 $g_{su}/g_{kurumadde}$ miktarına kadar azalmıştır (Çizelge 4.7.).

Çizelge 4.8. de değerleri gösterilen deney için su banyosunda 90 dakika boyunca su emmiş olan 2 adet hortum numunesi mikrodalga kurutucuda 350 W gücünde kurutulmuştur. Bu deneyde ise, kullanılan hortum numunelerinin su emmeden önceki ağırlıkları 1.numune için 125,249 g, 2.numune için ise 125,266 g olarak ölçülmüş olup, 90 dakika boyunca emdikleri su ile birlikte 1.numune 142,755 g, 2.numune ise 143,058 g ağırlığına ulaşmıştır. Numunelerin kuruma işlemi toplam 13 dakikada gerçekleşmiş olup, bu süre boyunca numunelerin ağırlığı 1. numune için 17,000 g, 2.numune için ise 16,956 g azalmıştır. Kurutma işleminin gerçekleştiği sürede nem değeri 1.numune için 0,0596 $g_{su}/g_{kurumadde}$, 2.numune için ise 0,0602 $g_{su}/g_{kurumadde}$ miktarına kadar azalmıştır (Çizelge 4.8.).

Çizelge 4.9. da değerleri gösterilen deneyde ise su banyosunda 90 dakika boyunca su emmiş olan 2 adet hortum numunesi mikrodalga kurutucuda 460 W gücünde kurutulmuştur. Deney için kullanılan hortum numunelerinin su emmeden önceki ağırlıkları 1.numune için 125,348 g, 2.numune için ise 125,304 g olarak ölçülmüştür. 90 dakika boyunca emdiği su ile birlikte 1.numunenin ağırlığı 141,038 g, 2.numunenin ağırlığı ise 141,066 g' a yükselmiştir. Numunelerin kuruma işlemi toplam 10,5 dakikada gerçekleşmiş olup, bu süre boyunca numunelerin ağırlığı 1. numune için 16,278 g, 2.numune için ise 16,265 g azalmıştır. Kurutma işleminin gerçekleştiği sürede nem değeri 1.numune için 0,0635 $g_{su}/g_{kurumadde}$, 2.numune için ise 0,0636 $g_{su}/g_{kurumadde}$ miktarına kadar azalmıştır (Çizelge 4.9.).

Çizelge 4.7. Mikrodalga Kurutucu 120 W – 90 Dakika Su Banyosu

Mikrodalga gücü: 120 W	Hortum 1	Hortum 2		Hortum 1	Hortum 2		Hortum 1	Hortum 2	
	My 1 (g)	My 2 (g)	My Ort.	m _y 1 (g su/g kuru madde)	m _y 2 (g su/g kuru madde)	m _y Ort.	m _R 1	m _R 2	m _R Ort.
Zaman (dak)									
0	141,6830	141,9020	141,7925	0,1657	0,1716	0,1686	1,0000	1,0000	1,0000
3	139,5540	139,4640	139,5090	0,1530	0,1571	0,1550	0,9232	0,9156	0,9194
6	137,8440	137,2900	137,5670	0,1425	0,1437	0,1431	0,8598	0,8378	0,8488
9	136,4130	136,4460	136,4295	0,1335	0,1384	0,1360	0,8055	0,8069	0,8062
12	135,1800	135,2830	135,2315	0,1256	0,1310	0,1283	0,7578	0,7637	0,7608
15	134,3230	134,3340	134,3285	0,1200	0,1249	0,1224	0,7241	0,7279	0,7260
18	133,4570	133,4420	133,4495	0,1143	0,1190	0,1167	0,6897	0,6938	0,6918
21	132,3730	132,2690	132,3210	0,1070	0,1112	0,1091	0,6459	0,6483	0,6471
24	131,4900	131,2900	131,3900	0,1010	0,1046	0,1028	0,6097	0,6097	0,6097
27	130,7630	130,4160	130,5895	0,0960	0,0986	0,0973	0,5796	0,5747	0,5771
30	129,7810	129,4210	129,6010	0,0892	0,0917	0,0904	0,5383	0,5343	0,5363
33	128,8850	128,4080	128,6465	0,0829	0,0845	0,0837	0,5001	0,4925	0,4963
36	127,7240	127,3030	127,5135	0,0745	0,0765	0,0755	0,4498	0,4462	0,4480
39	127,2300	126,7470	126,9885	0,0709	0,0725	0,0717	0,4281	0,4226	0,4253
42	126,6950	126,1940	126,4445	0,0670	0,0684	0,0677	0,4044	0,3989	0,4017
45	125,6450	125,3720	125,5085	0,0592	0,0623	0,0608	0,3573	0,3633	0,3603
48	125,2430	125,1520	125,1975	0,0562	0,0607	0,0584	0,3391	0,3537	0,3464
51	125,1040	125,0790	125,0915	0,0551	0,0601	0,0576	0,3328	0,3505	0,3416
54	125,0520	125,0490	125,0505	0,0548	0,0599	0,0573	0,3304	0,3492	0,3398

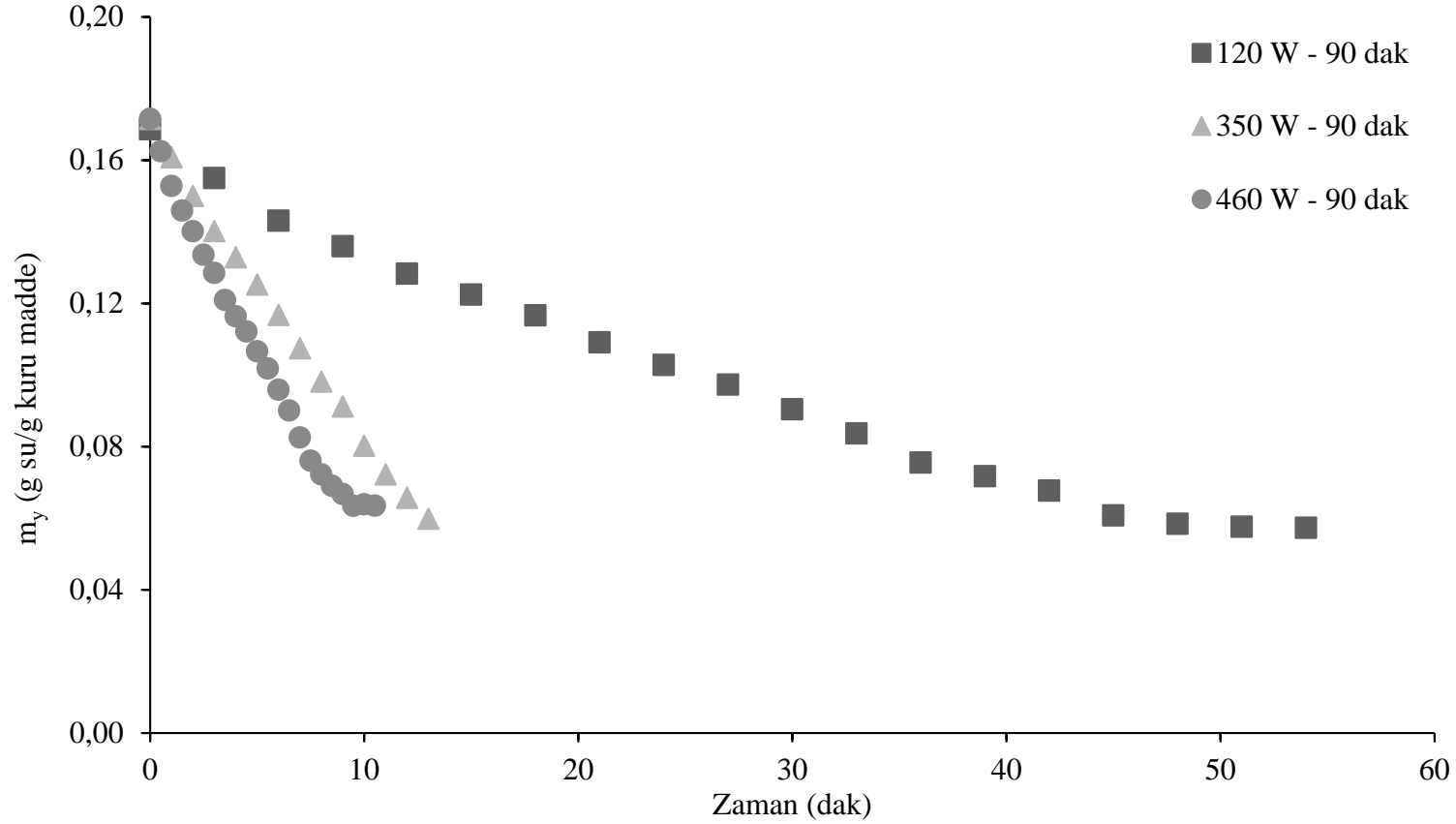
Çizelge 4.8. Mikrodalga Kurutucu 350 W – 90 Dakika Su Banyosu

Mikrodalga gücü: 350 W	Hortum 1	Hortum 2		Hortum 1	Hortum 2		Hortum 1	Hortum 2	
	My 1 (g)	My 2 (g)	My Ort.	m _y 1 (g su/g kuru madde)	m _y 2 (g su/g kuru madde)	m _y Ort.	m _R 1	m _R 2	m _R Ort.
Zaman (dak)									
0	142,7550	143,0580	142,9090	0,1716	0,1716	0,1716	1,0000	1,0000	1,0000
1	140,9500	141,2080	141,0790	0,1609	0,1607	0,1608	0,9270	0,9252	0,9261
2	139,4050	139,1650	139,2850	0,1516	0,1484	0,1500	0,8620	0,8507	0,8563
3	137,6900	137,7050	137,6975	0,1411	0,1393	0,1402	0,8026	0,8008	0,8017
4	136,4560	136,6170	136,5365	0,1333	0,1325	0,1329	0,7597	0,7518	0,7558
5	135,2620	135,4320	135,3470	0,1257	0,1249	0,1253	0,7050	0,6967	0,7008
6	133,9260	134,1710	134,0485	0,1169	0,1167	0,1168	0,6557	0,6364	0,6461
7	132,4360	132,8650	132,6505	0,1070	0,1080	0,1075	0,6071	0,5894	0,5982
8	131,1210	131,4410	131,2810	0,0980	0,0983	0,0982	0,5567	0,5366	0,5466
9	130,0400	130,5040	130,2720	0,0905	0,0919	0,0912	0,4998	0,4745	0,4871
10	128,4270	129,0180	128,7225	0,0791	0,0814	0,0803	0,4559	0,4357	0,4458
11	127,3790	127,8460	127,6125	0,0716	0,0730	0,0723	0,4280	0,4169	0,4224
12	126,5570	126,8790	126,7180	0,0655	0,0659	0,0657	0,4115	0,4042	0,4079
13	125,7550	126,1020	125,9285	0,0596	0,0602	0,0599	0,4046	0,3992	0,4019

Çizelge 4.9. Mikrodalga Kurutucu 460 W – 90 Dakika Su Banyosu

Mikrodalga gücü: 460 W	Hortum 1	Hortum 2		Hortum 1	Hortum 2		Hortum 1	Hortum 2	
	My 1 (g)	My 2 (g)	My Ort.	m _y 1 (g su/g kuru madde)	m _y 2 (g su/g kuru madde)	m _y Ort.	m _R 1	m _R 2	m _R Ort.
Zaman (dak)									
0	141,0380	141,0660	141,0520	0,1716	0,1716	0,1716	1,0000	1,0000	1,0000
0,5	139,5850	139,4740	139,5295	0,1629	0,1621	0,1625	0,9497	0,9449	0,9473
1	137,9620	137,9030	137,9325	0,1531	0,1526	0,1528	0,8923	0,8892	0,8908
1,5	136,7420	136,8880	136,8150	0,1455	0,1463	0,1459	0,8483	0,8526	0,8505
2	135,7720	136,0270	135,8995	0,1394	0,1409	0,1401	0,8127	0,8211	0,8169
2,5	134,7600	134,9840	134,8720	0,1330	0,1342	0,1336	0,7750	0,7824	0,7787
3	133,9810	134,1850	134,0830	0,1279	0,1291	0,1285	0,7456	0,7524	0,7490
3,5	132,7700	133,0980	132,9340	0,1200	0,1220	0,1210	0,6993	0,7109	0,7051
4	132,1120	132,3770	132,2445	0,1156	0,1172	0,1164	0,6737	0,6830	0,6784
4,5	131,5100	131,7150	131,6125	0,1115	0,1127	0,1121	0,6501	0,6572	0,6537
5	130,7600	130,8390	130,7995	0,1064	0,1068	0,1066	0,6204	0,6225	0,6215
5,5	130,0190	130,1850	130,1020	0,1013	0,1023	0,1018	0,5907	0,5964	0,5936
6	129,2200	129,2690	129,2445	0,0958	0,0960	0,0959	0,5584	0,5593	0,5588
6,5	128,4240	128,4190	128,4215	0,0902	0,0900	0,0901	0,5257	0,5244	0,5251
7	127,4840	127,2470	127,3655	0,0835	0,0816	0,0825	0,4866	0,4756	0,4811
7,5	126,5550	126,3910	126,4730	0,0767	0,0754	0,0761	0,4474	0,4393	0,4433
8	126,0350	125,8730	125,9540	0,0729	0,0716	0,0723	0,4252	0,4171	0,4212
8,5	125,5480	125,4950	125,5215	0,0693	0,0688	0,0691	0,4042	0,4008	0,4025
9	125,2020	125,2260	125,2140	0,0668	0,0668	0,0668	0,3892	0,3892	0,3892
9,5	124,5490	124,9970	124,7730	0,0619	0,0651	0,0635	0,3607	0,3792	0,3700
10	124,8030	124,8610	124,8320	0,0638	0,0640	0,0639	0,3718	0,3733	0,3726
10,5	124,7600	124,8010	124,7805	0,0635	0,0636	0,0635	0,3699	0,3707	0,3703

Şekil 4.3. de ise 90 dakika boyunca su emdirilen hortum numunelerine ait nem değerinin zamana göre azalışı görülmektedir. Mikrodalga kurutucu da uygulanan 120 W, 350 W ve 460 W güç değerlerinde kuruma işlemi, en hızlı 460 W güç değerinde 10,5 dakikada, en yavaş ise 120 W güç değerinde 54 dakika sürede gerçekleşmiştir.



Şekil 4.3. 90 Dakika Su Banyosunda Bekletilen Hortumun Mikrodalga Kurutmada Nem Değişimi

4.1.4. Bantlı Tip Tünel Kurutucu - Su Banyosunda 30 dakika

Çizelge 4.10. da değerleri gösterilen deneyde su banyosunda 30 dakika boyunca su emmiş olan 2 adet hortum numunesi Bantlı Tip Tünel Kurutucuda 50 °C sıcaklığında kurutulmuştur. Bu deneyde kullanılan hortum numunelerinin su emmeden önceki ağırlıkları 1.numune için 126,875 g, 2.numune için ise 126,865 g olarak tespit edilmiştir. 30 dakika boyunca emdiği su ile birlikte 1.numune 142,910 g, 2.numune ise 142,594 g ağırlığına ulaşmıştır. Numunelerin kuruma işlemi toplam 240 dakikada gerçekleşmiş olup, bu süre boyunca numunelerin ağırlığı 1. numune için 16,277 g, 2.numune için ise 16,280 g azalmıştır. Kurutma işleminin gerçekleştiği sürede nem değeri 1.numune için 0,0651 $g_{su}/g_{kurumadde}$, 2.numune için ise 0,0648 $g_{su}/g_{kurumadde}$ miktarına kadar azalmıştır (Çizelge 4.10.).

Çizelge 4.11. de değerleri gösterilen deney için su banyosunda 30 dakika boyunca su emmiş olan 2 adet hortum numunesi Bantlı Tip Tünel Kurutucuda 60 °C sıcaklığında kurutulmuştur. Bu deneyde ise, kullanılan hortum numunelerinin su emmeden önceki ağırlıkları 1.numune için 127,544 g, 2.numune için ise 128,325 g olarak ölçülmüş olup, 30 dakika boyunca emdikleri su ile birlikte 1.numune 143,490 g, 2.numune ise 145,528 g ağırlığa ulaşmıştır. Numunelerin kuruma işlemi toplam 195 dakikada gerçekleşmiş olup, bu süre boyunca numunelerin ağırlığı 1. numune için 17,071 g, 2.numune için ise 17,173 g azalmıştır. Kurutma işleminin gerçekleştiği sürede nem değeri 1.numune için 0,0597 $g_{su}/g_{kurumadde}$, 2.numune için ise 0,0607 $g_{su}/g_{kurumadde}$ miktarına kadar azalmıştır (Çizelge 4.11.).

Çizelge 4.12. de değerleri gösterilen deneyde ise su banyosunda 30 dakika boyunca su emmiş olan 2 adet hortum numunesi Bantlı Tip Tünel Kurutucuda 70 °C sıcaklığında kurutulmuştur. Deney için kullanılan hortum numunelerinin su emmeden önceki ağırlıkları 1.numune için 123,920 g, 2.numune için ise 123,280 g olarak ölçülmüştür. 30 dakika boyunca emdiği su ile birlikte 1.numunenin ağırlığı 140,562 g, 2.numunenin ağırlığı ise 140,106 g' a yükselmiştir. Numunelerin kuruma işlemi toplam 180 dakikada gerçekleşmiş olup, bu süre boyunca numunelerin ağırlığı 1. numune için 16,977 g, 2.numune için ise 17,187 g azalmıştır. Kurutma işleminin gerçekleştiği sürede nem değeri 1.numune için 0,0577 $g_{su}/g_{kurumadde}$, 2.numune için ise 0,0557 $g_{su}/g_{kurumadde}$ miktarına kadar azalmıştır (Çizelge 4.12.).

Çizelge 4.10. Bantlı Tip Tünel Kurutucu 50 °C – 30 Dakika Su Banyosu

Bant Sıcaklığı: 50 °C	Hortum 1	Hortum 2		Hortum 1	Hortum 2		Hortum 1	Hortum 2	
	My 1 (g)	My 2 (g)	My Ort.	m _y 1 (g su/g kuru madde)	m _y 2 (g su/g kuru madde)	m _y Ort.	m _R 1	m _R 2	m _R Ort.
Zaman (dak)									
0	142,9100	142,5940	142,7520	0,1716	0,1715	0,1716	1,0000	1,0000	1,0000
15	139,4160	138,8330	139,1245	0,1508	0,1491	0,1500	0,8790	0,8692	0,8741
30	136,7050	136,4000	136,5525	0,1340	0,1339	0,1339	0,7808	0,7807	0,7808
45	135,1350	134,4550	134,7950	0,1239	0,1214	0,1226	0,7222	0,7077	0,7149
60	133,6420	132,6400	133,1410	0,1141	0,1094	0,1117	0,6651	0,6376	0,6514
75	132,2810	131,1490	131,7150	0,1050	0,0993	0,1021	0,6120	0,5786	0,5953
90	130,9200	129,7420	130,3310	0,0957	0,0895	0,0926	0,5577	0,5216	0,5397
105	129,7670	128,6410	129,2040	0,0876	0,0817	0,0847	0,5109	0,4762	0,4936
120	128,7930	127,8730	128,3330	0,0807	0,0762	0,0785	0,4707	0,4441	0,4574
135	128,0800	127,3750	127,7275	0,0756	0,0726	0,0741	0,4409	0,4230	0,4319
150	127,6380	127,0940	127,3660	0,0724	0,0705	0,0715	0,4222	0,4110	0,4166
165	127,3100	126,8730	127,0915	0,0700	0,0689	0,0695	0,4083	0,4016	0,4049
180	127,0930	126,6810	126,8870	0,0685	0,0675	0,0680	0,3990	0,3934	0,3962
195	126,9080	126,5290	126,7185	0,0671	0,0664	0,0667	0,3911	0,3869	0,3890
210	126,7730	126,4340	126,6035	0,0661	0,0657	0,0659	0,3853	0,3828	0,3840
225	126,6510	126,3750	126,5130	0,0652	0,0652	0,0652	0,3801	0,3802	0,3801
240	126,6330	126,3140	126,4735	0,0651	0,0648	0,0649	0,3793	0,3776	0,3784

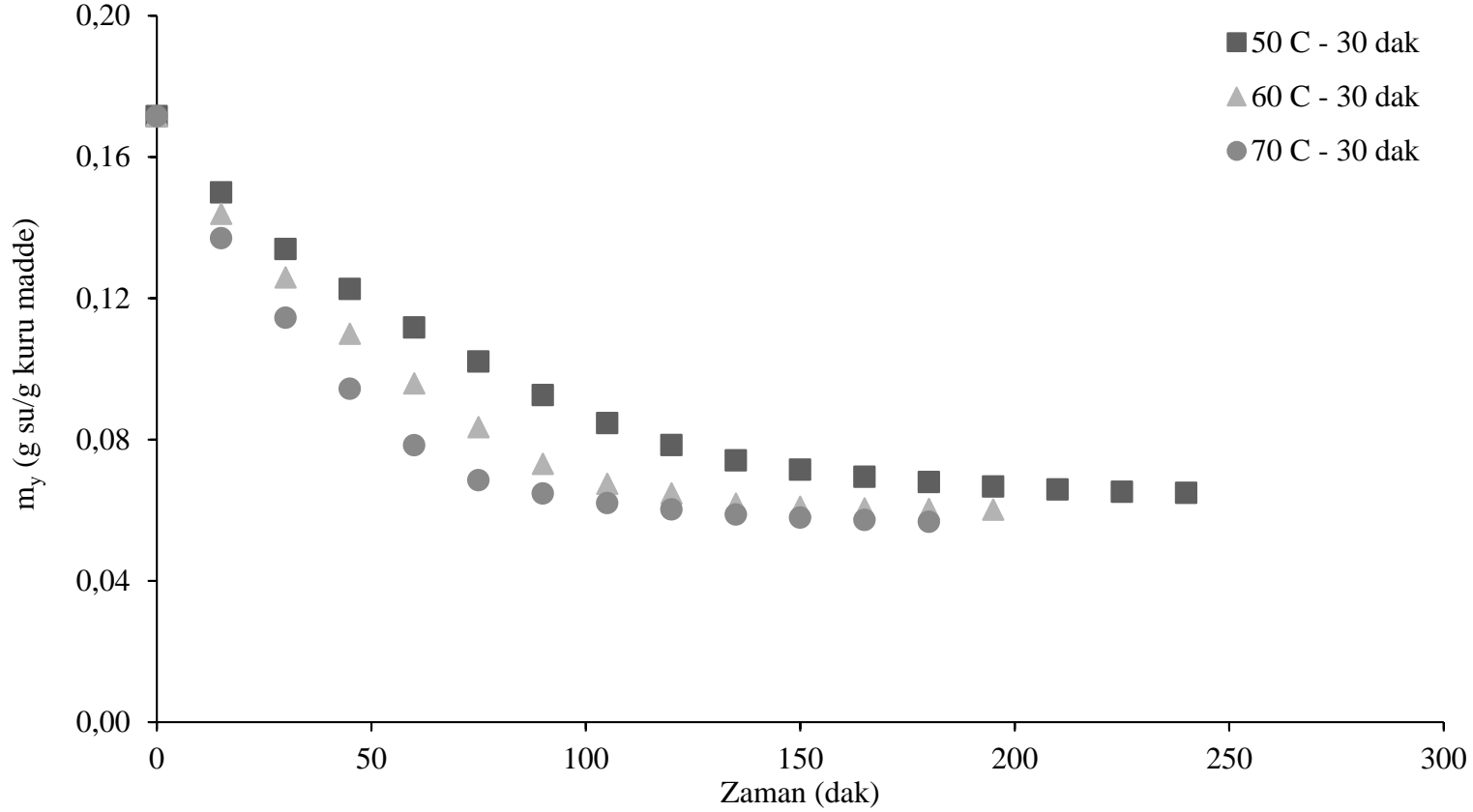
Çizelge 4.11. Bantlı Tip Tünel Kurutucu 60 °C – 30 Dakika Su Banyosu

Bant Sıcaklığı: 60 °C	Hortum 1	Hortum 2		Hortum 1	Hortum 2		Hortum 1	Hortum 2	
	My 1 (g)	My 2 (g)	My Ort.	m _y 1 (g su/g kuru madde)	m _y 2 (g su/g kuru madde)	m _y Ort.	m _R 1	m _R 2	m _R Ort.
Zaman (dak)									
0	143,4900	145,5280	144,5090	0,1716	0,1716	0,1716	1,0000	1,0000	1,0000
15	138,3350	141,3700	139,8525	0,1407	0,1472	0,1439	0,8200	0,8580	0,8390
30	135,7430	138,1970	136,9700	0,1243	0,1276	0,1259	0,7244	0,7438	0,7341
45	133,2900	135,7370	134,5135	0,1082	0,1118	0,1100	0,6305	0,6517	0,6411
60	131,3900	133,4540	132,4220	0,0953	0,0966	0,0959	0,5553	0,5631	0,5592
75	129,6930	131,5670	130,6300	0,0834	0,0836	0,0835	0,4863	0,4876	0,4869
90	128,1560	130,1850	129,1705	0,0724	0,0739	0,0732	0,4222	0,4309	0,4265
105	127,4280	129,3410	128,3845	0,0671	0,0679	0,0675	0,3913	0,3956	0,3935
120	127,0890	128,9400	128,0145	0,0646	0,0650	0,0648	0,3768	0,3787	0,3778
135	126,7050	128,5260	127,6155	0,0618	0,0620	0,0619	0,3603	0,3612	0,3607
150	126,5760	128,4200	127,4980	0,0608	0,0612	0,0610	0,3547	0,3567	0,3557
165	126,5010	128,3690	127,4350	0,0603	0,0608	0,0606	0,3515	0,3545	0,3530
180	126,4600	128,3610	127,4105	0,0600	0,0608	0,0604	0,3497	0,3542	0,3519
195	126,4190	128,3550	127,3870	0,0597	0,0607	0,0602	0,3479	0,3539	0,3509

Çizelge 4.12. Bantlı Tip Tünel Kurutucu 70 °C – 30 Dakika Su Banyosu

Bant Sıcaklığı: 70 °C	Hortum 1	Hortum 2		Hortum 1	Hortum 2		Hortum 1	Hortum 2	
	My 1 (g)	My 2 (g)	My Ort.	m _y 1 (g su/g kuru madde)	m _y 2 (g su/g kuru madde)	m _y Ort.	m _R 1	m _R 2	m _R Ort.
Zaman (dak)									
0	140,5620	140,1060	140,3340	0,1716	0,1716	0,1716	1,0000	1,0000	1,0000
15	135,1580	134,2790	134,7185	0,1384	0,1356	0,1370	0,8069	0,7904	0,7987
30	131,9460	130,6440	131,2950	0,1175	0,1116	0,1145	0,6847	0,6503	0,6675
45	129,2270	127,5400	128,3835	0,0989	0,0899	0,0944	0,5764	0,5242	0,5503
60	126,8840	125,4180	126,1510	0,0822	0,0745	0,0784	0,4794	0,4345	0,4569
75	125,3210	124,3000	124,8105	0,0708	0,0662	0,0685	0,4127	0,3859	0,3993
90	124,7360	123,8800	124,3080	0,0664	0,0630	0,0647	0,3873	0,3675	0,3774
105	124,3400	123,5540	123,9470	0,0635	0,0606	0,0620	0,3700	0,3531	0,3615
120	124,0750	123,3510	123,7130	0,0615	0,0590	0,0602	0,3583	0,3441	0,3512
135	123,8710	123,1730	123,5220	0,0599	0,0577	0,0588	0,3493	0,3361	0,3427
150	123,7520	123,0590	123,4055	0,0590	0,0568	0,0579	0,3440	0,3311	0,3375
165	123,6560	122,9820	123,3190	0,0583	0,0562	0,0572	0,3398	0,3276	0,3337
180	123,5850	122,9190	123,2520	0,0577	0,0557	0,0567	0,3366	0,3248	0,3307

Şekil 4.4. de ise 30 dakika boyunca su emdirilen hortum numunelerine ait nem değerinin zamana göre azalışı görülmektedir. Bantlı Tip Tünel Kurutucuda uygulanan 50 °C, 60 °C ve 70 °C sıcaklık değerlerinde kuruma işlemi, en hızlı 70 °C sıcaklık değerinde 180 dakikada, en yavaş ise 50 °C sıcaklık değerinde 240 dakikada gerçekleşmiştir.



Şekil 4.4. 30 Dakika Su Banyosu - Bantlı Tip Tünel Kurutucu Nem Değişimi Grafiği

4.1.5. Bantlı Tip Tünel Kurutucu - Su Banyosunda 60 dakika

Çizelge 4.13. de değerleri gösterilen deneyde su banyosunda 60 dakika boyunca su emmiş olan 2 adet hortum numunesi Bantlı Tip Tünel Kurutucuda 50 °C sıcaklığında kurutulmuştur. Bu deneyde kullanılan hortum numunelerinin su emmeden önceki ağırlıkları 1.numune için 124,965 g, 2.numune için ise 125,206 g olarak tespit edilmiştir. 60 dakika boyunca emdiği su ile birlikte 1.numune 141,542 g, 2.numune ise 141,347 g ağırlığına ulaşmıştır. Numunelerin kuruma işlemi toplam 225 dakikada gerçekleşmiş olup, bu süre boyunca numunelerin ağırlığı 1. numune için 16,984 g, 2.numune için ise 16,668 g azalmıştır. Kurutma işleminin gerçekleştiği sürede nem değeri 1.numune için 0,0586 $g_{su}/g_{kurumadde}$, 2.numune için ise 0,0608 $g_{su}/g_{kurumadde}$ miktarına kadar azalmıştır (Çizelge 4.13.).

Çizelge 4.14. de değerleri gösterilen deney için su banyosunda 60 dakika boyunca su emmiş olan 2 adet hortum numunesi Bantlı Tip Tünel Kurutucuda 60 °C sıcaklığında kurutulmuştur. Bu deneyde ise, kullanılan hortum numunelerinin su emmeden önceki ağırlıkları 1.numune için 122,199 g, 2.numune için ise 122,861 g olarak ölçülmüş olup, 60 dakika boyunca emdikleri su ile birlikte 1.numune 138,516 g, 2.numune ise 138,913 g ağırlığa ulaşmıştır. Numunelerin kuruma işlemi toplam 180 dakikada gerçekleşmiş olup, bu süre boyunca numunelerin ağırlığı 1. numune için 16,417 g, 2.numune için ise 16,412 g azalmıştır. Kurutma işleminin gerçekleştiği sürede nem değeri 1.numune için 0,0602 $g_{su}/g_{kurumadde}$, 2.numune için ise 0,0606 $g_{su}/g_{kurumadde}$ miktarına kadar azalmıştır (Çizelge 4.14.).

Çizelge 4.15. de değerleri gösterilen deneyde ise su banyosunda 60 dakika boyunca su emmiş olan 2 adet hortum numunesi Bantlı Tip Tünel Kurutucuda 70 °C sıcaklığında kurutulmuştur. Deney için kullanılan hortum numunelerinin su emmeden önceki ağırlıkları 1.numune için 123,337 g, 2.numune için ise 123,068 g olarak ölçülmüştür. 60 dakika boyunca emdiği su ile birlikte 1.numunenin ağırlığı 141,605 g, 2.numunenin ağırlığı ise 140,559 g' a yükselmiştir. Numunelerin kuruma işlemi toplam 105 dakikada gerçekleşmiş olup, bu süre boyunca numunelerin ağırlığı 1. numune için 17,428 g, 2.numune için ise 17,114 g azalmıştır. Kurutma işleminin gerçekleştiği sürede nem değeri 1.numune için 0,0553 $g_{su}/g_{kurumadde}$, 2.numune için ise 0,0567 $g_{su}/g_{kurumadde}$ miktarına kadar azalmıştır (Çizelge 4.15.).

Çizelge 4.13. Bantlı Tip Tünel Kurutucu 50 °C – 60 Dakika Su Banyosu

Bant Sıcaklığı: 50 °C	Hortum 1	Hortum 2		Hortum 1	Hortum 2		Hortum 1	Hortum 2	
	My 1 (g)	My 2 (g)	My Ort.	m _y 1 (g su/g kuru madde)	m _y 2 (g su/g kuru madde)	m _y Ort.	m _R 1	m _R 2	m _R Ort.
Zaman (dak)									
0	141,5420	141,3470	141,4445	0,1716	0,1716	0,1716	1,0000	1,0000	1,0000
15	137,0180	137,7300	137,3740	0,1442	0,1498	0,1470	0,8406	0,8732	0,8569
30	135,0250	135,1750	135,1000	0,1316	0,1337	0,1326	0,7669	0,7795	0,7732
45	133,3370	133,1330	133,2350	0,1206	0,1204	0,1205	0,7028	0,7021	0,7025
60	131,8460	131,2530	131,5495	0,1106	0,1078	0,1092	0,6449	0,6286	0,6367
75	130,3530	129,6820	130,0175	0,1004	0,0970	0,0987	0,5855	0,5656	0,5756
90	128,9380	128,1520	128,5450	0,0906	0,0863	0,0884	0,5279	0,5028	0,5154
105	127,6790	126,8250	127,2520	0,0816	0,0767	0,0791	0,4757	0,4471	0,4614
120	126,5810	126,0300	126,3055	0,0736	0,0709	0,0723	0,4292	0,4131	0,4212
135	125,8590	125,5590	125,7090	0,0683	0,0674	0,0679	0,3983	0,3928	0,3955
150	125,4220	125,2930	125,3575	0,0651	0,0654	0,0652	0,3793	0,3813	0,3803
165	125,1110	125,1170	125,1140	0,0628	0,0641	0,0634	0,3658	0,3736	0,3697
180	124,9250	124,9490	124,9370	0,0614	0,0628	0,0621	0,3577	0,3663	0,3620
195	124,7920	124,8940	124,8430	0,0604	0,0624	0,0614	0,3518	0,3639	0,3578
210	124,6620	124,7170	124,6895	0,0594	0,0611	0,0602	0,3461	0,3561	0,3511
225	124,5580	124,6790	124,6185	0,0586	0,0608	0,0597	0,3415	0,3544	0,3480

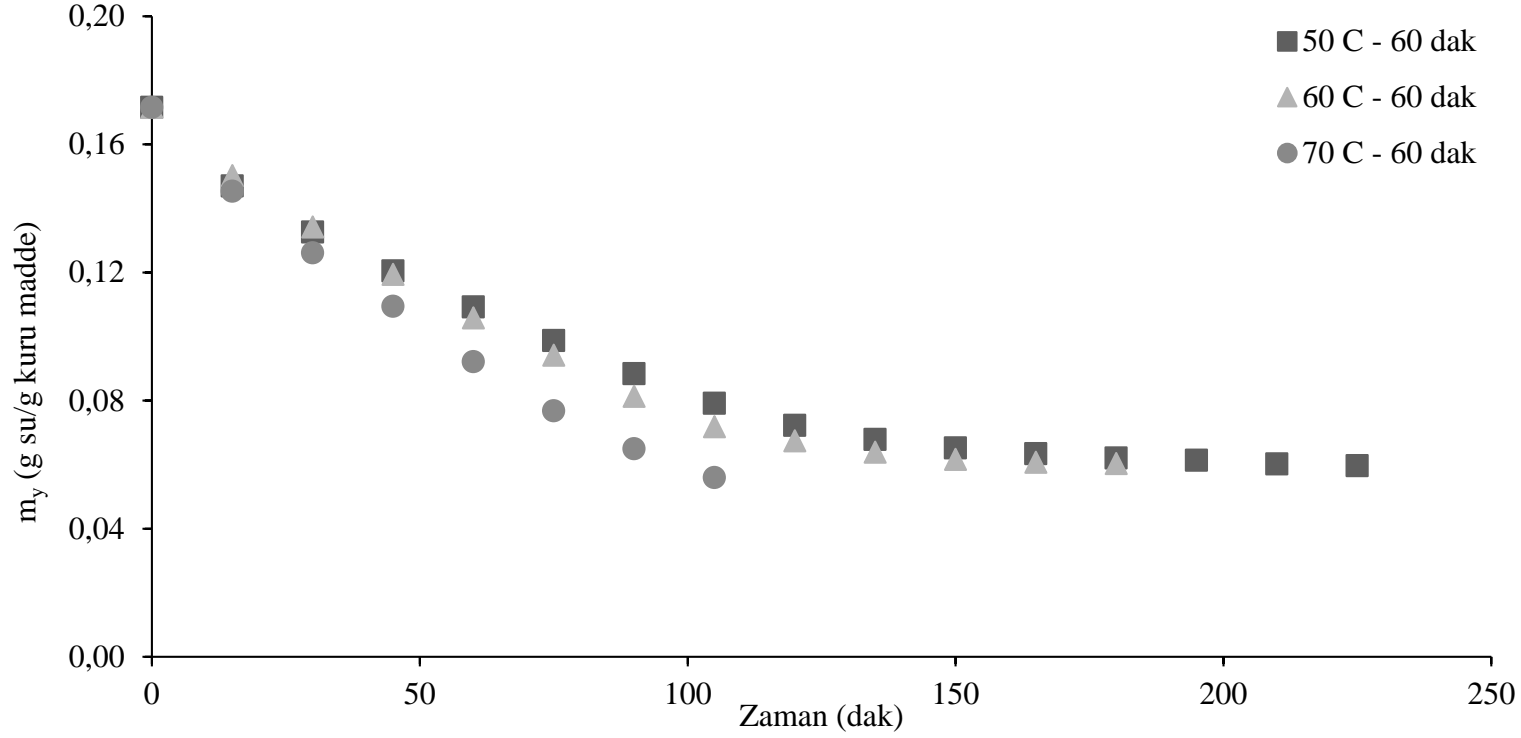
Çizelge 4.14. Bantlı Tip Tünel Kurutucu 60 °C – 60 Dakika Su Banyosu

Bant Sıcaklığı: 60 °C	Hortum 1	Hortum 2		Hortum 1	Hortum 2		Hortum 1	Hortum 2	
	My 1 (g)	My 2 (g)	My Ort.	m _y 1 (g su/g kuru madde)	m _y 2 (g su/g kuru madde)	m _y Ort.	m _R 1	m _R 2	m _R Ort.
Zaman (dak)									
0	138,5160	138,9130	138,7145	0,1716	0,1716	0,1716	1,0000	1,0000	1,0000
15	135,2800	135,1940	135,2370	0,1517	0,1488	0,1503	0,8845	0,8672	0,8758
30	132,7030	132,7640	132,7335	0,1353	0,1332	0,1342	0,7885	0,7763	0,7824
45	130,6050	130,4070	130,5060	0,1214	0,1175	0,1194	0,7075	0,6850	0,6963
60	128,6510	128,3880	128,5195	0,1080	0,1036	0,1058	0,6297	0,6041	0,6169
75	127,0760	126,6670	126,8715	0,0970	0,0915	0,0942	0,5653	0,5331	0,5492
90	125,3240	124,8730	125,0985	0,0843	0,0784	0,0814	0,4917	0,4570	0,4744
105	123,9110	123,7190	123,8150	0,0739	0,0698	0,0719	0,4308	0,4069	0,4189
120	123,1130	123,3550	123,2340	0,0679	0,0671	0,0675	0,3958	0,3909	0,3934
135	122,5420	122,9840	122,7630	0,0636	0,0643	0,0639	0,3705	0,3745	0,3725
150	122,2350	122,7060	122,4705	0,0612	0,0621	0,0617	0,3568	0,3622	0,3595
165	122,1540	122,5570	122,3555	0,0606	0,0610	0,0608	0,3532	0,3555	0,3543
180	122,0990	122,5010	122,3000	0,0602	0,0606	0,0604	0,3507	0,3530	0,3519

Çizelge 4.15. Bantlı Tip Tünel Kurutucu 70 °C – 60 Dakika Su Banyosu

Bant Sıcaklığı: 70 °C	Hortum 1	Hortum 2		Hortum 1	Hortum 2		Hortum 1	Hortum 2	
	My 1 (g)	My 2 (g)	My Ort.	m _y 1 (g su/g kuru madde)	m _y 2 (g su/g kuru madde)	m _y Ort.	m _R 1	m _R 2	m _R Ort.
Zaman (dak)									
0	141,6050	140,5590	141,0820	0,1716	0,1716	0,1716	1,0000	1,0000	1,0000
15	137,4520	136,0710	136,7615	0,1465	0,1442	0,1454	0,8541	0,8407	0,8474
30	134,4500	133,0480	133,7490	0,1275	0,1248	0,1261	0,7430	0,7274	0,7352
45	132,0300	130,4640	131,2470	0,1115	0,1075	0,1095	0,6498	0,6264	0,6381
60	129,6060	127,8800	128,7430	0,0949	0,0894	0,0921	0,5529	0,5212	0,5371
75	127,3610	125,8450	126,6030	0,0789	0,0747	0,0768	0,4599	0,4354	0,4477
90	125,4140	124,2770	124,8450	0,0669	0,0630	0,0650	0,3900	0,3674	0,3787
105	124,1770	123,4450	123,8110	0,0553	0,0567	0,0560	0,3223	0,3305	0,3264

Şekil 4.5. de ise 60 dakika boyunca su emdirilen hortum numunelerine ait nem değerinin zamana göre azalışı görülmektedir. Bantlı Tip Tünel Kurutucuda uygulanan 50 °C, 60 °C ve 70 °C sıcaklık değerlerinde kuruma işlemi, en hızlı 70 °C sıcaklık değerinde 105 dakikada, en yavaş ise 50 °C sıcaklık değerinde 225 dakikada gerçekleşmiştir.



Şekil 4.5. 60 Dakika Su Banyosu - Bantlı Tip Tünel Kurutucu Nem Değişimi Grafiği

4.1.6. Bantlı Tip Tünel Kurutucu - Su Banyosunda 90 dakika

Çizelge 4.16. da değerleri gösterilen deneyde su banyosunda 90 dakika boyunca su emmiş olan 2 adet hortum numunesi Bantlı Tip Tünel Kurutucuda 50 °C sıcaklığında kurutulmuştur. Bu deneyde kullanılan hortum numunelerinin su emmeden önceki ağırlıkları 1.numune için 123,973 g, 2.numune için ise 123,763 g olarak tespit edilmiştir. 90 dakika boyunca emdiği su ile birlikte 1.numune 140,354 g, 2.numune ise 140,210 g ağırlığına ulaşmıştır. Numunelerin kuruma işlemi toplam 180 dakikada gerçekleşmiş olup, bu süre boyunca numunelerin ağırlığı 1. numune için 16,932 g, 2.numune için ise 17,107 g azalmıştır. Kurutma işleminin gerçekleştiği sürede nem değeri 1.numune için 0,0579 $g_{su}/g_{kurumadde}$, 2.numune için ise 0,0564 $g_{su}/g_{kurumadde}$ miktarına kadar azalmıştır (Çizelge 4.16.).

Çizelge 4.17. de değerleri gösterilen deney için su banyosunda 90 dakika boyunca su emmiş olan 2 adet hortum numunesi Bantlı Tip Tünel Kurutucuda 60 °C sıcaklığında kurutulmuştur. Bu deneyde ise, kullanılan hortum numunelerinin su emmeden önceki ağırlıkları 1.numune için 122,668 g, 2.numune için ise 122,378 g olarak ölçülmüş olup, 90 dakika boyunca emdikleri su ile birlikte 1.numune 139,373 g, 2.numune ise 138,909 g ağırlığa ulaşmıştır. Numunelerin kuruma işlemi toplam 165 dakikada gerçekleşmiş olup, bu süre boyunca numunelerin ağırlığı 1. numune için 16,592 g, 2.numune için ise 16,634 g azalmıştır. Kurutma işleminin gerçekleştiği sürede nem değeri 1.numune için 0,0597 $g_{su}/g_{kurumadde}$, 2.numune için ise 0,0589 $g_{su}/g_{kurumadde}$ miktarına kadar azalmıştır (Çizelge 4.17.).

Çizelge 4.18. de değerleri gösterilen deneyde ise su banyosunda 90 dakika boyunca su emmiş olan 2 adet hortum numunesi Bantlı Tip Tünel Kurutucuda 70 °C sıcaklığında kurutulmuştur. Deney için kullanılan hortum numunelerinin su emmeden önceki ağırlıkları 1.numune için 122,421 g, 2.numune için ise 122,707 g olarak ölçülmüştür. 90 dakika boyunca emdiği su ile birlikte 1.numunenin ağırlığı 141,277 g, 2.numunenin ağırlığı ise 141,291 g' a yükselmiştir. Numunelerin kuruma işlemi toplam 90 dakikada gerçekleşmiş olup, bu süre boyunca numunelerin ağırlığı 1. numune için 16,900 g, 2.numune için ise 17,139 g azalmıştır. Kurutma işleminin gerçekleştiği sürede nem değeri 1.numune için 0,0590 $g_{su}/g_{kurumadde}$, 2.numune için ise 0,0572 $g_{su}/g_{kurumadde}$ miktarına kadar azalmıştır (Çizelge 4.18.).

Çizelge 4.16. Bantlı Tip Tünel Kurutucu 50 °C – 90 Dakika Su Banyosu

Bant Sıcaklığı: 50 °C	Hortum 1	Hortum 2		Hortum 1	Hortum 2		Hortum 1	Hortum 2	
	My 1 (g)	My 2 (g)	My Ort.	m _y 1 (g su/g kuru madde)	m _y 2 (g su/g kuru madde)	m _y Ort.	m _R 1	m _R 2	m _R Ort.
Zaman (dak)									
0	140,3540	140,2100	140,2820	0,1716	0,1716	0,1716	1,0000	1,0000	1,0000
15	134,0960	134,7720	134,4340	0,1329	0,1381	0,1355	0,7746	0,8052	0,7899
30	129,8810	130,3400	130,1105	0,1047	0,1088	0,1068	0,6106	0,6343	0,6225
45	126,8850	127,0100	126,9475	0,0836	0,0855	0,0845	0,4874	0,4981	0,4928
60	124,9810	124,7950	124,8880	0,0697	0,0692	0,0694	0,4060	0,4035	0,4048
75	124,3230	124,0930	124,2080	0,0647	0,0640	0,0643	0,3773	0,3728	0,3751
90	123,9970	123,7360	123,8665	0,0623	0,0613	0,0618	0,3630	0,3571	0,3600
105	123,7990	123,5050	123,6520	0,0608	0,0595	0,0601	0,3542	0,3468	0,3505
120	123,6590	123,3550	123,5070	0,0597	0,0584	0,0590	0,3480	0,3402	0,3441
135	123,5710	123,2490	123,4100	0,0590	0,0576	0,0583	0,3441	0,3355	0,3398
150	123,5070	123,1840	123,3455	0,0585	0,0571	0,0578	0,3413	0,3326	0,3369
165	123,4520	123,1370	123,2945	0,0581	0,0567	0,0574	0,3388	0,3305	0,3346
180	123,4220	123,1030	123,2625	0,0579	0,0564	0,0572	0,3375	0,3289	0,3332

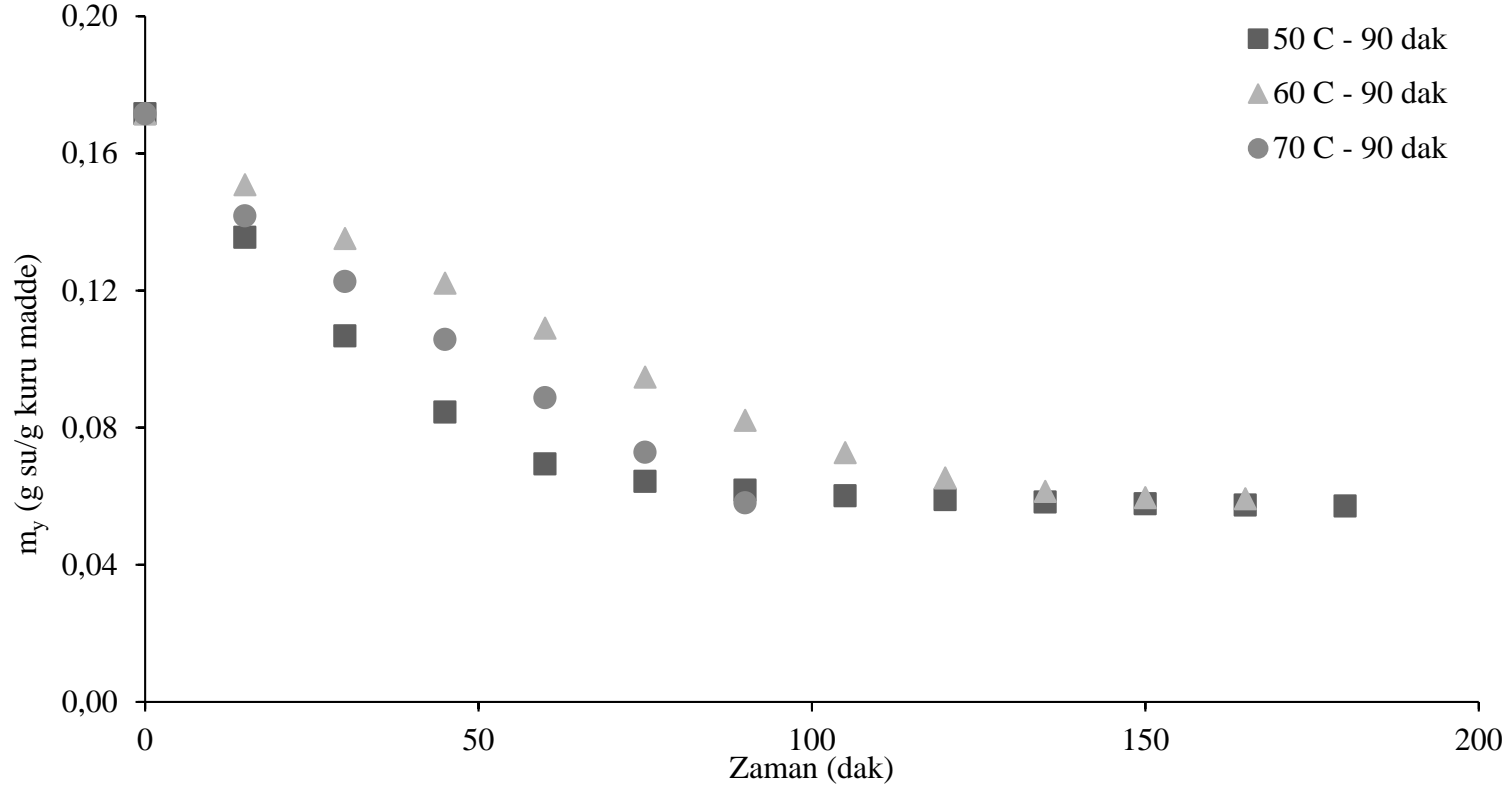
Çizelge 4.17. Bantlı Tip Tünel Kurutucu 60 °C – 90 Dakika Su Banyosu

Bant Sıcaklığı: 60 °C	Hortum 1	Hortum 2		Hortum 1	Hortum 2		Hortum 1	Hortum 2	
	My 1 (g)	My 2 (g)	My Ort.	m _y 1 (g su/g kuru madde)	m _y 2 (g su/g kuru madde)	m _y Ort.	m _R 1	m _R 2	m _R Ort.
Zaman (dak)									
0	139,3730	138,9090	139,1410	0,1716	0,1716	0,1716	1,0000	1,0000	1,0000
15	136,1790	135,3170	135,7480	0,1522	0,1496	0,1509	0,8868	0,8718	0,8793
30	133,7970	132,7670	133,2820	0,1371	0,1332	0,1352	0,7989	0,7766	0,7877
45	131,8420	130,7780	131,3100	0,1243	0,1200	0,1222	0,7243	0,6998	0,7120
60	130,0750	128,6830	129,3790	0,1124	0,1057	0,1091	0,6550	0,6162	0,6356
75	128,0860	126,5870	127,3365	0,0986	0,0909	0,0948	0,5747	0,5299	0,5523
90	126,2410	124,9280	125,5845	0,0855	0,0788	0,0822	0,4980	0,4596	0,4788
105	125,0040	123,6150	124,3095	0,0764	0,0691	0,0727	0,4452	0,4025	0,4239
120	123,7980	122,8550	123,3265	0,0674	0,0633	0,0654	0,3928	0,3690	0,3809
135	123,1220	122,5040	122,8130	0,0623	0,0606	0,0615	0,3630	0,3533	0,3581
150	122,8320	122,3200	122,5760	0,0601	0,0592	0,0596	0,3501	0,3451	0,3476
165	122,7810	122,2750	122,5280	0,0597	0,0589	0,0593	0,3478	0,3431	0,3454

Çizelge 4.18. Bantlı Tip Tünel Kurutucu 70 °C – 90 Dakika Su Banyosu

Bant Sıcaklığı: 70 °C	Hortum 1	Hortum 2		Hortum 1	Hortum 2		Hortum 1	Hortum 2	
	My 1 (g)	My 2 (g)	My Ort.	m _y 1 (g su/g kuru madde)	m _y 2 (g su/g kuru madde)	m _y Ort.	m _R 1	m _R 2	m _R Ort.
Zaman (dak)									
0	141,2770	141,2910	141,2840	0,1716	0,1716	0,1716	1,0000	1,0000	1,0000
15	136,6050	136,1540	136,3795	0,1432	0,1403	0,1418	0,8348	0,8178	0,8263
30	133,5770	133,2350	133,4060	0,1238	0,1215	0,1226	0,7216	0,7080	0,7148
45	131,0710	130,6950	130,8830	0,1070	0,1044	0,1057	0,6240	0,6085	0,6162
60	128,6930	128,2050	128,4490	0,0905	0,0870	0,0888	0,5278	0,5071	0,5174
75	126,4420	126,0400	126,2410	0,0744	0,0713	0,0728	0,4334	0,4157	0,4246
90	124,3770	124,1520	124,2645	0,0590	0,0572	0,0581	0,3439	0,3334	0,3386

Şekil 4.6. da ise 90 dakika boyunca su emdirilen hortum numunelerine ait nem değerinin zamana göre azalışı görülmektedir. Bantlı Tip Tünel Kurutucuda uygulanan 50 °C, 60 °C ve 70 °C sıcaklık değerlerinde kuruma işlemi, en hızlı 70 °C sıcaklık değerinde 90 dakikada, en yavaş ise 50 °C sıcaklık değerinde 180 dakikada gerçekleşmiştir.

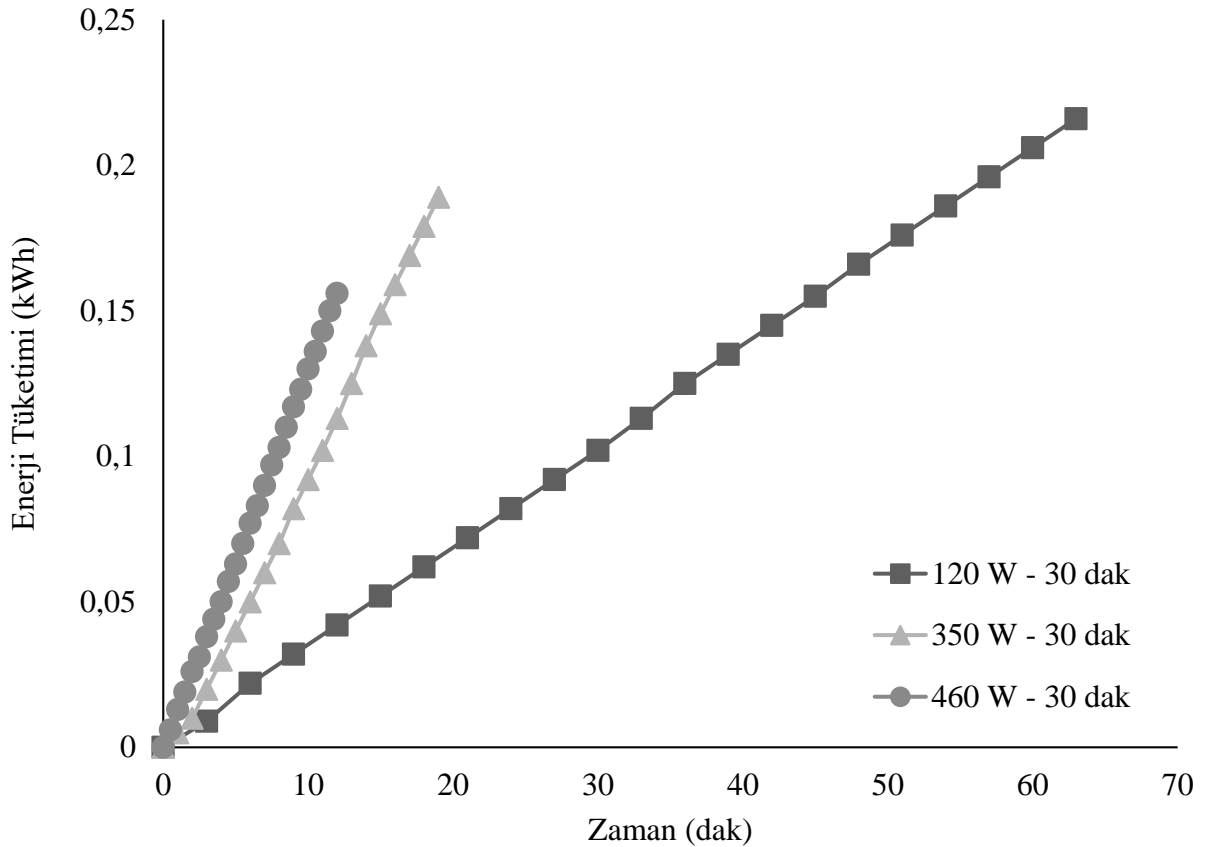


Şekil 4.6. 90 Dakika Su Banyosu - Bantlı Tip Tünel Kurutucu Nem Değişimi Grafiği

4.2. Enerji Tüketim Analizi

4.2.1. Mikrodalga Kurutucu Deneyleri İçin Enerji Tüketimi

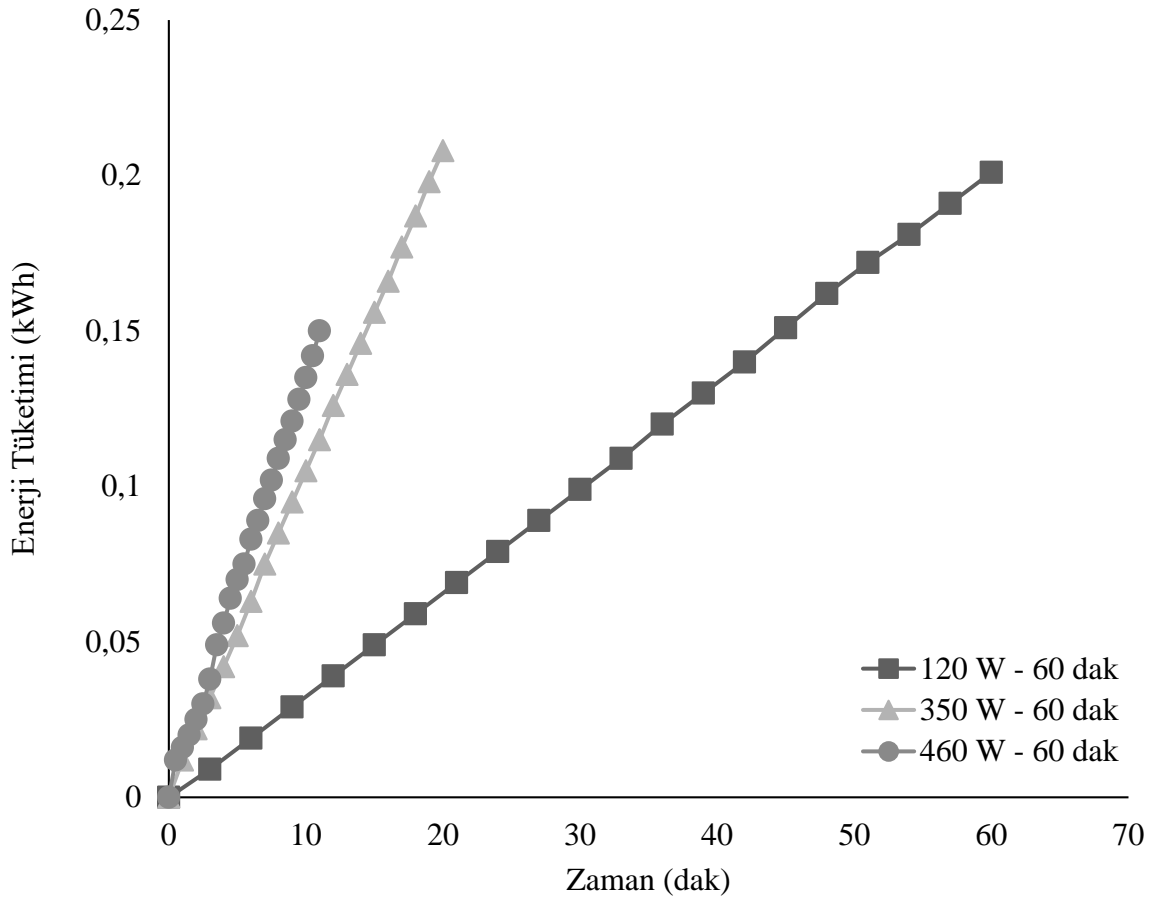
Şekil 4.7. de 30 dakika boyunca su emmesi sağlanan hortum numunelerinin mikrodalga kurutucuda 120 W, 350 W ve 460 W kurutma gücü değerlerinde kurutulması esnasında harcanan enerji miktarının zaman ile değişimi gösterilmiştir. Hortum numuneleri 120 W kurutma gücünde kurutulurken kurutma işlemi 63 dakika sürmüştür ve 0,216 kWh enerji tüketilmiştir. 350 W kurutma gücünde ise kuruma işlemi 19 dakika sürmüştür, harcanan enerji miktarı ise 0,189 kWh olarak ölçülmüştür. 460 W kurutma gücünde ise kuruma süresi 12 dakika sürerken, enerji tüketimi ise 0,156 kWh olarak ölçülmüştür.



Şekil 4.7. Mikrodalga Kurutucu - 30 Dakika Su Banyosu

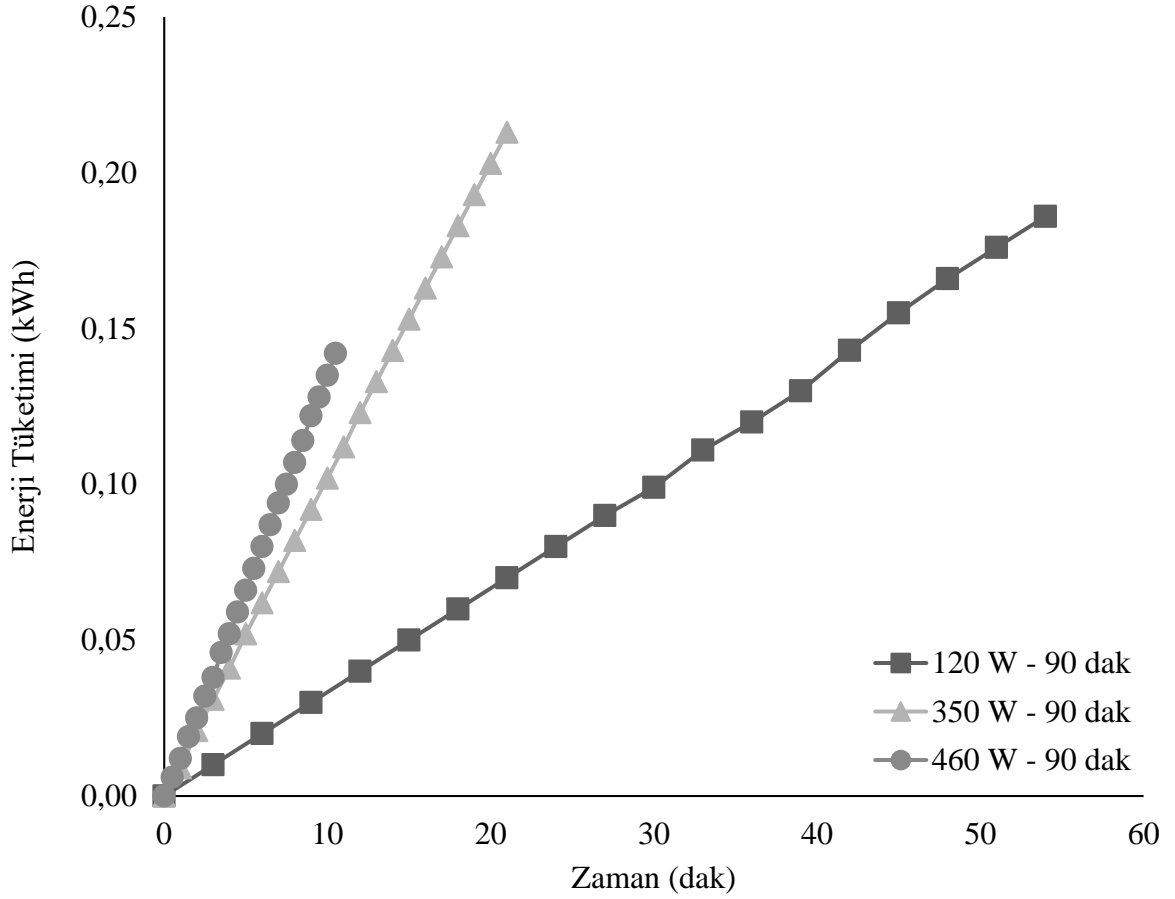
Şekil 4.8. de ise 60 dakika boyunca su emmesi sağlanan hortum numunelerinin mikrodalga kurutucuda 120 W, 350 W ve 460 W kuruma gücü değerlerinde kurutulması esnasında harcanan enerji miktarının zaman ile değişimi gösterilmiştir. Hortum numuneleri 120 W kurutma gücünde kurutulurken kurutma işlemi 60 dakika sürmüştür ve 0,200 kWh enerji tüketilmiştir. 350 W kurutma gücünde ise kuruma işlemi 14 dakika sürmüştür ve harcanan enerji

miktarı 0,146 kWh olarak ölçülmüştür. 460 W kurutma gücünde ise kuruma süresi 11 dakika sürerken enerji tüketimi ise 0,152 kWh olarak ölçülmüştür.



Şekil 4.8. Mikrodalga Kurutucu - 60 Dakika Su Banyosu

Şekil 4.9. da 90 dakika boyunca su emmesi sağlanan hortum numunelerinin mikrodalga kurutucuda 120 W, 350 W ve 460 W kurutma gücü değerlerinde kurutulması esnasında harcanan enerji miktarının süre ile değişimi gösterilmiştir. Hortum numuneleri 120 W kurutma gücünde kurutulurken kurutma işlemi 54 dakika sürmüştür ve 0,190 kWh enerji tüketilmiştir. 350 W kurutma gücünde ise kuruma işlemi 13 dakika sürmüştür ve harcanan enerji miktarı 0,133 kWh olarak ölçülmüştür. 460 W kurutma gücünde ise kuruma süresi 10,5 dakika sürerken, enerji tüketimi ise 0,142 kWh olarak ölçülmüştür.

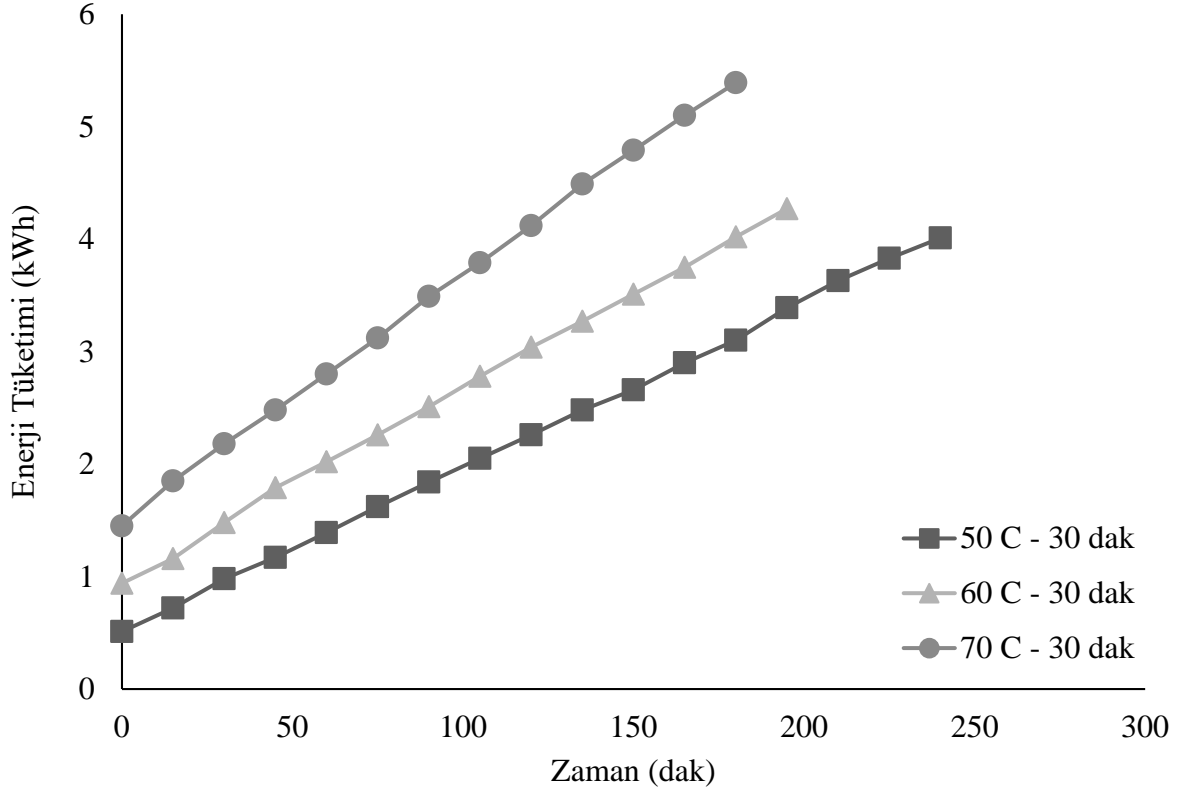


Şekil 4.9. Mikrodalga Kurutucu - 90 Dakika Su Banyosu

4.2.2. Bantlı Tip Tünel Kurutucu Deneyleri İçin Enerji Tüketimi

Şekil 4.10. da 30 dakika boyunca su emmesi sağlanan hortum numunelerinin bantlı tip tünel kurutucuda 50 °C, 60 °C ve 70 °C kurutma sıcaklıklarında kurutulması esnasında harcanan enerji miktarının zaman ile değişimi gösterilmiştir. Bantlı tip tünel kurutucunun sıcaklığının, deneyin yapılacağı kurutma sıcaklığına ulaşması için geçen zamanda da enerji ölçümü yapılmıştır. Normal şartlarda oda sıcaklığında bulunan kurutucunun tüneli, deneyin yapılacağı kurutma sıcaklığına (50 °C, 60 °C ve 70 °C) ulaşması için ısıtılmıştır. Bu nedenle, deneye henüz başlanmamış olmasına rağmen enerji tüketimi meydana gelmektedir. Bantlı tip tünel kurutucunun sıcaklığının deney için istenen 50 °C kurutma sıcaklığına ulaşmasına kadar geçen zamanda 0,51 kWh enerji tüketildiği görülmüştür. Benzer şekilde, 60 °C kurutma sıcaklığına ulaşmasına kadar geçen zamanda 0,94 kWh enerji tüketildiği ve 70 °C kurutma sıcaklığına ulaşmasına kadar geçen zamanda da 1,45 kWh enerji tüketildiği tespit edilmiştir.

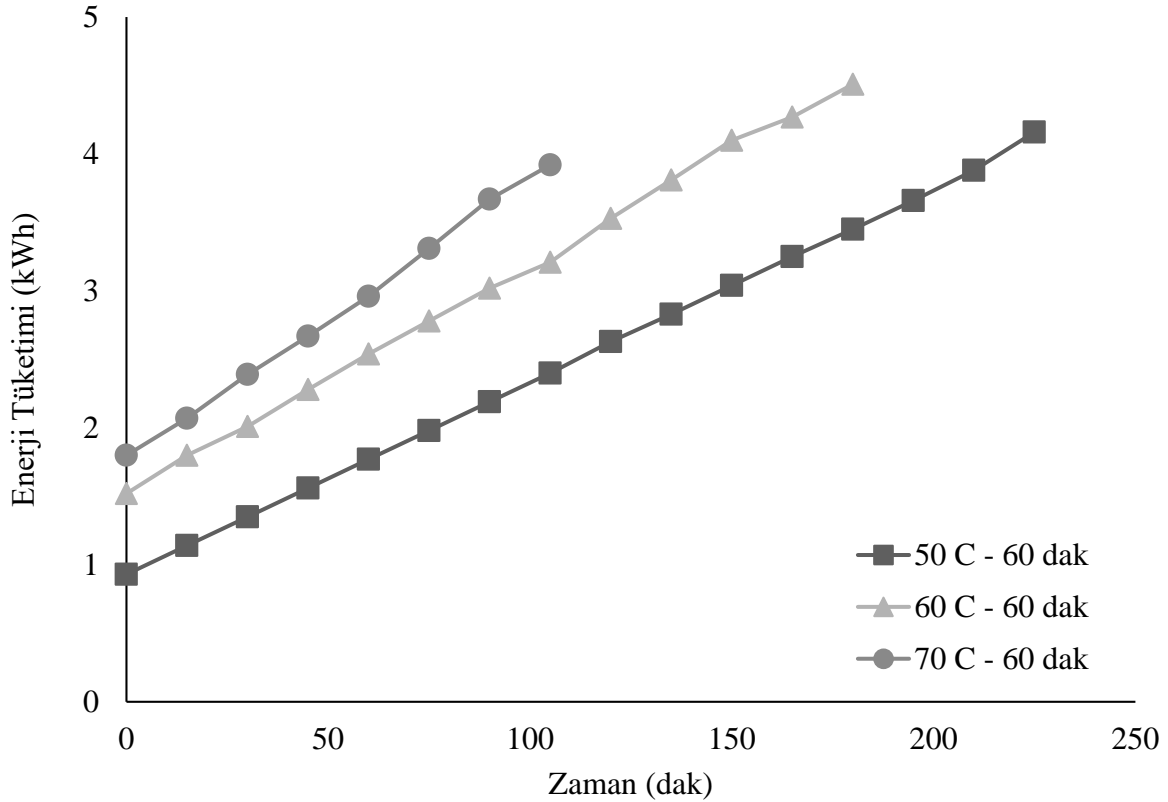
30 dakika boyunca su emmiş olan hortum numuneleri 50 °C kurutma sıcaklığında kurutulurken, kurutma işlemi 240 dakika sürmüştür ve toplam 4,01 kWh enerji tüketilmiştir. 60 °C kurutma sıcaklığında ise kuruma işlemi 195 dakika sürmüş, harcanan enerji miktarı toplam 4,27 kWh ölçülmüştür. 70 °C kurutma sıcaklığında ise kuruma zamanı 180 dakika sürerken, enerji tüketimi ise toplam 5,39 kWh olarak ölçülmüştür.



Şekil 4.10. Bantlı Tip Tünel Kurutucu - 30 Dakika Su Banyosu

Şekil 4.11. de 60 dakika boyunca su emmesi sağlanan hortum numunelerinin bantlı tip tünel kurutucuda 50 °C, 60 °C ve 70 °C kurutma sıcaklıklarında kurutulması esnasında harcanan enerji miktarının zaman ile değişimi gösterilmiştir. Bantlı tip tünel kurutucunun sıcaklığının, deneyin yapılacağı kurutma sıcaklığına ulaşması için geçen zamanda da enerji ölçümü yapılmıştır. Normal şartlarda oda sıcaklığında bulunan kurutucunun tüneli, deneyin yapılacağı kurutma sıcaklığına (50 °C, 60 °C ve 70 °C) ulaşması için ısıtılmaktadır. Bu nedenle, deneye henüz başlanmamış olmasına rağmen enerji tüketimi meydana gelmektedir. Bantlı tip tünel kurutucunun sıcaklığının deney için istenen 50 °C kurutma sıcaklığına ulaşmasına kadar geçen zamanda 0,93 kWh enerji tüketildiği görülmüştür. Benzer şekilde, 60 °C kurutma sıcaklığına ulaşmasına kadar geçen zamanda 1,52 kWh enerji tüketildiği ve 70 °C kurutma sıcaklığına ulaşmasına kadar geçen zamanda da 1,80 Wh enerji tüketildiği tespit edilmiştir.

60 dakika boyunca su emmiş olan hortum numuneleri 50 °C kurutma sıcaklığında kurutulurken, kurutma işlemi 225 dakika sürmüştür ve toplam 4,16 kWh enerji tüketilmiştir. 60 °C kurutma sıcaklığında ise kuruma işlemi 180 dakika, harcanan enerji miktarı toplam 4,51 kWh ve 70 °C kurutma sıcaklığında da kuruma zamanı 105 dakika enerji tüketimi ise toplam 3,92 kWh olarak ölçülmüştür.

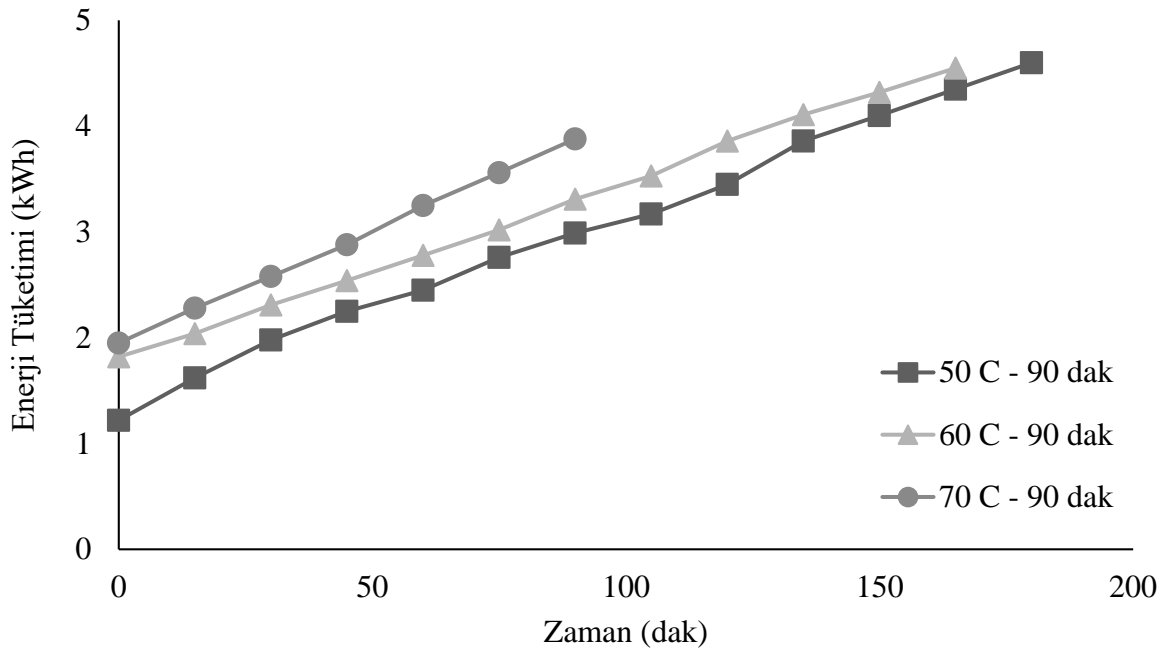


Şekil 4.11. Bantlı Tip Tünel Kurutucu - 60 Dakika Su Banyosu

Şekil 4.12. de 90 dakika boyunca su emmesi sağlanan hortum numunelerinin bantlı tip tünel kurutucuda 50 °C, 60 °C ve 70 °C kurutma sıcaklıklarında kurutulması esnasında harcanan enerji miktarının zaman ile değişimi gösterilmiştir. Bantlı tip tünel kurutucunun sıcaklığının, deneyin yapılacağı kurutma sıcaklığına ulaşması için geçen zamanda da enerji ölçümü yapılmıştır. Normal şartlarda oda sıcaklığında bulunan kurutucunun tüneli, deneyin yapılacağı kurutma sıcaklığına (50 °C, 60 °C ve 70 °C) ulaşması için ısıtılmıştır. Bu nedenle, deneye henüz başlanmamış olmasına rağmen enerji tüketimi meydana gelmektedir. Bantlı tip tünel kurutucunun sıcaklığının deney için istenen 50 °C kurutma sıcaklığına ulaşmasına kadar geçen zamanda 1,12 kWh enerji tüketildiği görülmüştür. Benzer şekilde, 60 °C kurutma

sıcaklığına ulaşmasına kadar geçen zamanda 1,82 kWh enerji tüketildiği ve 70 °C kurutma sıcaklığına ulaşmasına kadar geçen zamanda da 1,95 Wh enerji tüketildiği tespit edilmiştir.

90 dakika boyunca su emmiş olan hortum numuneleri 50 °C kurutma sıcaklığında kurutulurken, kurutma işlemi 180 dakika sürmüştür ve toplam 4,90 kWh enerji tüketilmiştir. 60 °C kurutma sıcaklığında ise kuruma işlemi 165 dakika, harcanan enerji miktarı toplam 4,85 kWh ve 70 °C kurutma sıcaklığında da kuruma zamanı 90 dakika enerji tüketimi ise toplam 3,88 kWh olarak ölçülmüştür.



Şekil 4.12. Bantlı Tip Tünel Kurutucu - 90 Dakika Su Banyosu

4.3. Termal Analiz

4.3.1. Mikrodalga Kurutucu - Su Banyosunda 30 dakika

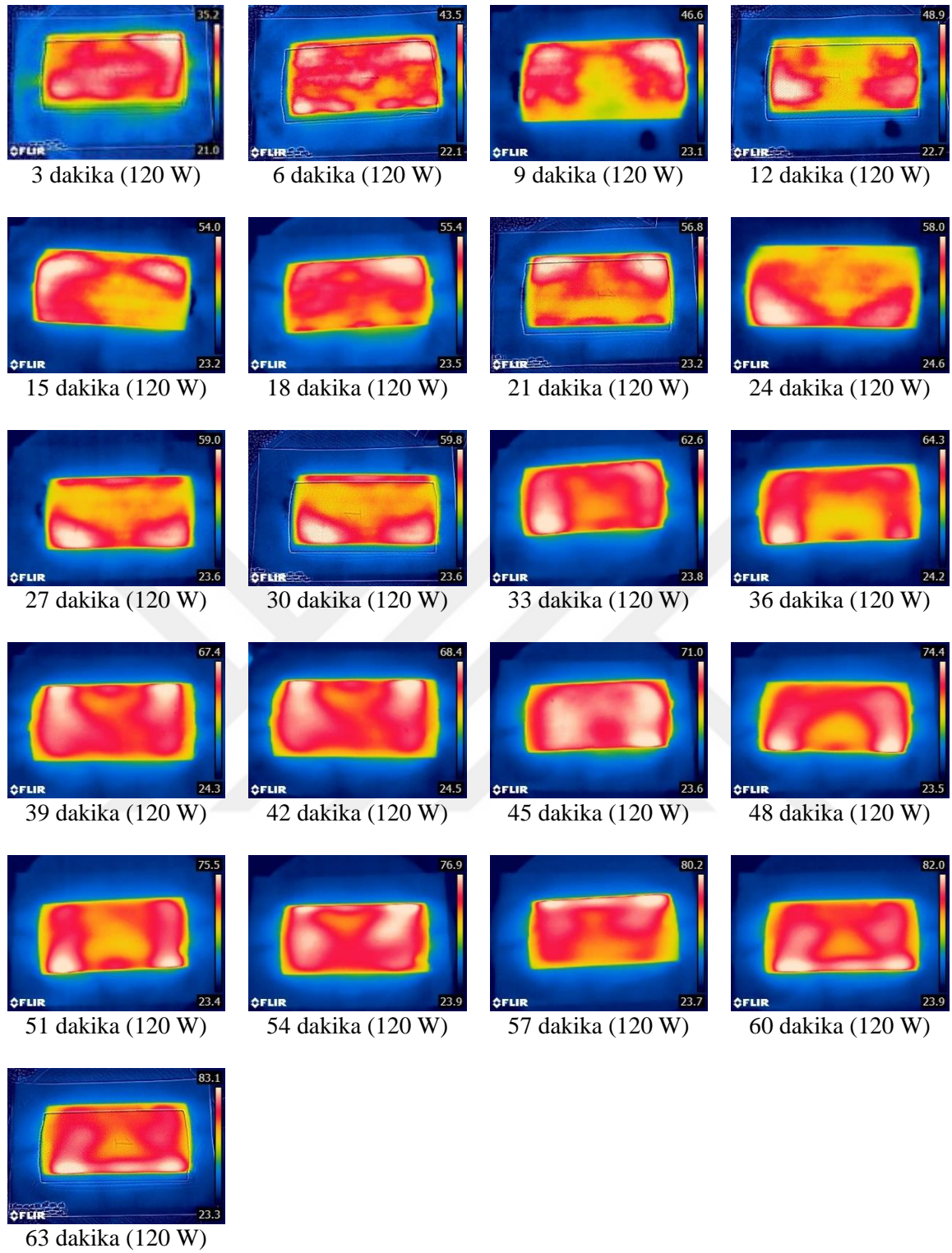
Su banyosunda 30 dakika bekletilerek su emmesi sağlanan hortum numuneleri mikrodalga kurutucuda çeşitli kurutma güçleri uygulanarak kurutulmuştur. Bu esnada termal kamera yardımı ile görüntülenen numunelerde nem miktarının daha fazla olduğu alanlarının daha yüksek sıcaklıklarda olduğu görülmüştür. Bu durum, nemin fazla olduğu alanlarda mikrodalga enerjisinin daha çok miktarda emilmesinden kaynaklanmıştır. Termal analizde sarı olarak gözlenen kısımlar ısınmaya devam eden kırmızı kısımlar ise enerji Emilimi ile aşırı

ısınmış kısımlardır. Ancak aşırı miktarda sıcaklık artışı da kurutma süresine bağlı olarak kısmi yanıklara sebebiyet verebilmektedir.

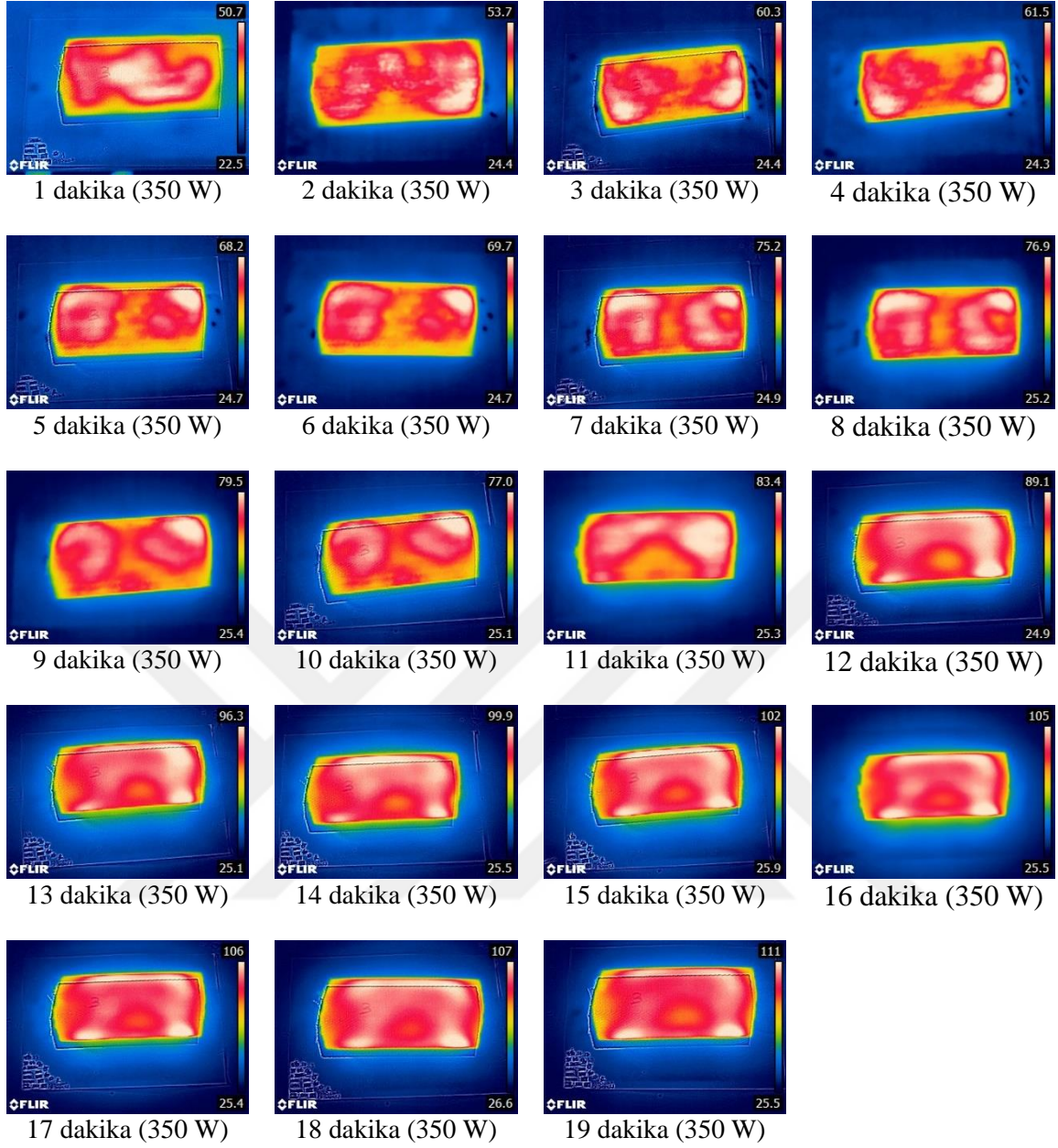
Şekil 4.13. de 30 dakika boyunca su emmesi sağlanmış hortum numunesinin 120 W güç uygulanarak mikrodalga kurutucuda kurutulması esnasındaki termal kamera görüntüleri yer almıştır. Kurutma işlemi 63 dakika sürmüştür. Bu süreçte hortum numunesinin ölçülen ilk sıcaklığı 3.dakikada 35,2 °C iken, son sıcaklığı ise 63.dakikada 83,1 °C olarak ölçülmüştür. Kurutma işlemi esnasında sıcaklık sürekli artış halindedir. Ancak numunenin termal görüntülerinde sıcaklık dağılımı değişkenlik göstermektedir. Örneğin, kurutma işleminin ilk zamanlarında sıcaklık dağılımı bir düzenlilik göstermemiştir ancak kurutma işleminin 39. dakikasından 63. dakikasına kadar sıcaklık dağılımı numunenin yüzeyinde üniform olarak dağılmış görülmektedir.

Şekil 4.14. de 30 dakika boyunca su emmesi sağlanmış hortum numunesinin 350 W güç uygulanarak mikrodalga kurutucuda kurutulması esnasındaki termal kamera görüntüleri bulunmaktadır. Kurutma işlemi 19 dakika sürmüş ve bu süreçte hortum numunesinin 1.dakikada ölçülen ilk sıcaklığı 50,7 °C iken, 19.dakikada ölçülen son sıcaklığı 111 °C olarak görülmüştür. Kurutma sürecinin tamamında sıcaklık artış halindedir. Ancak numunenin termal görüntülerinde sıcaklık dağılımı değişkenlik göstermektedir. Örnek olarak kurutma işleminin 12. Dakikasına kadar sıcaklık dağılımı numunenin sağ ve sol kısımlarında yoğunlaşmış olarak gözlenmiştir ancak 13. Dakikadan 19. Dakikaya kadar sıcaklık dağılımı tüm yüzeyde düzenli olarak tespit edilmiştir.

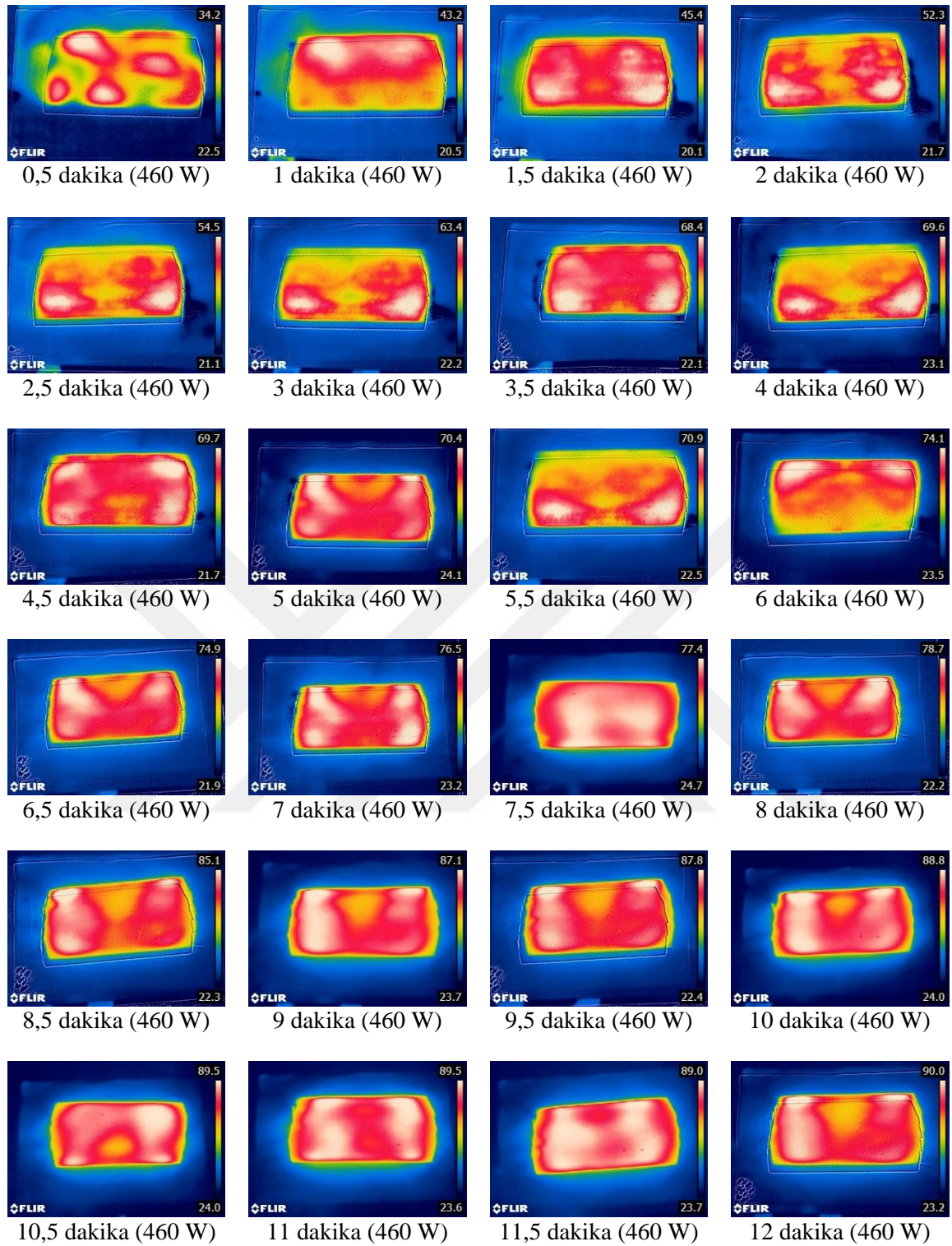
Şekil 4.15. de 30 dakika boyunca su emmesi sağlanmış hortum numunesinin 460 W güç uygulanarak mikrodalga kurutucuda kurutulması esnasındaki termal kamera görüntüleri yer almaktadır. Kurutma işlemi 12 dakika boyunca devam etmiş olup, hortum numunesinin ölçülen ilk sıcaklığı 0,5.dakikada 34,2 °C iken, son sıcaklığı ise 12.dakikada 90,0 °C olarak ölçülmüştür. Kurutma işlemi boyunca numune sıcaklığı artmaktadır. Ancak numunenin termal görüntülerinde sıcaklık dağılımı değişkenlik göstermektedir. Kurutma işleminin 7. Dakikasına kadar sıcaklık dağılımı düzensiz iken sonraki sıcaklık dağılımı tüm yüzeyde düzenli olarak gözlenmiştir.



Şekil 4.13. Mikrodalgı Kurutucu 120 W - 30 Dakika Su Banyosu



Şekil 4.14. Mikrodalga Kurutucu 350 W - 30 Dakika Su Banyosu



Şekil 4.15. Mikrodalga Kurutucu 460 W - 30 Dakika Su Banyosu

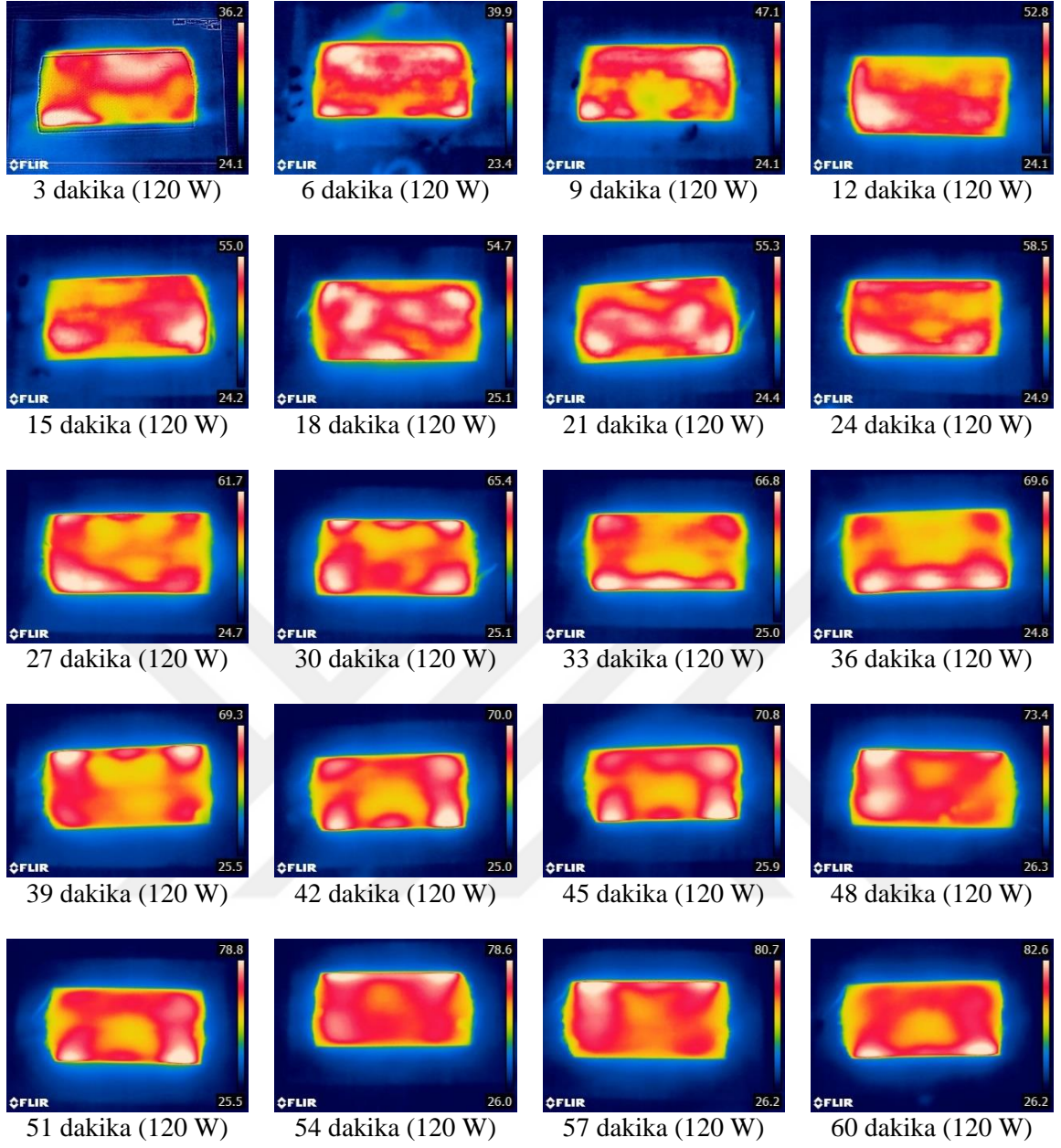
4.3.2. Mikrodalga Kurutucu - Su Banyosunda 60 dakika

Su banyosunda 60 dakika bekletilerek su emmesi sağlanan hortum numuneleri mikrodalga kurutucuda çeşitli kurutma güçleri uygulanarak kurutulmuştur. Bu esnada termal kamera yardımı ile görüntülenen numunelerde nem miktarının daha fazla olduğu alanlarının daha yüksek sıcaklıklarda olduğu görülmüştür. Termal analizde sarı olarak gözlenen kısımlar ısınmaya devam eden kırmızı kısımlar ise enerji emilimi ile aşırı ısınmış kısımlardır. Bu durum, nemin fazla olduğu alanlarda mikrodalga enerjisinin daha çok miktarda emilmesinden kaynaklanmaktadır. Ancak aşırı miktarda sıcaklık artışı da kurutma süresine bağlı olarak bölgesel yanıklara sebebiyet verebilmektedir.

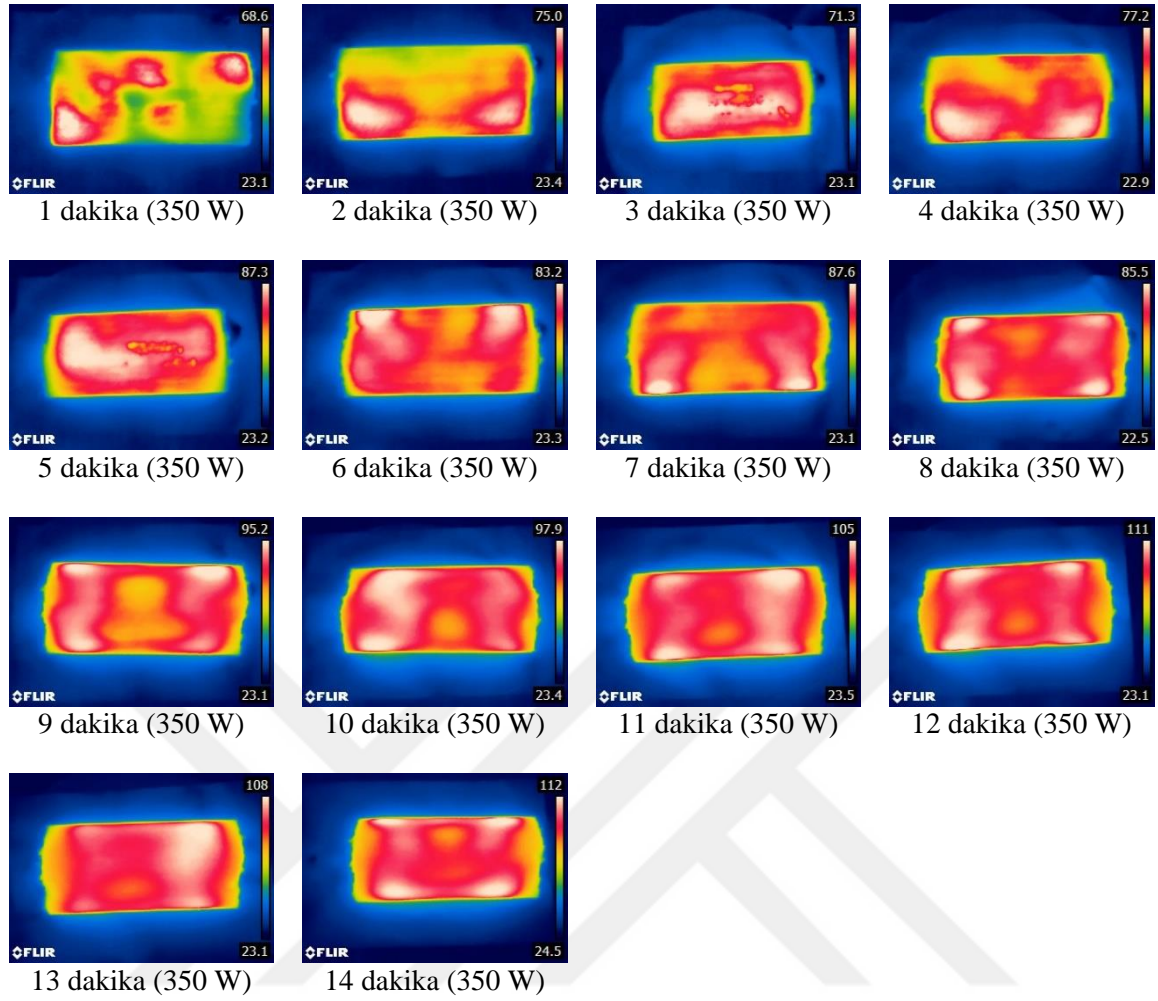
Şekil 4.16. da 60 dakika boyunca su emmesi sağlanmış hortum numunesinin 120 W güç uygulanarak mikrodalga kurutucuda kurutulması esnasındaki termal kamera görüntüleri bulunmaktadır. Kurutma işlemi 60 dakika sürmüştür ve bu süreçte hortum numunesinin 3.dakikada ölçülen ilk sıcaklığı 36,2 °C iken, 60.dakikada ölçülen son sıcaklığı 82,6 °C olarak görülmüştür. İşlem esnasında numune sıcaklığı sürekli artma eğilimindedir. Sıcaklık dağılımı ise sürecin tamamında düzensiz bir dağılım göstermektedir. Genel olarak yüksek sıcaklıklar numunenin köşe kısımlarında gözlenmektedir.

Şekil 4.17. de 60 dakika boyunca su emmesi sağlanmış hortum numunesinin 350 W güç uygulanarak mikrodalga kurutucuda kurutulması esnasındaki termal kamera görüntüleri bulunmaktadır. Kurutma işlemi 14 dakika sürmüştür ve bu süreçte hortum numunesinin 1.dakikada ölçülen ilk sıcaklığı 68,6 °C iken, 14.dakikada ölçülen son sıcaklığı 112 °C olarak görülmüştür. Kurutma işlemi esnasında numune sıcaklığı sürekli artmaktadır. Kurutma sürecinde sıcaklık dağılımı ilk dakikalardan sonra numune yüzeyinde düzenli bir dağılım göstermiştir.

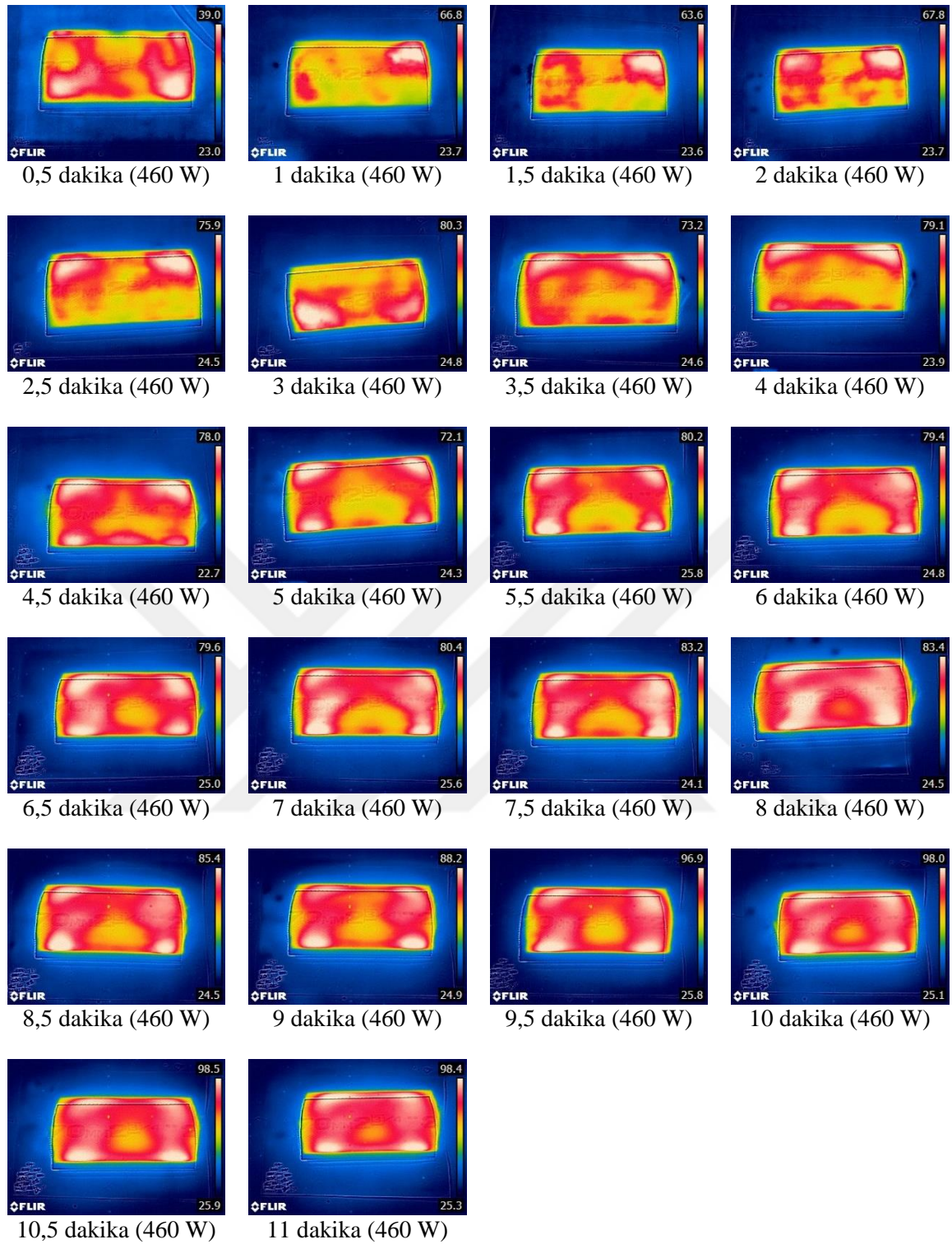
Şekil 4.18. de 60 dakika boyunca su emmesi sağlanmış hortum numunesinin 460 W güç uygulanarak mikrodalga kurutucuda kurutulması esnasındaki termal kamera görüntüleri yer almaktadır. Kurutma işlemi 11 dakika boyunca devam etmiş olup, hortum numunesinin ölçülen ilk sıcaklığı 0,5.dakikada 39,0 °C iken, son sıcaklığı ise 11.dakikada 98,4 °C olarak ölçülmüştür. Kurutma işleminde numune sıcaklığı artış eğilimindedir. Sıcaklık dağılımı ise sürecin tamamında, yüksek sıcaklıkların numunenin köşe kısımlarında gözlenmesiyle tespit edilmiştir.



Şekil 4.16. Mikrodalga Kurutucu 120 W - 60 Dakika Su Banyosu



Şekil 4.17. Mikrodalga Kurutucu 350 W - 60 Dakika Su Banyosu



Şekil 4.18. Mikrodalga Kurutucu 460 W - 60 Dakika Su Banyosu

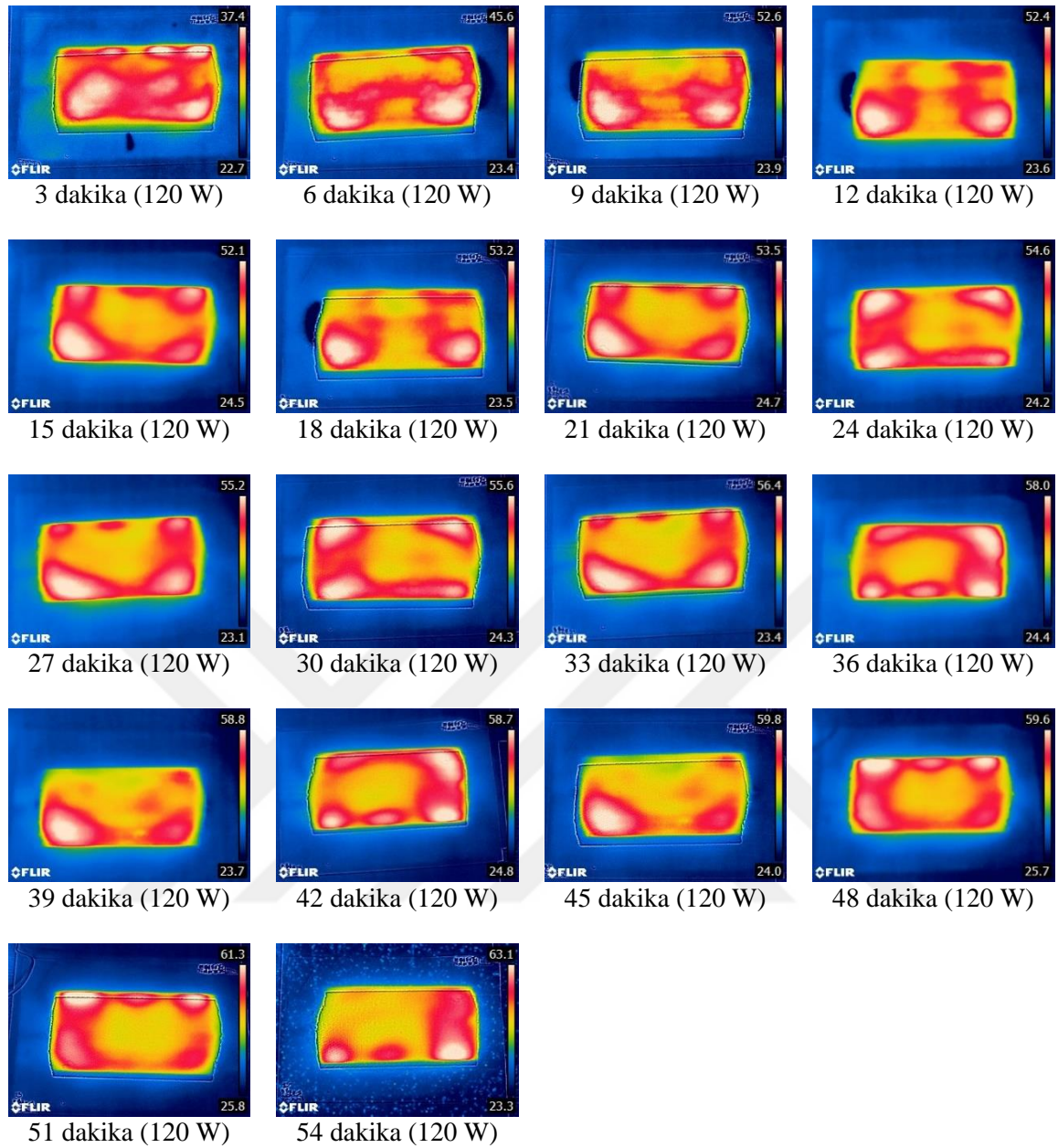
4.3.3. Mikrodalga Kurutucu - Su Banyosunda 90 dakika

Su banyosunda 90 dakika bekletilerek su emmesi sağlanan hortum numuneleri mikrodalga kurutucuda çeşitli kurutma güçleri uygulanarak kurutulmuştur. Bu esnada termal kamera yardımı ile görüntülenen numunelerde nem miktarının daha fazla olduğu alanlarının daha yüksek sıcaklıklarda olduğu görülmüştür. Termal analizde sarı olarak gözlenen kısımlar ısınmaya devam eden kırmızı kısımlar ise enerji emilimi ile aşırı ısınmış kısımlardır. Bu durum, nemin fazla olduğu alanlarda mikrodalga enerjisinin daha çok miktarda emilmesinden kaynaklanmaktadır. Ancak aşırı miktarda sıcaklık artışı da kurutma süresine bağlı olarak kısmi yanıklara sebebiyet verebilmektedir.

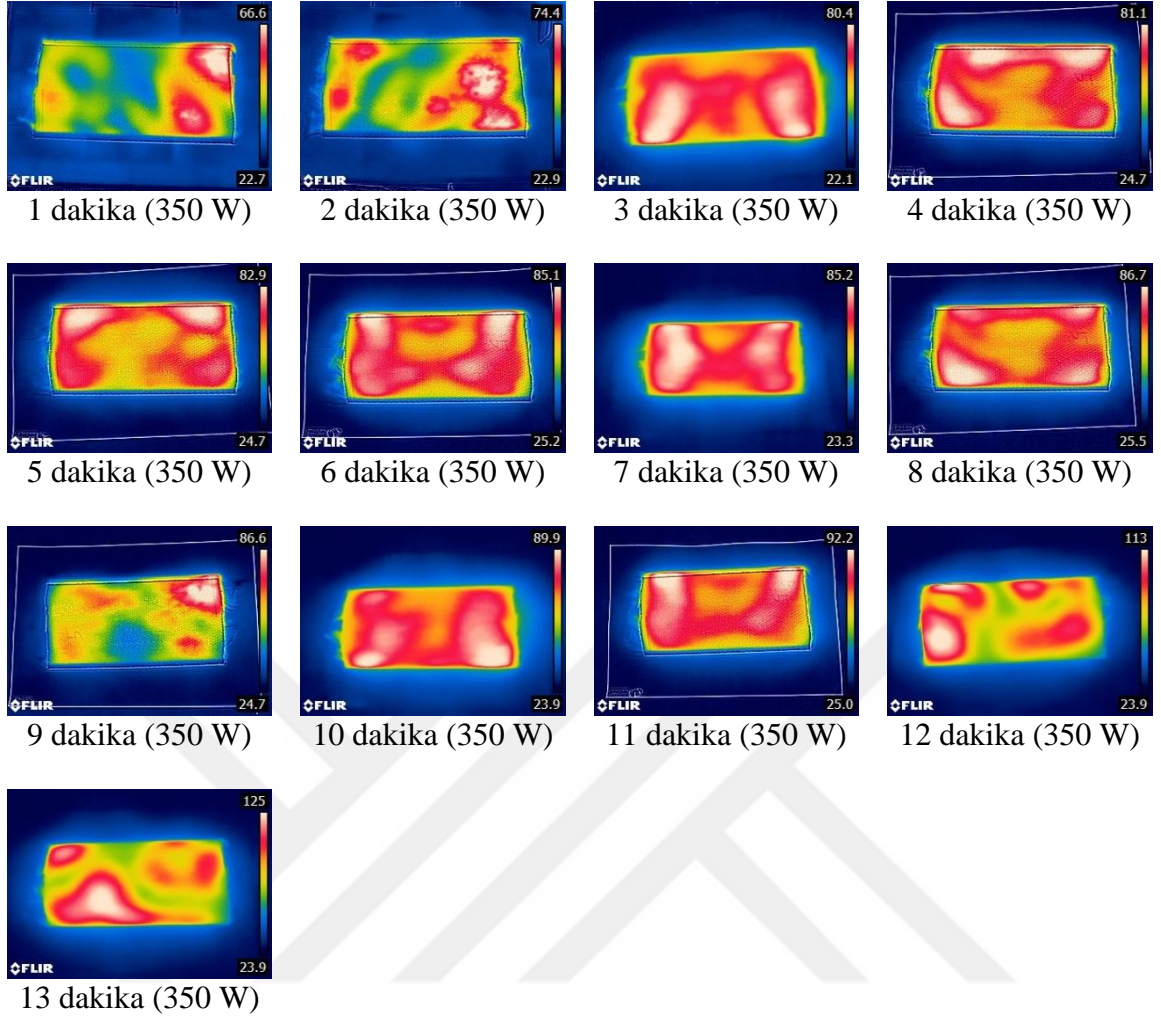
Şekil 4.19. da 90 dakika boyunca su emmesi sağlanmış hortum numunesinin 120 W güç uygulanarak mikrodalga kurutucuda kurutulması esnasındaki termal kamera görüntüleri bulunmaktadır. Kurutma işlemi 54 dakika sürmüştür ve bu süreçte hortum numunesinin 3.dakikada ölçülen ilk sıcaklığı 37,4 °C iken, 54.dakikada ölçülen son sıcaklığı 63,1 °C olarak görülmüştür. Kurutma işlemi boyunca sıcaklık artmaktadır. Ancak sıcaklık dağılımı düzensizdir ve yoğunlukla numunelerin köşe kısımlarında yüksek sıcaklıklar gözlenmiştir.

Şekil 4.20. de 90 dakika boyunca su emmesi sağlanmış hortum numunesinin 350 W güç uygulanarak mikrodalga kurutucuda kurutulması esnasındaki termal kamera görüntüleri yer almaktadır. Kurutma işlemi 13 dakika boyunca devam etmiş olup, hortum numunesinin ölçülen ilk sıcaklığı 1.dakikada 66,6 °C iken, son sıcaklığı ise 13.dakikada 125 °C olarak ölçülmüştür. İşlem esnasında numune sıcaklığı sürekli artma eğilimindedir. Sıcaklık dağılımı ise sürecin tamamında düzensiz bir dağılım göstermektedir. Genel olarak yüksek sıcaklıklar kurutma işleminin ortalarında yüzeye dağılım göstermektedir ancak son ölçümlerde tamamen düzensiz sıcaklık dağılımı tespit edilmiştir.

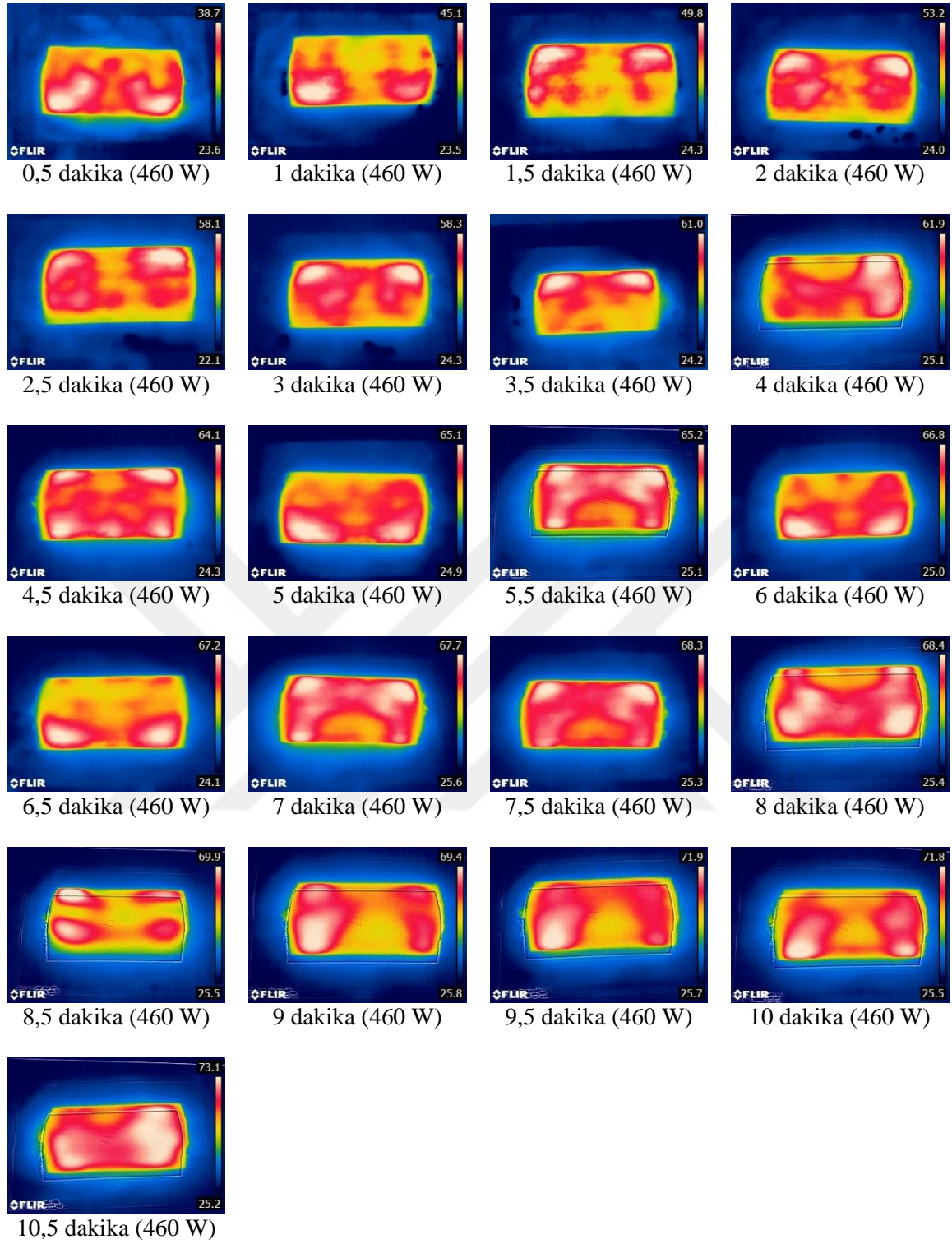
Şekil 4.21. de 90 dakika boyunca su emmesi sağlanmış hortum numunesinin 460 W güç uygulanarak mikrodalga kurutucuda kurutulması esnasındaki termal kamera görüntüleri bulunmaktadır. Kurutma işlemi 10,5 dakika sürmüştür ve bu süreçte hortum numunesinin 0,5.dakikada ölçülen ilk sıcaklığı 38,7 °C iken, 10,5.dakikada ölçülen son sıcaklığı 73,1 °C olarak görülmüştür. İşlem esnasında numune sıcaklığı artış göstermiştir. Sıcaklık dağılımı ise sürecin tamamında sağ ve sol kısımlarda dağılım göstermektedir. Genel olarak yüksek sıcaklıklar kurutma işleminin ortalarında yüzeye dağılım göstermektedir ancak son ölçümlerde sağ ve sol kenarlarda yüksek sıcaklık değerleri tespit edilmiştir.



Şekil 4.19. Mikrodalga Kurutucu 120 W - 90 Dakika Su Banyosu



Şekil 4.20. Mikrodalga Kurutucu 350 W - 90 Dakika Su Banyosu



Şekil 4.21. Mikrodalga Kurutucu 460 W - 90 Dakika Su Banyosu

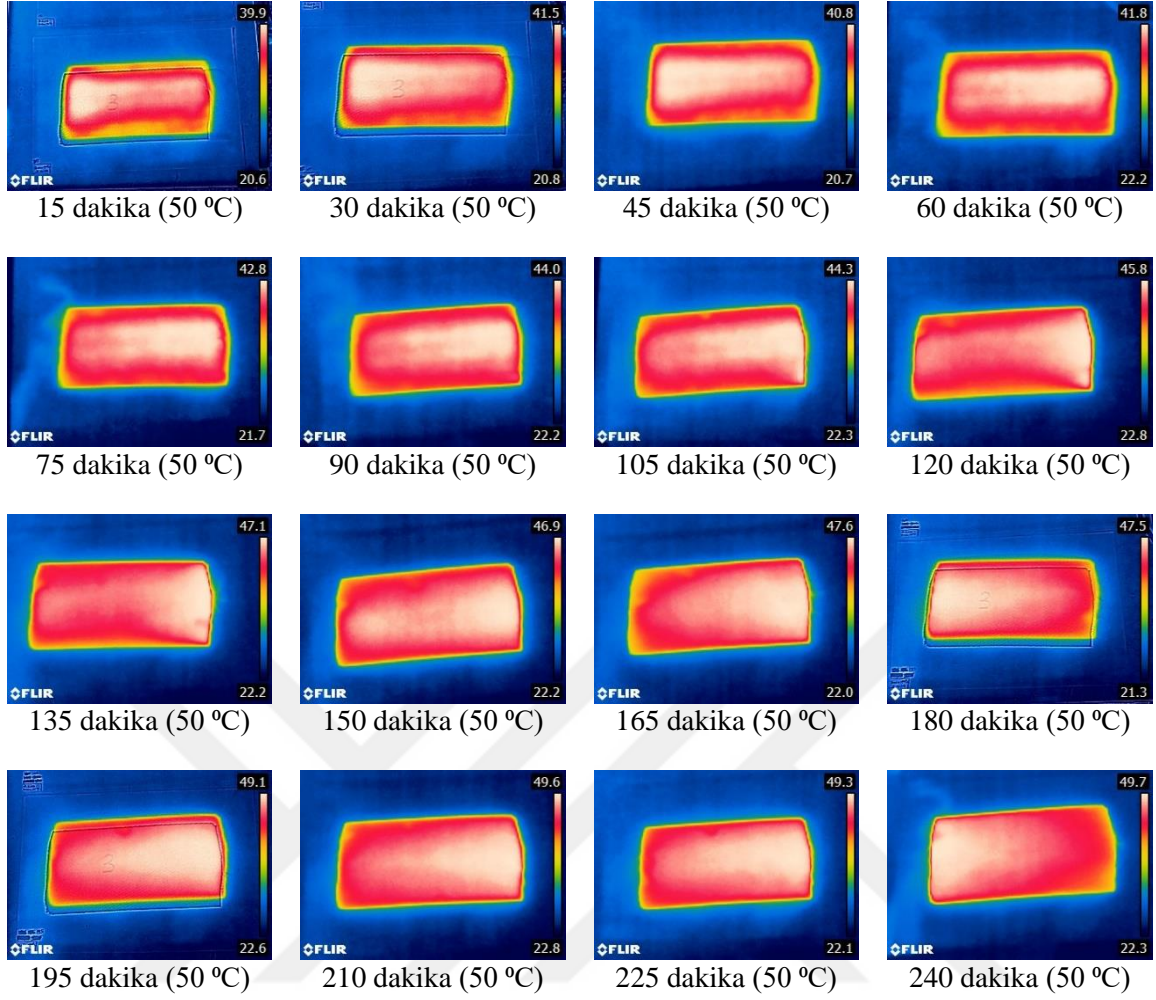
4.3.4. Bantlı Tip Tünel Kurutucu - Su Banyosunda 30 dakika

Su banyosunda 30 dakika bekletilerek su emmesi sağlanan hortum numuneleri bantlı tip tünel kurutucuda çeşitli kurutma sıcaklıkları uygulanarak kurutulmuştur. Bu esnada termal kamera yardımı ile görüntülenen numunelerde sıcaklık dağılımının düzenli olduğu gözlenmiştir. Bu durum, numunenin tünel boyunca sürekli olarak kurutma sıcaklığına maruz kalmasıyla açıklanabilir. Numunenin yüzeyi tamamen kurutma sıcaklığına maruz kaldığından ve bantın hareketiyle numune hareket halinde olduğundan sıcaklık eşit olarak dağılmıştır. Termal analizde sarı olarak gözlenen kısımlar ısınmaya devam eden kırmızı kısımlar ise aşırı ısınmış kısımlardır.

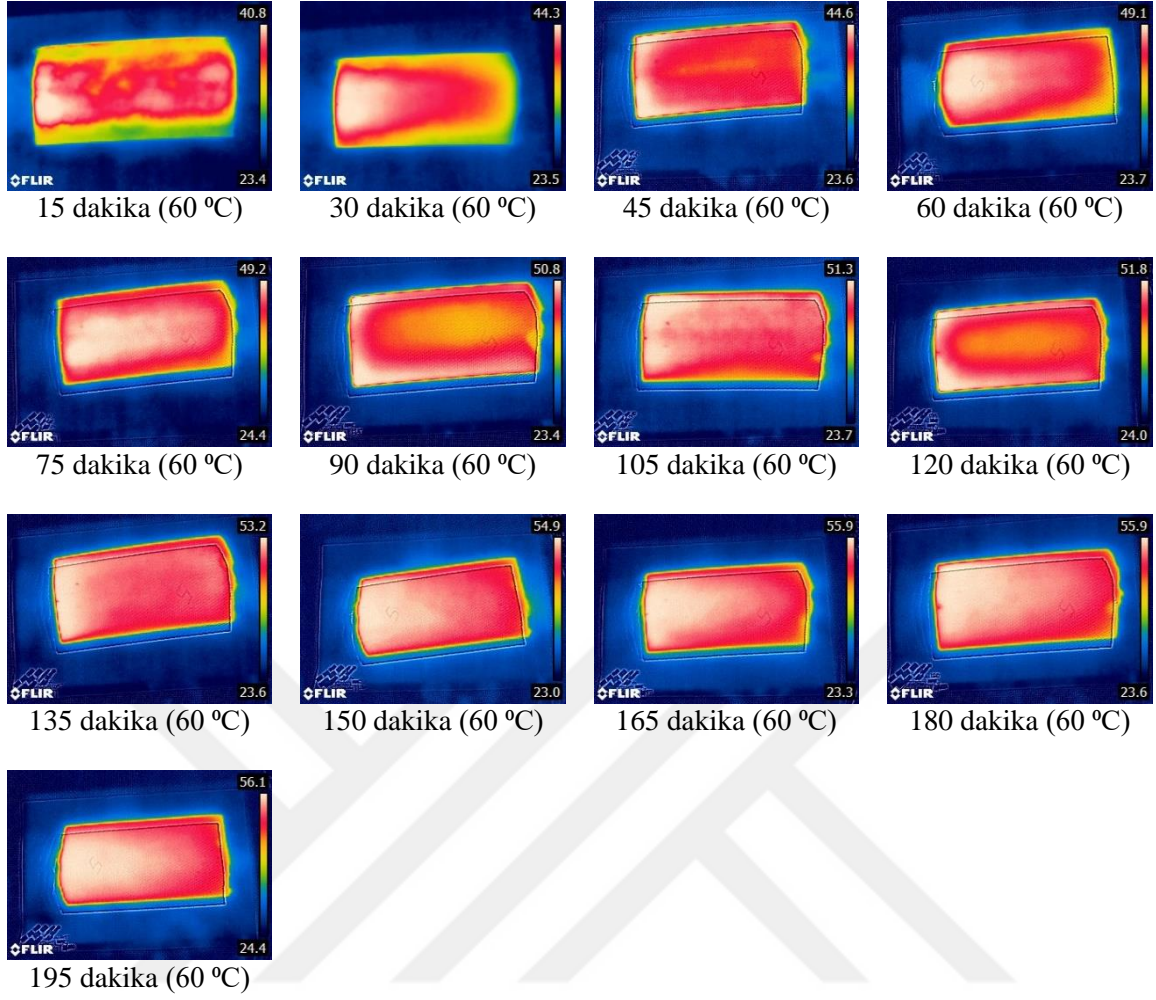
Şekil 4.22. de 30 dakika boyunca su emmesi sağlanmış hortum numunesinin 50 °C sıcaklık uygulanarak bantlı tip tünel kurutucuda kurutulması esnasındaki termal kamera görüntüleri yer almaktadır. Kurutma işlemi 240 dakika boyunca devam etmiş olup, hortum numunesinin ölçülen ilk sıcaklığı 15.dakikada 39,9 °C iken, son sıcaklığı ise 240.dakikada 49,7 °C olarak ölçülmüştür. Sıcaklık dağılımı numune yüzeyi boyunca boyuna orta eksenden kenarlara doğru azalış göstermiştir.

Şekil 4.23. de 30 dakika boyunca su emmesi sağlanmış hortum numunesinin 60 °C sıcaklık uygulanarak bantlı tip tünel kurutucuda kurutulması esnasındaki termal kamera görüntüleri bulunmaktadır. Kurutma işlemi 195 dakika sürmüştür ve bu süreçte hortum numunesinin 15.dakikada ölçülen ilk sıcaklığı 40,8 °C iken, 195.dakikada ölçülen son sıcaklığı 56,1°C olarak görülmüştür. Sıcaklık dağılımı ilk iki ölçümde üniform olmayan bir dağılım gösterse de yüzeyde hareket yönünde olan kenardan diğer kenara doğru sıcaklık dağılımı düzenli bir azalış göstermiştir.

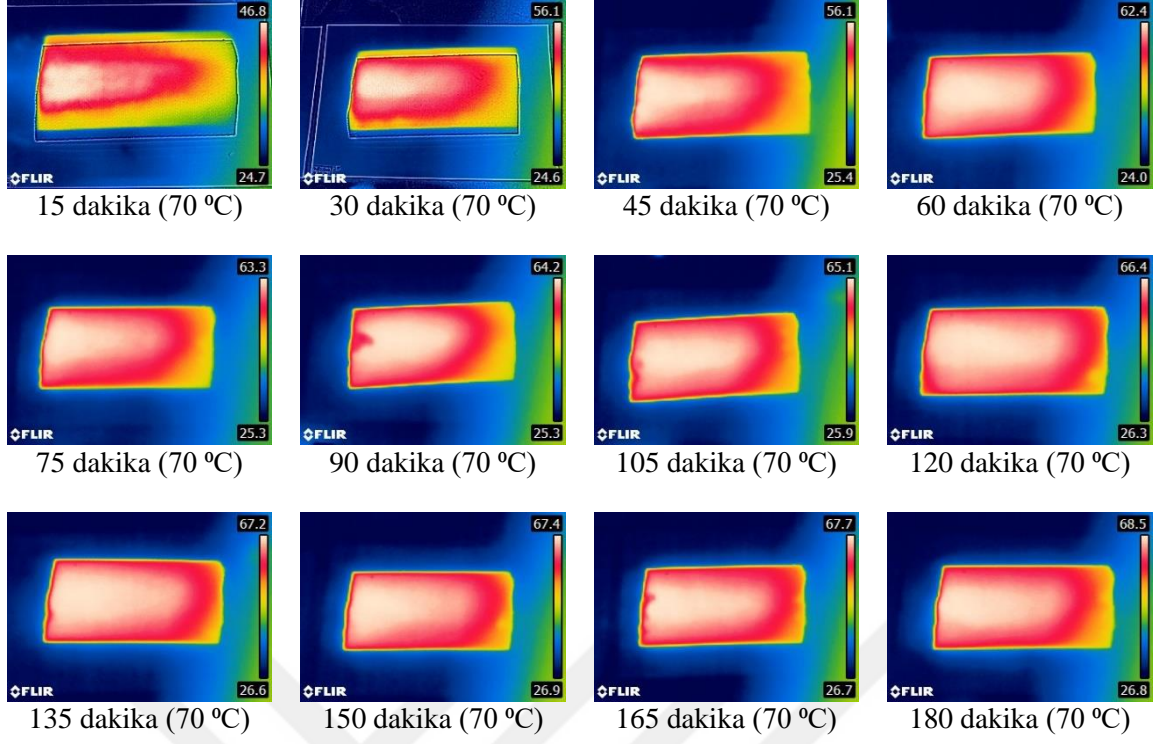
Şekil 4.24. de ise 30 dakika boyunca su emmesi sağlanmış hortum numunesinin 70 °C sıcaklık uygulanarak bantlı tip tünel kurutucuda kurutulması esnasındaki termal kamera görüntüleri yer almaktadır. Kurutma işlemi 180 dakika boyunca devam etmiş olup, hortum numunesinin ölçülen ilk sıcaklığı 15.dakikada 46,8 °C iken, son sıcaklığı ise 180.dakikada 68,5 °C olarak ölçülmüştür. Sıcaklık dağılımı yüzeyde hareket yönünde olan kenardan diğer kenara doğru düzenli bir dağılım ile azalış göstermiştir.



Şekil 4.22. Bantlı Tip Tünel Kurutucu 50 °C - 30 Dakika Su Banyosu



Şekil 4.23. Bantlı Tip Tünel Kurutucu 60 °C - 30 Dakika Su Banyosu



Şekil 4.24. Bantlı Tip Tünel Kurutucu 70 °C - 30 Dakika Su Banyosu

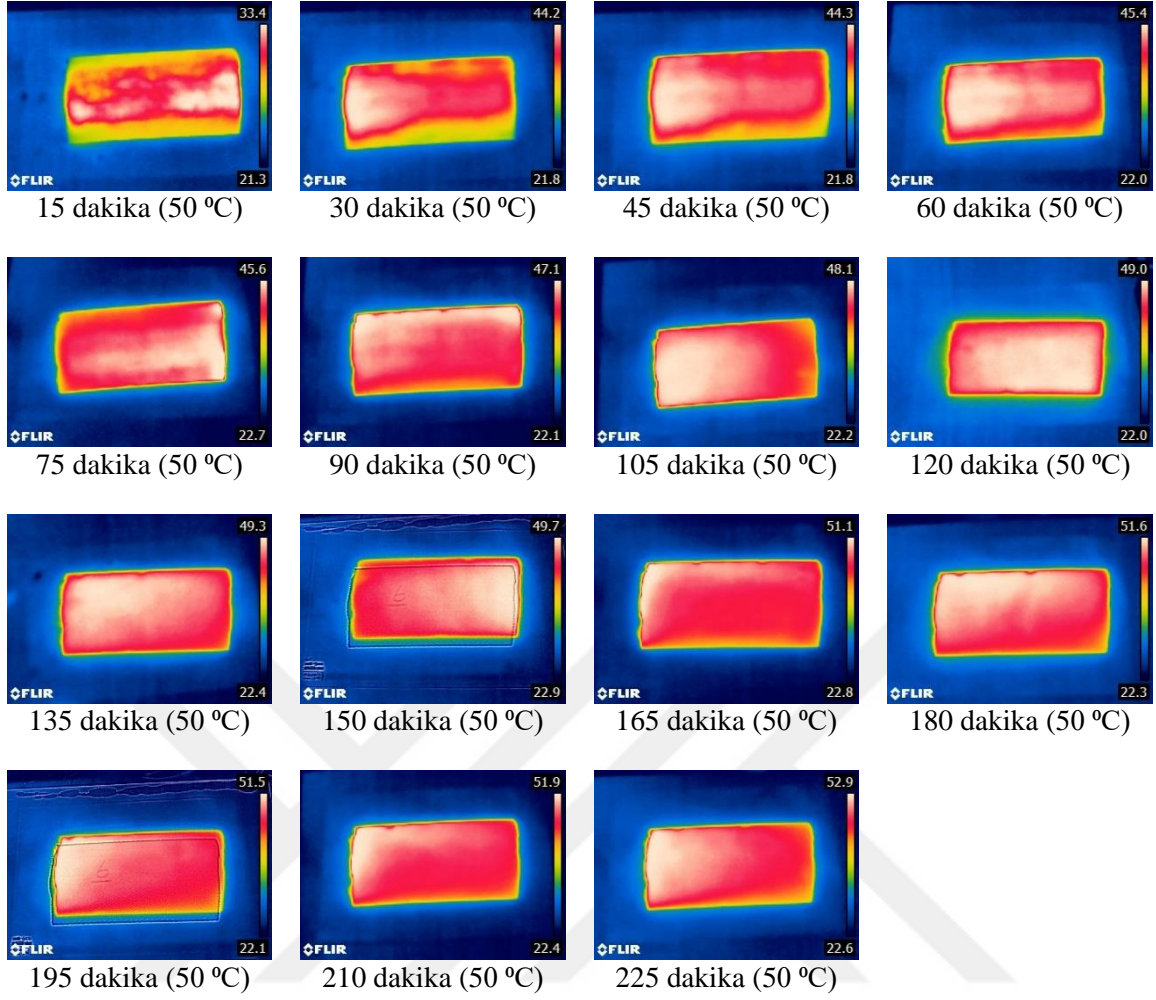
4.3.5. Bantlı Tip Tünel Kurutucu - Su Banyosunda 60 dakika

Su banyosunda 60 dakika bekletilerek su emmesi sağlanan hortum numuneleri bantlı tip tünel kurutucuda çeşitli kurutma sıcaklıkları uygulanarak kurutulmuştur. Bu esnada termal kamera yardımı ile görüntülenen numunelerde sıcaklık dağılımının düzenli olduğu gözlenmiştir. Bu durum, numunenin tünel boyunca sürekli olarak kurutma sıcaklığına maruz kalmasıyla açıklanabilir. Numunenin yüzeyi tamamen kurutma sıcaklığına maruz kaldığından ve bantın hareketiyle numune hareket halinde olduğundan sıcaklık eşit olarak dağılmıştır. Termal analizde sarı olarak gözlenen kısımlar ısınmaya devam eden kırmızı kısımlar ise aşırı ısınmış kısımlardır.

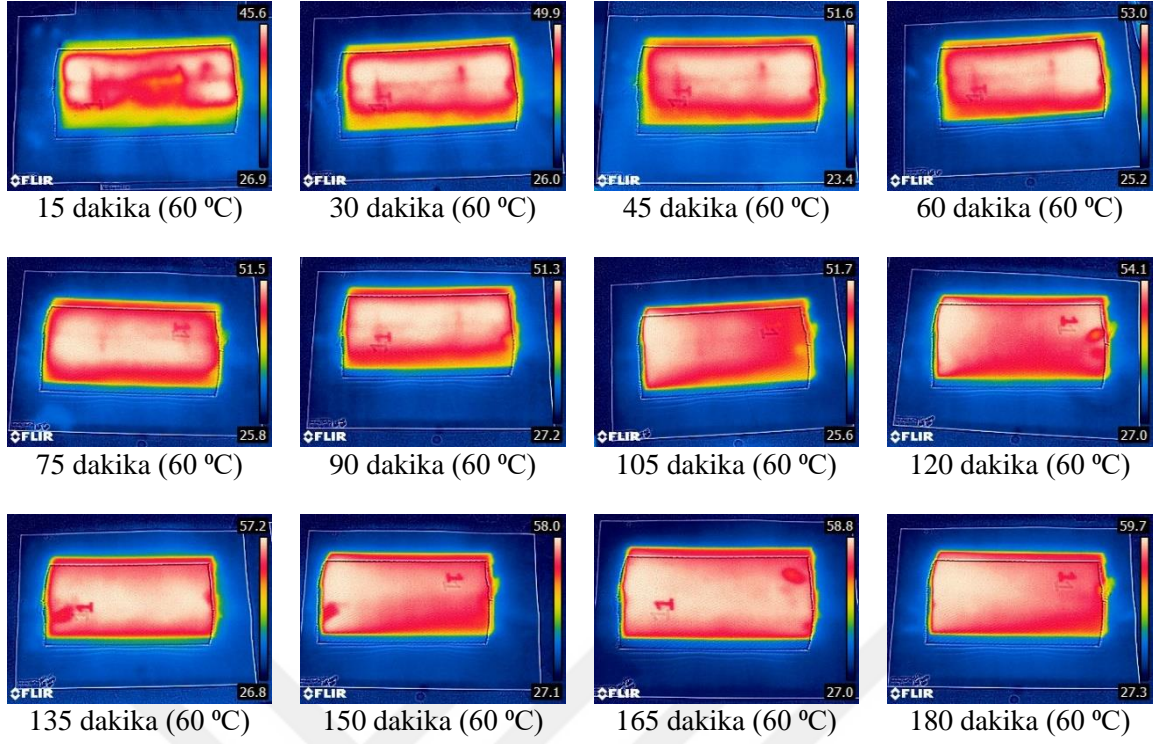
Şekil 4.25. de ise 60 dakika boyunca su emmesi sağlanmış hortum numunesinin 50 °C sıcaklık uygulanarak bantlı tip tünel kurutucuda kurutulması esnasındaki termal kamera görüntüleri yer almaktadır. Kurutma işlemi 225 dakika boyunca devam etmiş olup, hortum numunesinin ölçülen ilk sıcaklığı 15.dakikada 33,4 °C iken, son sıcaklığı ise 225.dakikada 52,9 °C olarak ölçülmüştür. Sıcaklık dağılımı ilk iki ölçümde üniform olmayan bir dağılım gösterse de yüzeyde hareket yönünde olan kenardan diğer kenara doğru sıcaklık dağılımı düzenli bir azalış göstermiştir

Şekil 4.26. da 60 dakika boyunca su emmesi sağlanmış hortum numunesinin 60 °C sıcaklık uygulanarak bantlı tip tünel kurutucuda kurutulması esnasındaki termal kamera görüntüleri bulunmaktadır. Kurutma işlemi 180 dakika sürmüştür ve bu süreçte hortum numunesinin 15.dakikada ölçülen ilk sıcaklığı 45,6 °C iken, 180.dakikada ölçülen son sıcaklığı 59,7 °C olarak görülmüştür. Sıcaklık dağılımı ilk iki ölçümde düzensiz bir yapıda olsa da numune yüzeyi boyunca devam eden ölçümlerde boyuna orta eksenden kenarlara doğru azalış göstermiştir.

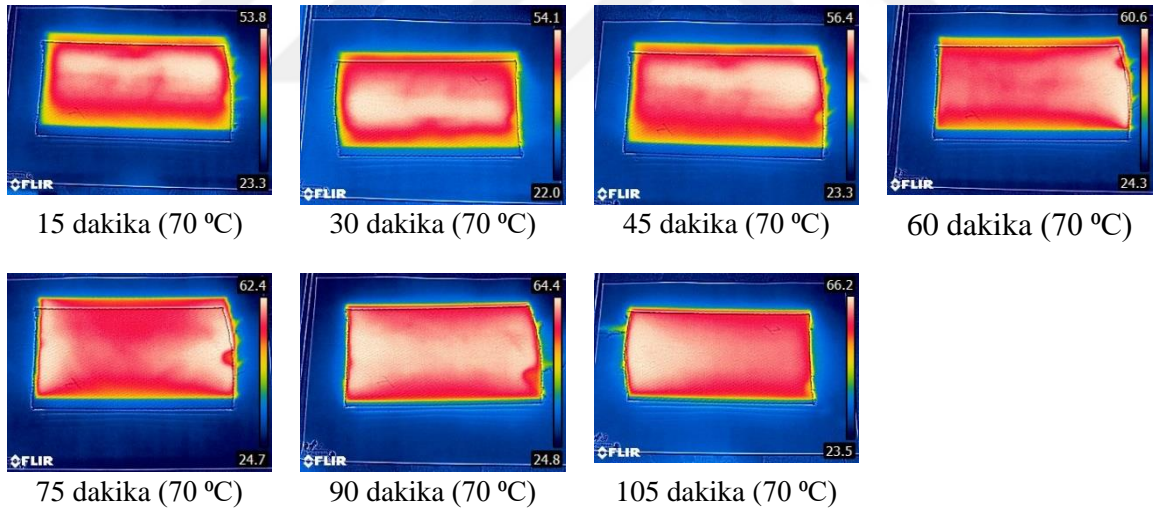
Şekil 4.27. de ise 60 dakika boyunca su emmesi sağlanmış hortum numunesinin 70 °C sıcaklık uygulanarak bantlı tip tünel kurutucuda kurutulması esnasındaki termal kamera görüntüleri yer almaktadır. Kurutma işlemi 105 dakika boyunca devam etmiş olup, hortum numunesinin ölçülen ilk sıcaklığı 15.dakikada 53,8 °C iken, son sıcaklığı ise 105.dakikada 66,2 °C olarak ölçülmüştür. Sıcaklık dağılımı numune yüzeyi boyunca boyuna orta eksenden kenarlara doğru azalış göstermiştir.



Şekil 4.25. Bantlı Tip Tünel Kurutucu 50 °C - 60 Dakika Su Banyosu



Şekil 4.26. Bantlı Tip Tünel Kurutucu 60 °C - 60 Dakika Su Banyosu



Şekil 4.27. Bantlı Tip Tünel Kurutucu 70 °C - 60 Dakika Su Banyosu

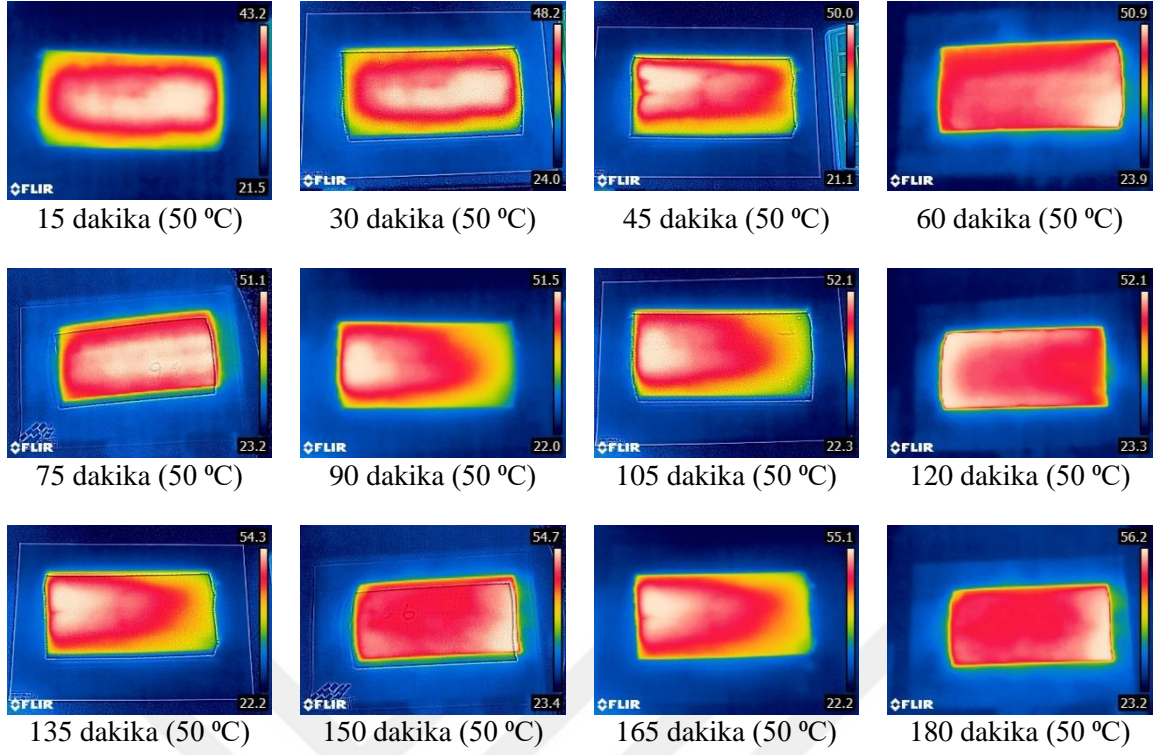
4.3.6. Bantlı Tip Tünel Kurutucu - Su Banyosunda 90 dakika

Su banyosunda 90 dakika bekletilerek su emmesi sağlanan hortum numuneleri bantlı tip tünel kurutucuda çeşitli kurutma sıcaklıkları uygulanarak kurutulmuştur. Bu esnada termal kamera yardımı ile görüntülenen numunelerde sıcaklık dağılımının düzenli olduğu gözlenmiştir. Bu durum, numunenin tünel boyunca sürekli olarak kurutma sıcaklığına maruz kalmasıyla açıklanabilir. Numunenin yüzeyi tamamen kurutma sıcaklığına maruz kaldığından ve bantın hareketiyle numune hareket halinde olduğundan sıcaklık eşit olarak dağılmıştır. Termal analizde sarı olarak gözlenen kısımlar ısınmaya devam eden kırmızı kısımlar ise aşırı ısınmış kısımlardır.

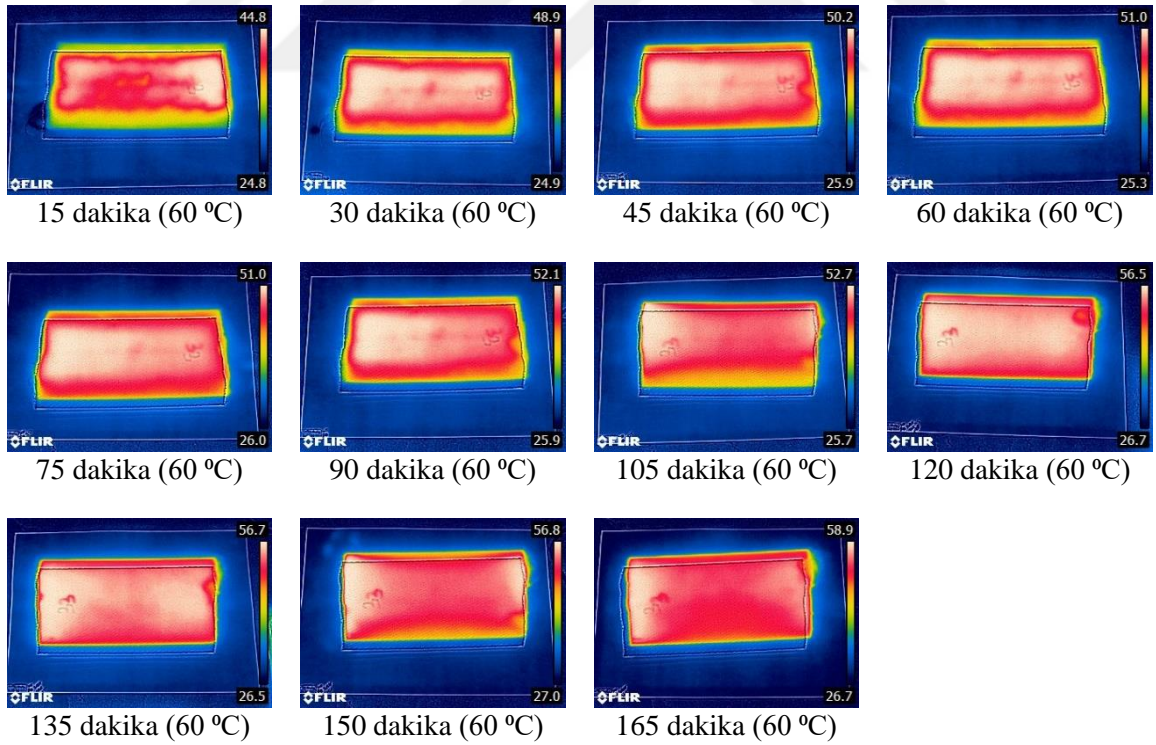
Şekil 4.28. de 90 dakika boyunca su emmesi sağlanmış hortum numunesinin 50 °C sıcaklık uygulanarak bantlı tip tünel kurutucuda kurutulması esnasındaki termal kamera görüntüleri bulunmaktadır. Kurutma işlemi 180 dakika sürmüştür ve bu süreçte hortum numunesinin 15.dakikada ölçülen ilk sıcaklığı 43,2 °C iken, 180.dakikada ölçülen son sıcaklığı 56,2 °C olarak görülmüştür. Sıcaklık dağılımı üniform olmayan bir dağılım gösterse de yüzeyde hareket yönünde olan kenardan diğer kenara doğru sıcaklık dağılımı azalış göstermiştir.

Şekil 4.29. da ise 90 dakika boyunca su emmesi sağlanmış hortum numunesinin 60 °C sıcaklık uygulanarak bantlı tip tünel kurutucuda kurutulması esnasındaki termal kamera görüntüleri yer almaktadır. Kurutma işlemi 165 dakika boyunca devam etmiş olup, hortum numunesinin ölçülen ilk sıcaklığı 15.dakikada 44,8 °C iken, son sıcaklığı ise 165.dakikada 58,9 °C olarak ölçülmüştür. Sıcaklık dağılımı ilk ölçümde düzensiz bir yapıda olsa da numune yüzeyi boyunca devam eden ölçümlerde boyuna orta eksenden kenarlara doğru azalış göstermiştir.

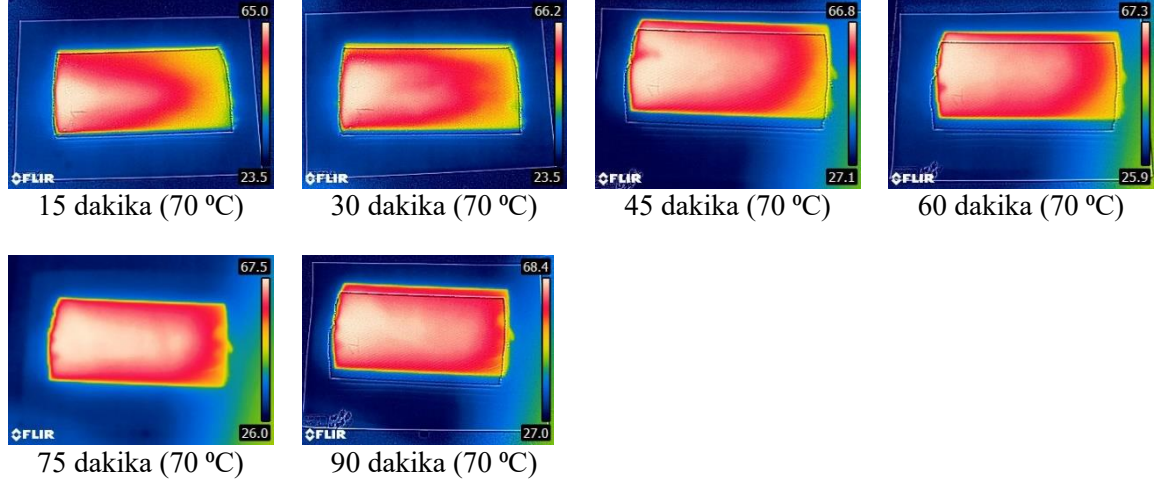
Şekil 4.30. da 90 dakika boyunca su emmesi sağlanmış hortum numunesinin 70 °C sıcaklık uygulanarak bantlı tip tünel kurutucuda kurutulması esnasındaki termal kamera görüntüleri bulunmaktadır. Kurutma işlemi 90 dakika sürmüştür ve bu süreçte hortum numunesinin 15.dakikada ölçülen ilk sıcaklığı 65,0 °C iken, 90.dakikada ölçülen son sıcaklığı 68,4 °C olarak görülmüştür. Sıcaklık dağılımı yüzeyde hareket yönünde olan kenardan diğer kenara doğru sıcaklık dağılımı düzenli bir azalış göstermiştir.



Şekil 4.28. Bantlı Tip Tünel Kurutucu 50 °C - 90 Dakika Su Banyosu



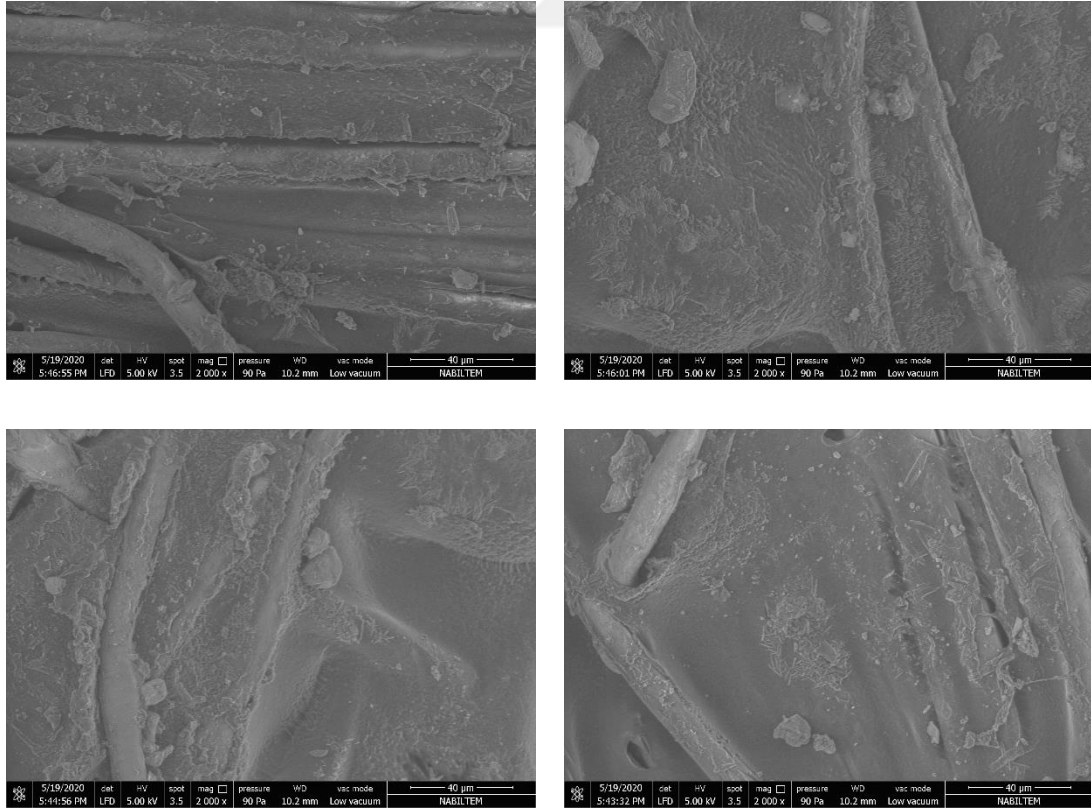
Şekil 4.29. Bantlı Tip Tünel Kurutucu 60 °C - 90 Dakika Su Banyosu



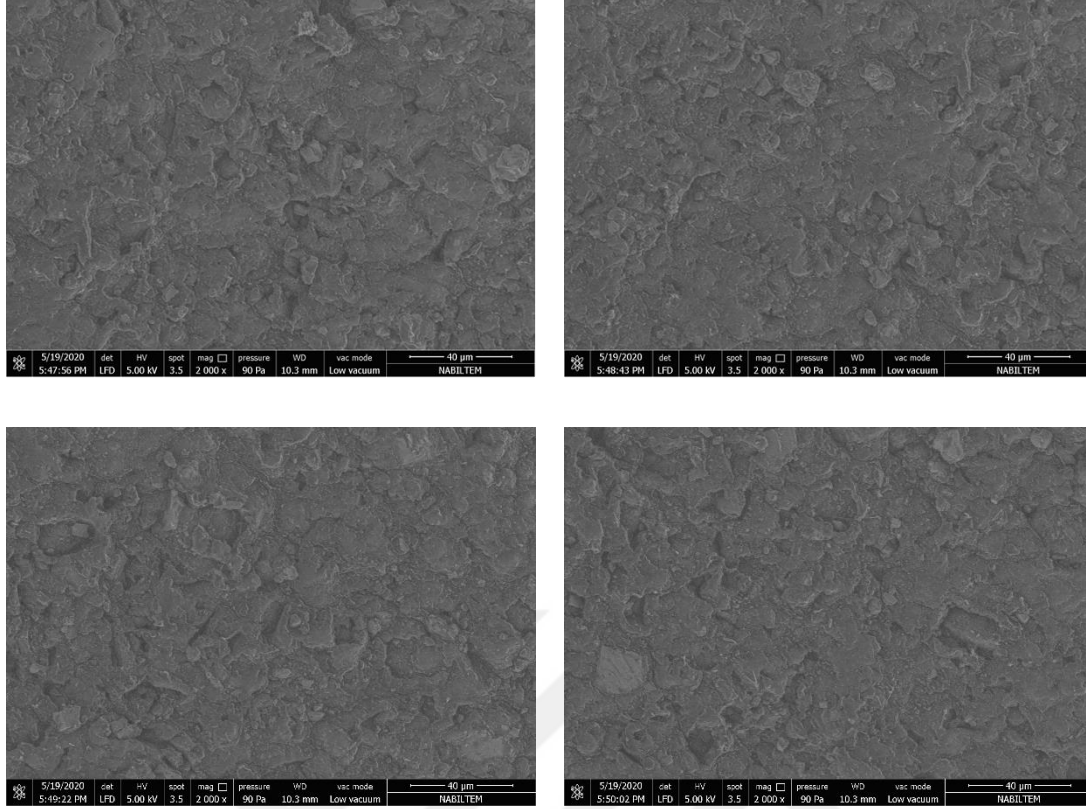
Şekil 4.30. Bantlı Tip Tünel Kurutucu 70 °C - 90 Dakika Su Banyosu

4.4. SEM Analizi

Herhangi bir işlem uygulanmamış hortum numunesinin dış kısmının içyapısını gösteren SEM (taramalı elektron mikroskobu) görüntüleri Şekil 4.31. de bulunmaktadır. Şekil 4.32. de ise, aynı hortum numunesinin iç kısmına ait görüntüler yer almaktadır.



Şekil 4.31. İşlem Uygulanmamış Hortum Numunesi SEM Görüntüleri (Dış Kısım)



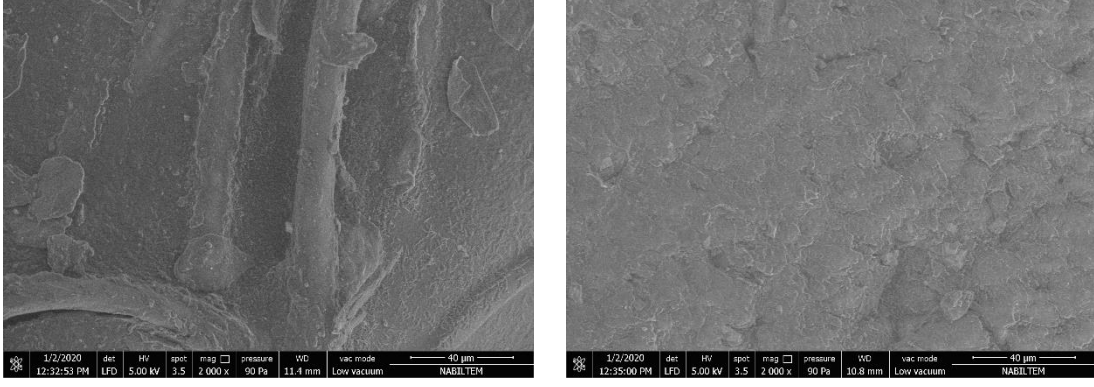
Şekil 4.32. İşlem Uygulanmamış Hortum Numunesi SEM Görüntüleri (İç Kısım)

4.4.1. Mikrodalga Kurutucu - Su Banyosunda 30 dakika

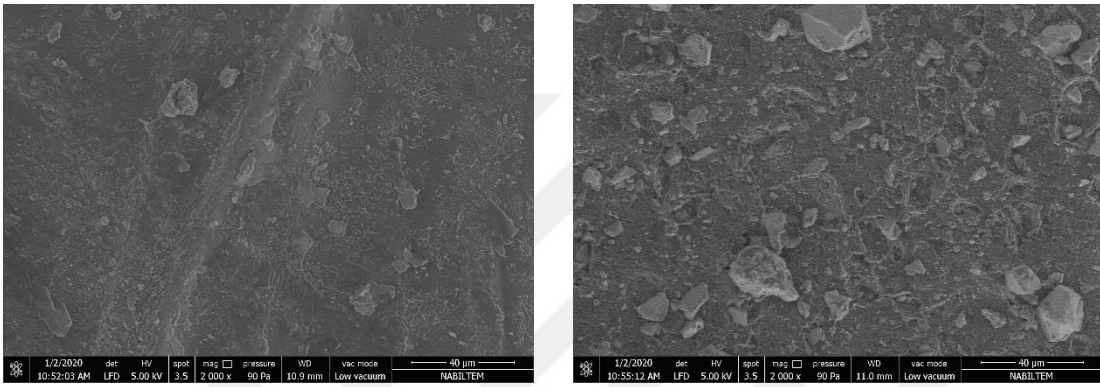
Şekil 4.33. de 30 dakika boyunca su emmesi sağlanmış hortum numunesinin 120 W güç uygulanarak mikrodalga kurutucuda kurutulduktan sonra içyapısında meydana gelmiş değişimleri gösteren SEM (taramalı elektron mikroskobu) görüntüleri bulunmaktadır. Taramalı elektron mikroskobunda 2000 kere büyütülmüş olarak hortum numunesinin dış kısmı ve iç kısmı görüntülenmiştir.

Benzer şekilde de Şekil 4.34. de 30 dakika su emmesi sağlanmış hortum numunesinin 350 W güç ile kurutulduktan sonra numunenin dış ve iç kısmı görüntülenmiştir. Yine Şekil 4.35. de de, 30 dakika su emmesi sağlanmış hortum numunesinin 460 W güç ile kurutulduktan sonra numunenin dış ve iç kısım görüntüleri bulunmaktadır.

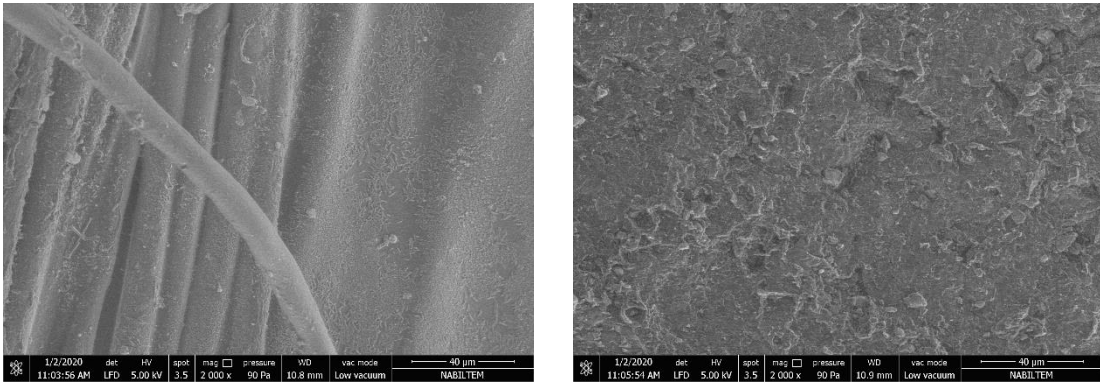
Mikrodalga kurutucuda kurutma işleminde, kurutma gücü seviyesi arttıkça sıcaklık ve buhar basıncının da arttığı tespit edilmiştir. Numunenin dış kısmında iplikli yapısının, iç kısmında da gözenekli yapısının da çıkan buharla ilgili kısmi olarak fazlaştığı gözlenmiştir.



Şekil 4.33. Mikrodalga Kurutucu 120 W - 30 Dakika Su Banyosu (Dış Kısım – İç Kısım)



Şekil 4.34. Mikrodalga Kurutucu 350 W - 30 Dakika Su Banyosu (Dış Kısım – İç Kısım)



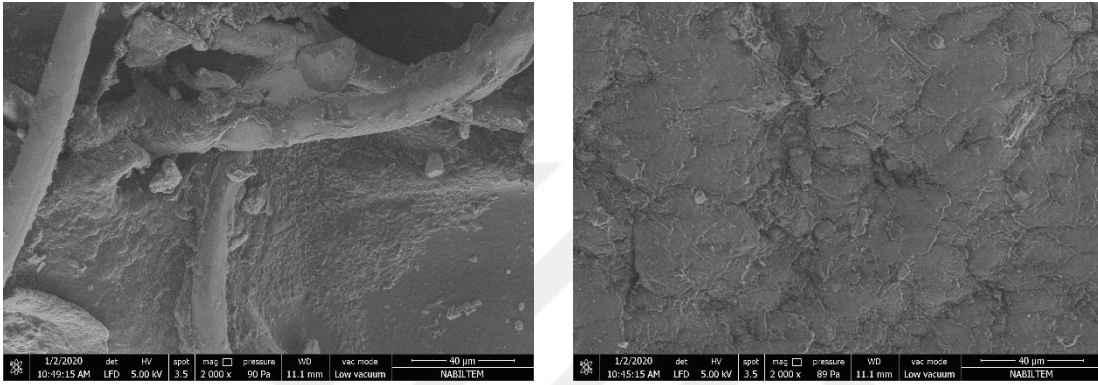
Şekil 4.35. Mikrodalga Kurutucu 460 W - 30 Dakika Su Banyosu (Dış Kısım – İç Kısım)

4.4.2. Mikrodalga Kurutucu - Su Banyosunda 60 dakika

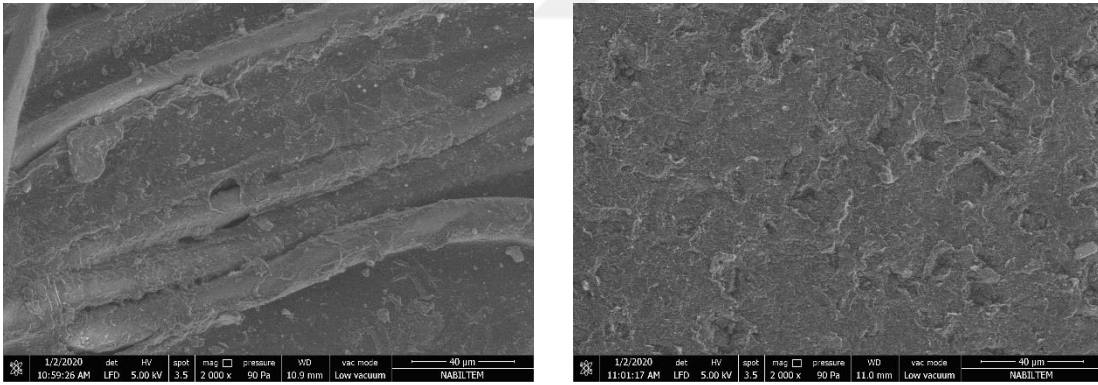
Şekil 4.36. da 60 dakika boyunca su emmesi sağlanmış hortum numunesinin 120 W güç uygulanarak mikrodalga kurutucuda kurutulduktan sonra, alınmış olan numunenin dış kısmının ve iç kısmının yapısında meydana gelmiş değişimleri gösteren SEM (taramalı elektron mikroskobu) görüntüleri 2000 kat büyütülmüş olarak bulunmaktadır.

Ek olarak, Şekil 4.37. de 60 dakika su emmesi sağlanmış hortum numunesinin 350 W güç ile kurutulduktan sonra numunenin dış ve iç kısmı görüntülenmiştir. Ayrıca Şekil 4.38. de de, 60 dakika su emmesi sağlanmış hortum numunesinin 460 W güç ile kurutulduktan sonra numunenin dış ve iç kısım görüntüleri yer almaktadır.

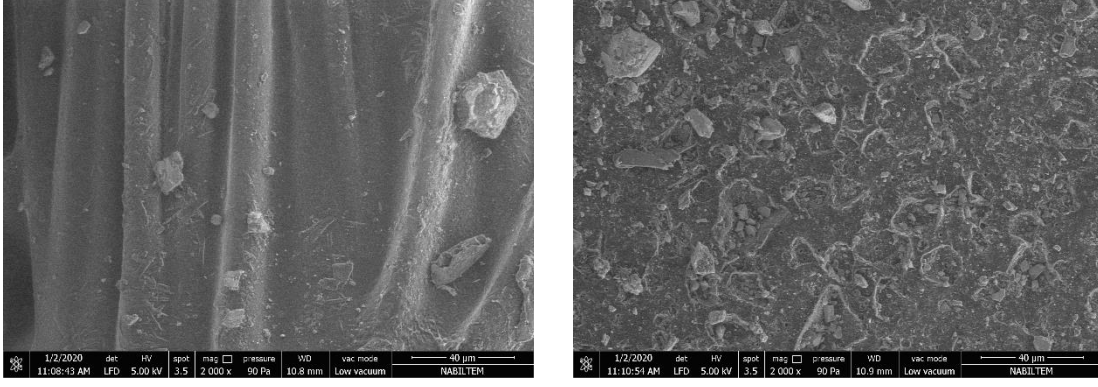
Kurutma işleminde mikrodalga kurutucu kullanıldığında, güç arttıkça sıcaklığın ve buhar basıncının da arttığı gözlenmiştir. Numunenin dış kısmında iplikli yapısının, iç yapısında da gözeneklerin çıkan buharla ilgili kısmi olarak fazlaştığı gözlenmiştir.



Şekil 4.36. Mikrodalga Kurutucu 120 W - 60 Dakika Su Banyosu (Dış Kısım – İç Kısım)



Şekil 4.37. Mikrodalga Kurutucu 350 W - 60 Dakika Su Banyosu (Dış Kısım – İç Kısım)



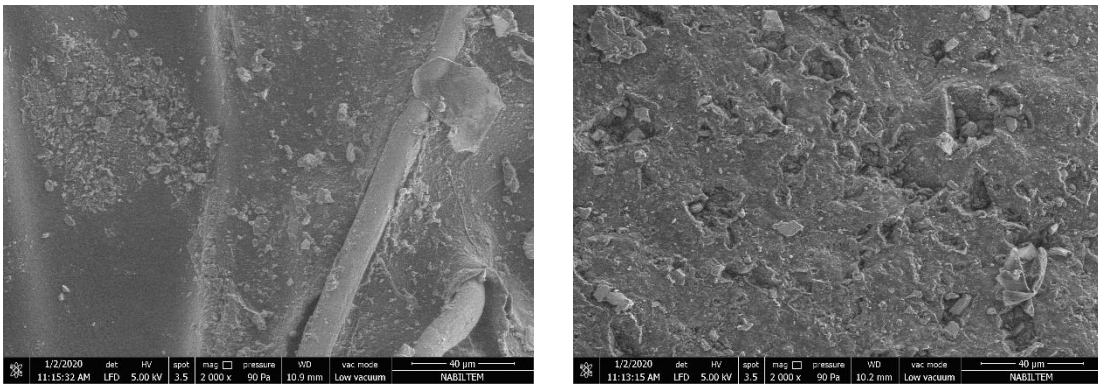
Şekil 4.38. Mikrodalga Kurutucu 460 W - 60 Dakika Su Banyosu (Dış Kısım – İç Kısım)

4.4.3. Mikrodalga Kurutucu - Su Banyosunda 90 dakika

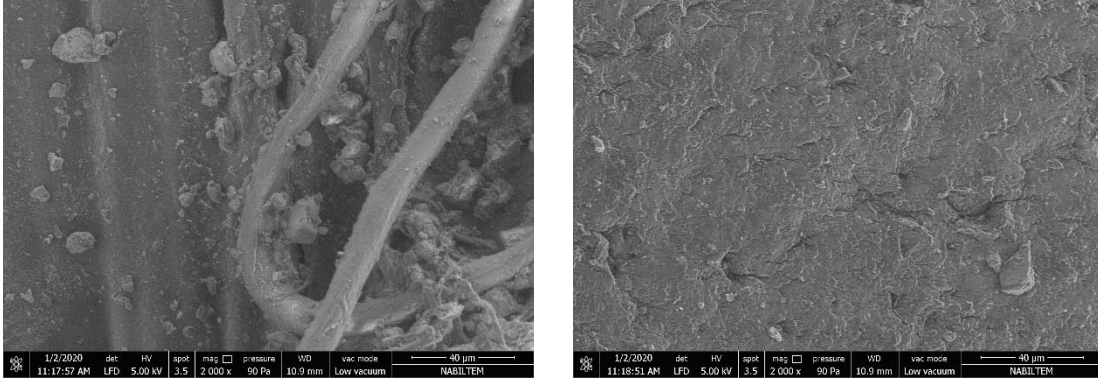
Şekil 4.39. da, 90 dakika boyunca su emmesi sağlanmış hortum numunesinin 120 W güç uygulanarak mikrodalga kurutucuda kurutulduktan sonra içyapısında meydana gelmiş değişimleri gösteren 2000 kat büyütülmüş SEM (taramalı elektron mikroskobu) görüntüleri bulunmaktadır.

Aynı şekilde Şekil 4.40. da 90 dakika su emmesi sağlanmış hortum numunesinin 350 W güç ile kurutulduktan sonra numunenin dış ve iç kısmı görüntülenmiştir. İlaveten, Şekil 4.41. de de, 90 dakika su emmesi sağlanmış hortum numunesinin 460 W güç ile kurutulduktan sonra numunenin dış ve iç kısım görüntüleri yer almaktadır.

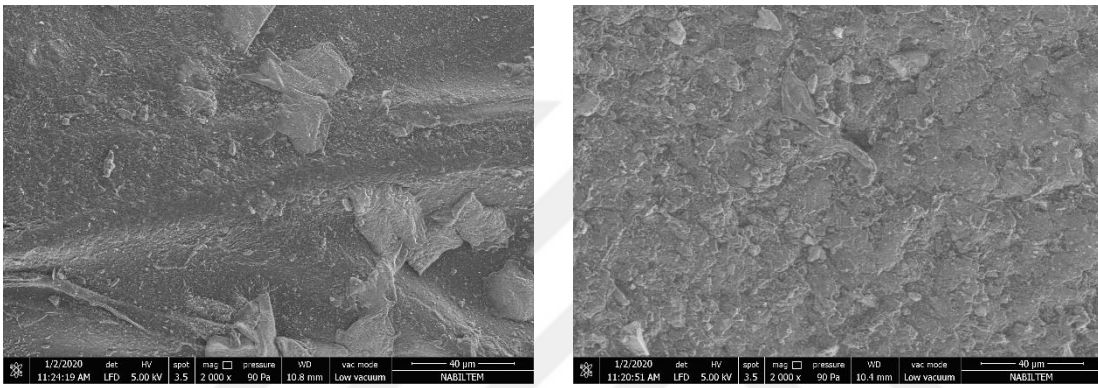
Kurutma için mikrodalga kurutucu kullanıldığında, güç seviyesi arttıkça sıcaklık ve buhar basıncının da artmıştır. Numunenin dış kısmında iplikli yapı, iç kısmında da gözenekli yapı buhar basıncı ile ilgili fazlaşmıştır.



Şekil 4.39. Mikrodalga Kurutucu 120 W - 90 Dakika Su Banyosu (Dış Kısım – İç Kısım)



Şekil 4.40. Mikrodalga Kurutucu 350 W - 90 Dakika Su Banyosu (Dış Kısım – İç Kısım)



Şekil 4.41. Mikrodalga Kurutucu 460 W - 90 Dakika Su Banyosu (Dış Kısım – İç Kısım)

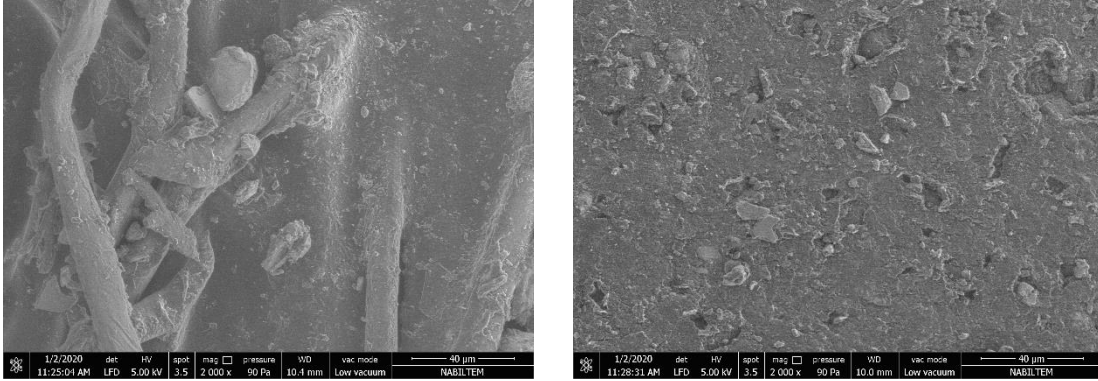
4.4.4. Bantlı Tip Tünel Kurutucu - Su Banyosunda 30 dakika

Şekil 4.42. de 30 dakika boyunca su emmesi sağlanmış hortum numunesinin 50 °C sıcaklık uygulanarak bantlı tip tünel kurutucuda kurutulduktan sonra iç yapısında meydana gelmiş değişimleri gösteren SEM (taramalı elektron mikroskobu) görüntüleri yer almaktadır. Taramalı elektron mikroskobunda 2000 kere büyütülmüş olarak hortum numunesinin dış kısmı ve iç kısmı görüntülenmiştir.

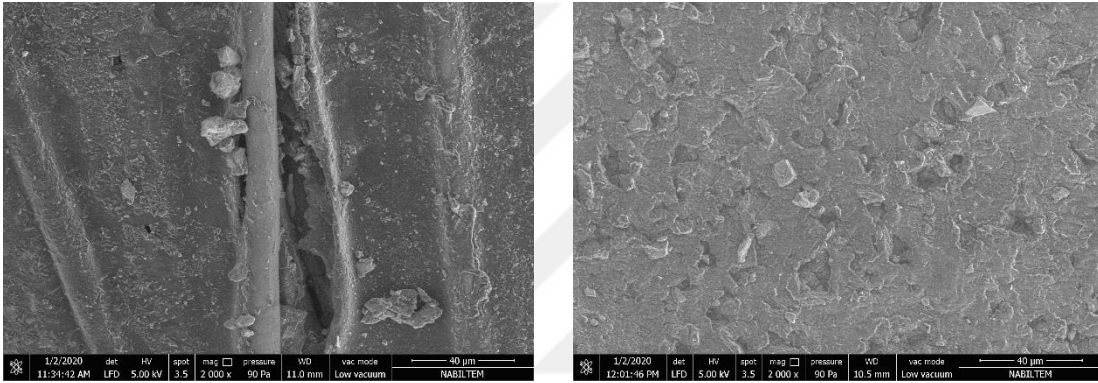
Benzer şekilde de Şekil 4.43. de 30 dakika su emmesi sağlanmış hortum numunesinin 60 °C sıcaklık uygulanarak kurutulduktan sonra numunenin dış ve iç kısmı görüntülenmiştir. Yine Şekil 4.44. de de, 30 dakika su emmesi sağlanmış hortum numunesinin 70 °C sıcaklık uygulanarak ile kurutulduktan sonra numunenin dış ve iç kısım görüntüleri yer almaktadır.

Bantlı tip tünel kurutucuda da, mikrodalga kurutucuya benzer şekilde numunenin sıcaklığının arttıkça suyun buharlaşma hızının da artmış olduğu ve numunenin dış kısmında

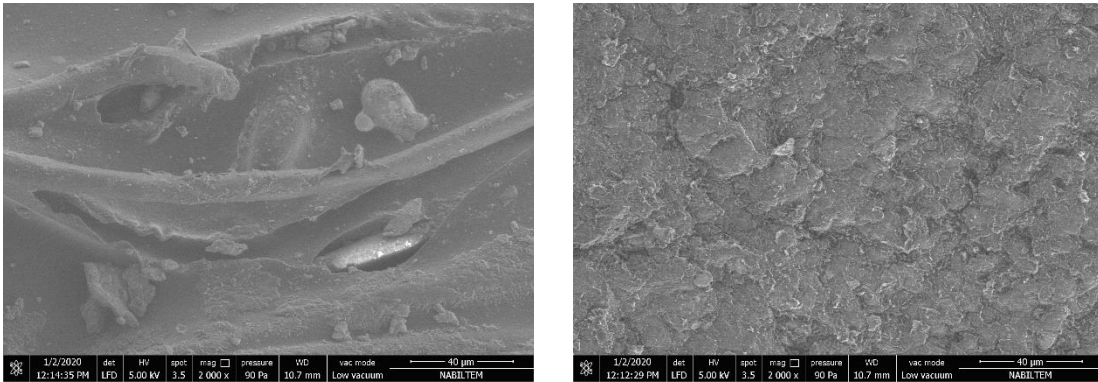
bulunan iplikli yapı ile iç kısmında bulunan gözenekli yapının da az da olsa belirginleştiği anlaşılmıştır.



Şekil 4.42. Bantlı Tip Tünel Kurutucu 50 °C - 30 Dakika Su Banyosu (Dış Kısım – İç Kısım)



Şekil 4.43. Bantlı Tip Tünel Kurutucu 60 °C - 30 Dakika Su Banyosu (Dış Kısım – İç Kısım)



Şekil 4.44. Bantlı Tip Tünel Kurutucu 70 °C - 30 Dakika Su Banyosu (Dış Kısım – İç Kısım)

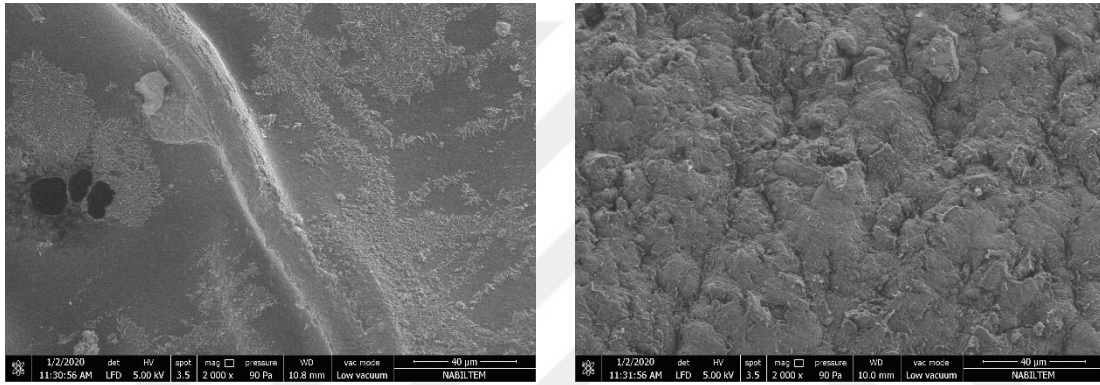
4.4.5. Bantlı Tip Tünel Kurutucu - Su Banyosunda 60 dakika

Şekil 4.45. de 60 dakika boyunca su emmiş hortum numunesinin 50 °C sıcaklık uygulanarak bantlı tip tünel kurutucuda kurutulduktan sonra iç yapısında meydana gelmiş değişimleri gösteren SEM (taramalı elektron mikroskobu) görüntüleri yer almaktadır. Taramalı

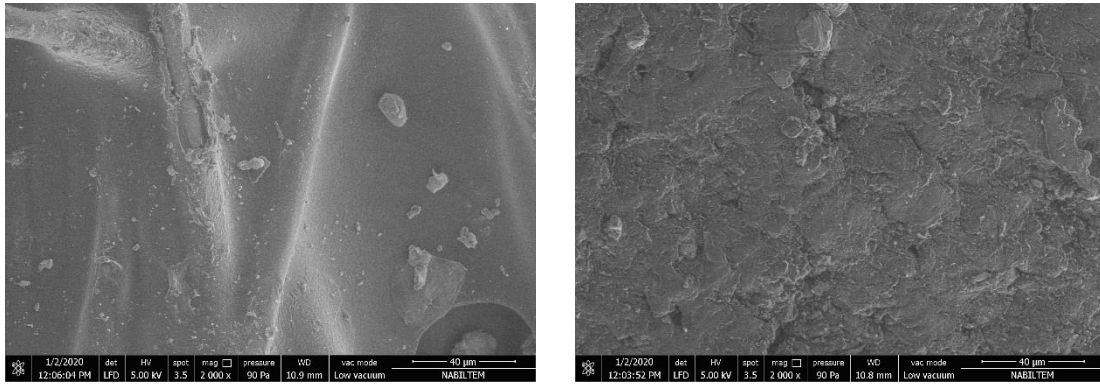
elektron mikroskopunda 2000 kere büyütülmüş olarak hortum numunesinin dış kısmı ve iç kısmı görüntülenmiştir.

Benzer şekilde de Şekil 4.46. da 60 dakika su emmesi sağlanmış hortum numunesinin 60 °C sıcaklık uygulanarak kurutulduktan sonra numunenin dış ve iç kısmı görüntülenmiştir. Yine Şekil 4.47. de de, 60 dakika su emmesi sağlanmış hortum numunesinin 70 °C sıcaklık uygulanarak ile kurutulduktan sonra numunenin dış ve iç kısım görüntüleri yer almaktadır.

Bantlı tip tünel kurutucuda 60 dakika su banyosu işlemi için de, numune sıcaklığının buharlaşma hızı ile doğru orantılı artmış olduğu ve numunenin dış kısmında bulunan iplikli yapının da iç kısmında bulunan gözenekli yapının da kısmen belirginleştiği anlaşılmıştır.



Şekil 4.45. Bantlı Tip Tünel Kurutucu 50 °C - 60 Dakika Su Banyosu (Dış Kısım – İç Kısım)



Şekil 4.46. Bantlı Tip Tünel Kurutucu 60 °C - 60 Dakika Su Banyosu (Dış Kısım – İç Kısım)



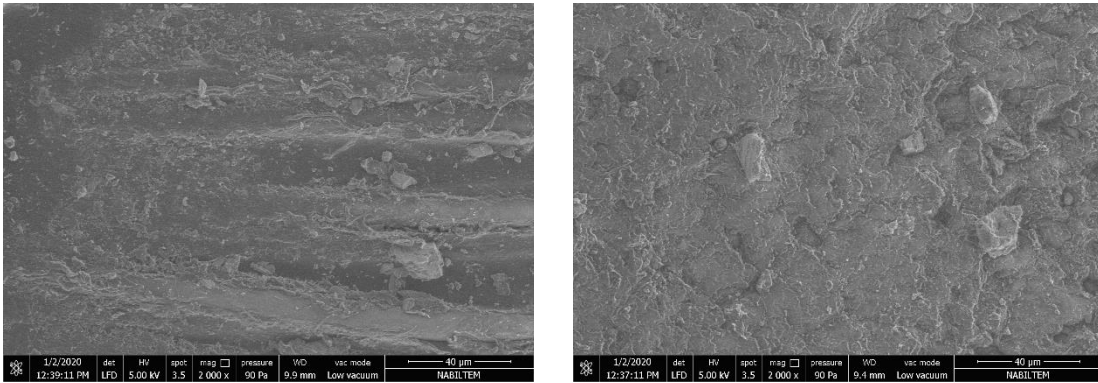
Şekil 4.47. Bantlı Tip Tünel Kurutucu 70 °C - 60 Dakika Su Banyosu (Dış Kısım – İç Kısım)

4.4.6. Bantlı Tip Tünel Kurutucu - Su Banyosunda 90 dakika

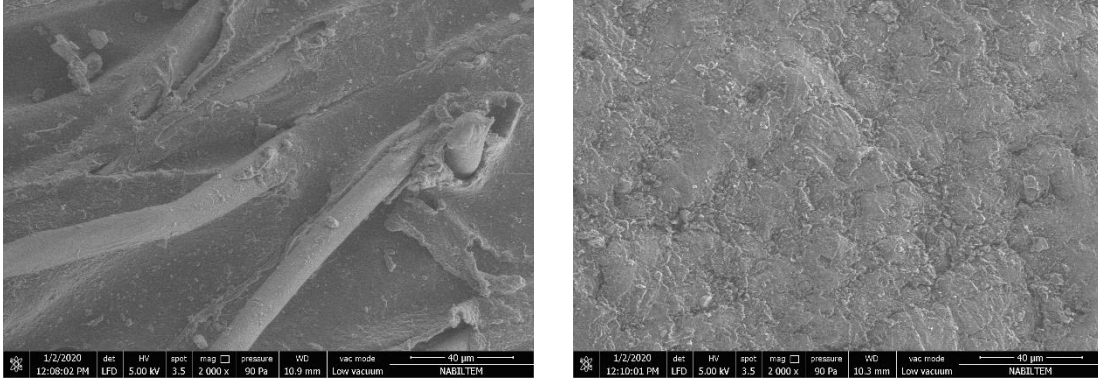
Şekil 4.48. de 90 dakika boyunca su emmesi sağlanmış hortum numunesinin 50 °C sıcaklık uygulanarak bantlı tip tünel kurutucuda kurutulduktan sonra içyapısında meydana gelmiş değişimleri gösteren SEM (taramalı elektron mikroskobu) görüntüleri yer almaktadır. Taramalı elektron mikroskobunda 2000 kere büyütülmüş olarak hortum numunesinin dış kısmı ve iç kısmı görüntülenmiştir.

Benzer şekilde de Şekil 4.49. da 90 dakika su emmesi sağlanmış hortum numunesinin 60 °C sıcaklık uygulanarak kurutulduktan sonra numunenin dış ve iç kısmı görüntülenmiştir. Yine Şekil 4.50. de de, 90 dakika su emmesi sağlanmış hortum numunesinin 70 °C sıcaklık uygulanarak ile kurutulduktan sonra numunenin dış ve iç kısım görüntüleri yer almaktadır.

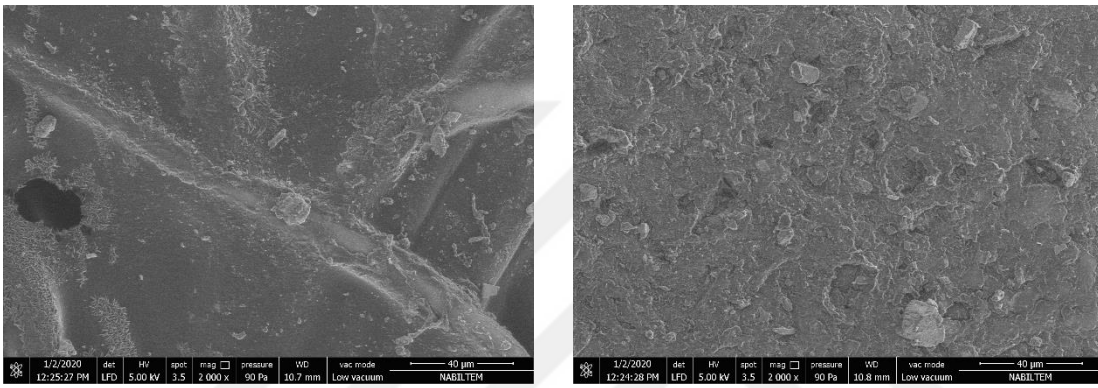
Bantlı tip tünel kurutucuda 90 dakika su banyosu işlemi için de, numune sıcaklığının artması ile buhar basıncının da arttığı bu sayede de numunenin dış kısmında bulunan iplikli yapının da iç kısmında bulunan gözenekli yapının da kısmen belirginleştiği anlaşılmıştır.



Şekil 4.48. Bantlı Tip Tünel Kurutucu 50 °C - 90 Dakika Su Banyosu (Dış Kısım – İç Kısım)



Şekil 4.49. Bantlı Tip Tünel Kurutucu 60 °C - 90 Dakika Su Banyosu (Dış Kısım – İç Kısım)



Şekil 4.50. Bantlı Tip Tünel Kurutucu 70 °C - 90 Dakika Su Banyosu (Dış Kısım – İç Kısım)

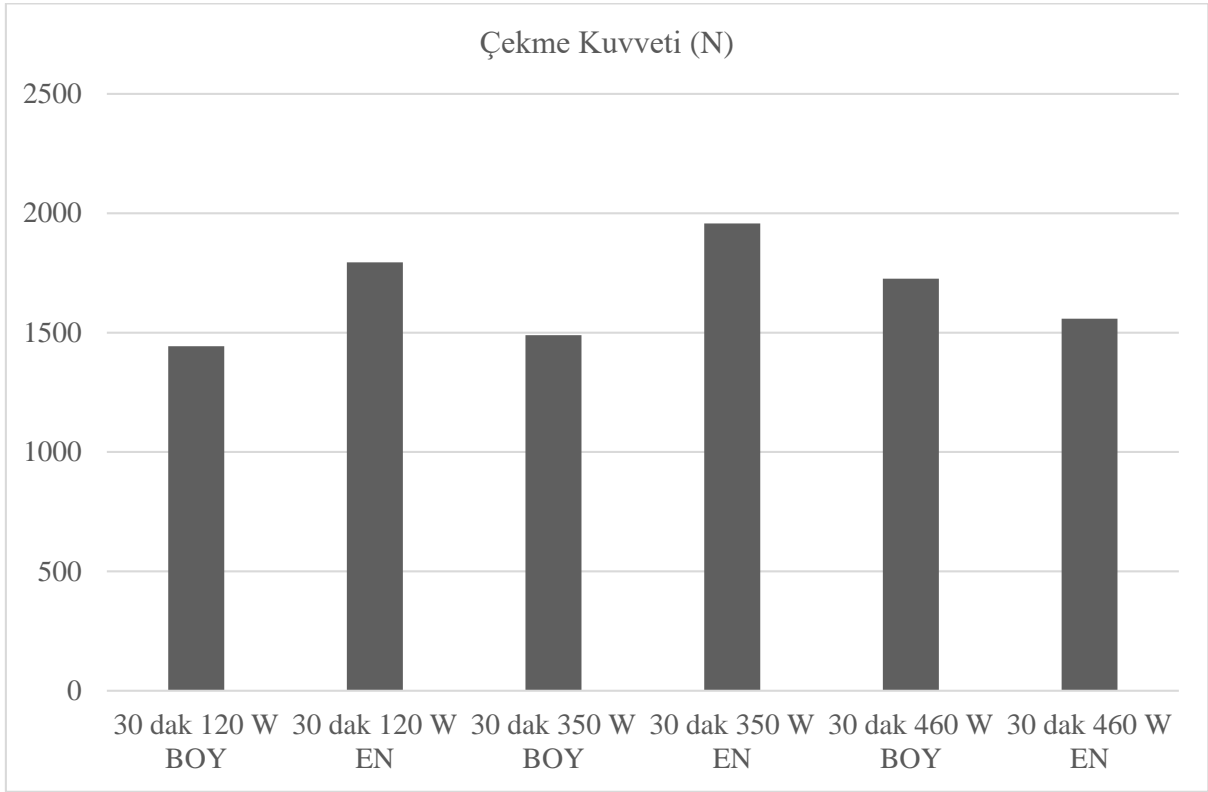
4.5. Mukavemet Analizi

Herhangi bir işlem uygulanmamış hortum numunesine de mukavemet bakımından karşılaştırma yapabilmek için çekme deneyi uygulanmıştır. Bu işlem sonucunda, hortum numunesinin eninden kesilen numunelere ait çekme kuvveti 1253 N, uzama miktarı ise % 42,4 olarak boyundan kesilen numunelerde ise çekme kuvveti 1485 N uzama miktarı ise %56,7 olarak hesaplanmıştır.

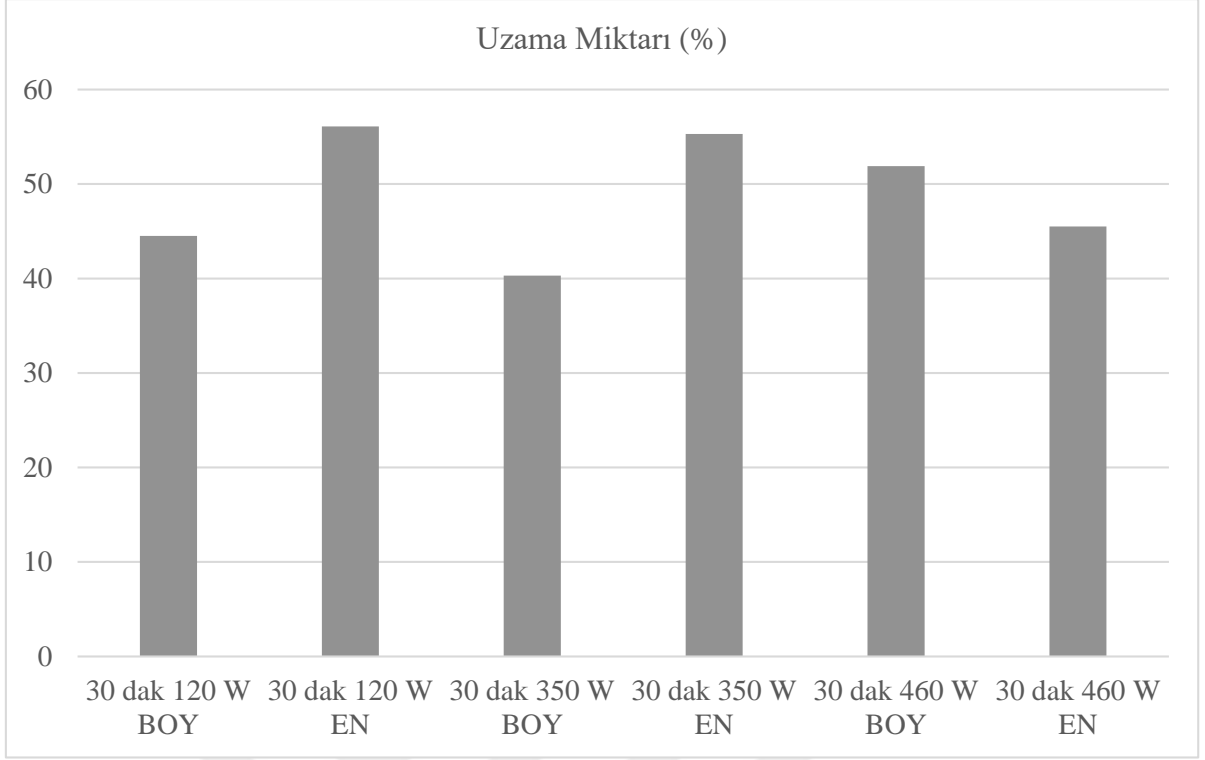
4.5.1. Mikrodalga Kurutucu Deneyleri İçin Mukavemet Analizi

Su banyosunda 30 dakika botunca su emmesi sağlanmış ve mikrodalga kurutucuda çeşitli güçlerde kurutulmuş (120 W, 350 W, 460 W) hortum numunelerine ait çekme kuvvetleri Şekil 4.51. de ve uzama miktarları da Şekil 4.52. de gösterilmiştir. Hortum numunelerinden enine ve boyuna kesim yapılmış ve bu sayede çekme kuvveti ve uzama miktarı iki yönlü olarak da incelenebilmiştir.

Çekme kuvveti, boyuna numune alınmış hortumlarda uygulanan güç değerlerine göre (120 W, 350 W, 460 W) sırasıyla 1443 N, 1489 N, 1726 N olarak tespit edilmişken, uzama miktarları ise yine sırasıyla % 44,5, %40,3 ve % 51,9 olarak ölçülmüştür. Çekme kuvveti, enine numune alınmış hortumlarda ise uygulanan güç değerlerine göre (120 W, 350 W, 460 W) sırasıyla 1794 N, 1957 N, 1558 N olarak tespit edilmişken, uzama miktarları ise yine sırasıyla % 56,1, %55,3 ve % 45,5 olarak ölçülmüştür.



Şekil 4.51. Mikrodalga Kurutucu 30 Dakika Su Banyosu Çekme Kuvveti Grafiği



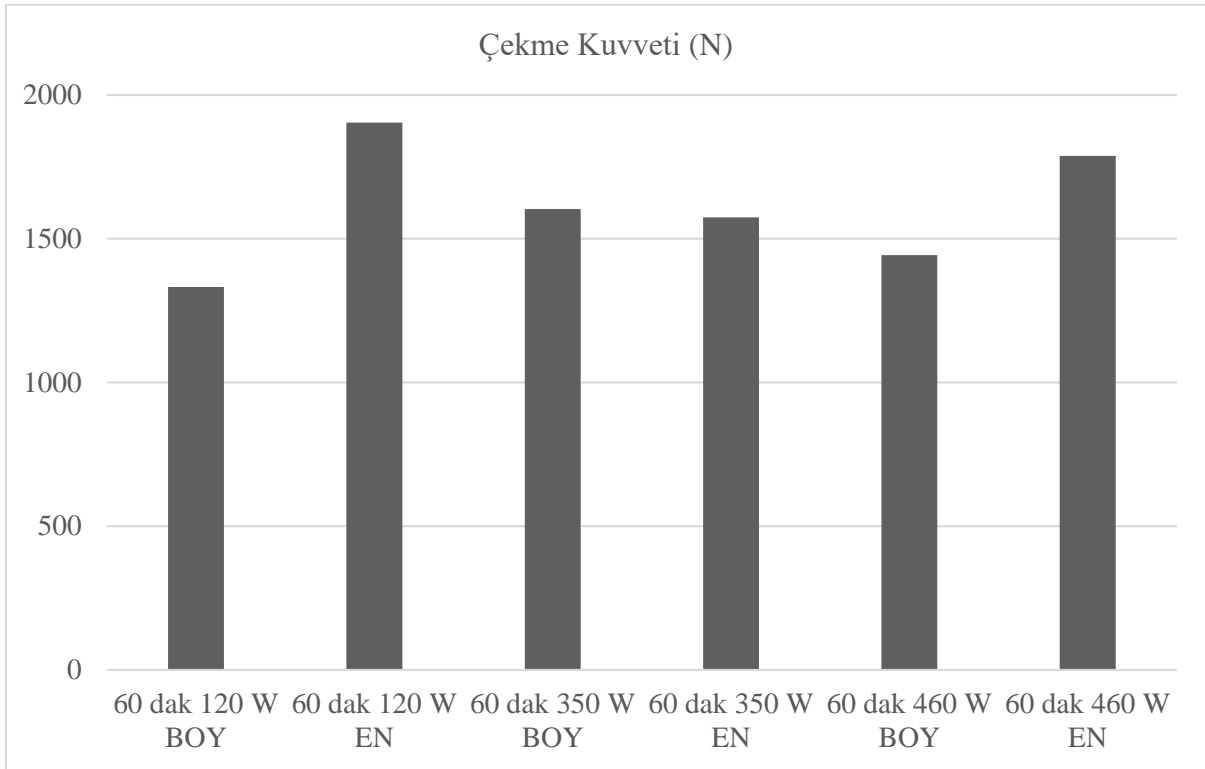
Şekil 4.52. Mikrodalga Kurutucu 30 Dakika Su Banyosu Uzama Grafiği

Sonuçlar karşılaştırıldığında, 30 dakika boyunca suda beklemiş hortum numunesi için boyuna kesilen numunelerde çekme kuvvetinin 460 W gücü dışında çok fazla miktarda farklılık göstermediği ancak uzama miktarının tüm güç değerleri için azaldığı anlaşılmıştır. Enine kesilen numunelerde ise, çekme kuvvetinin tüm güç değerleri için arttığı uzama miktarının ise 460 W güç değerinde azaldığı diğer güç değerlerinde yaklaşık olarak aynı miktarda kaldığı görülmüştür.

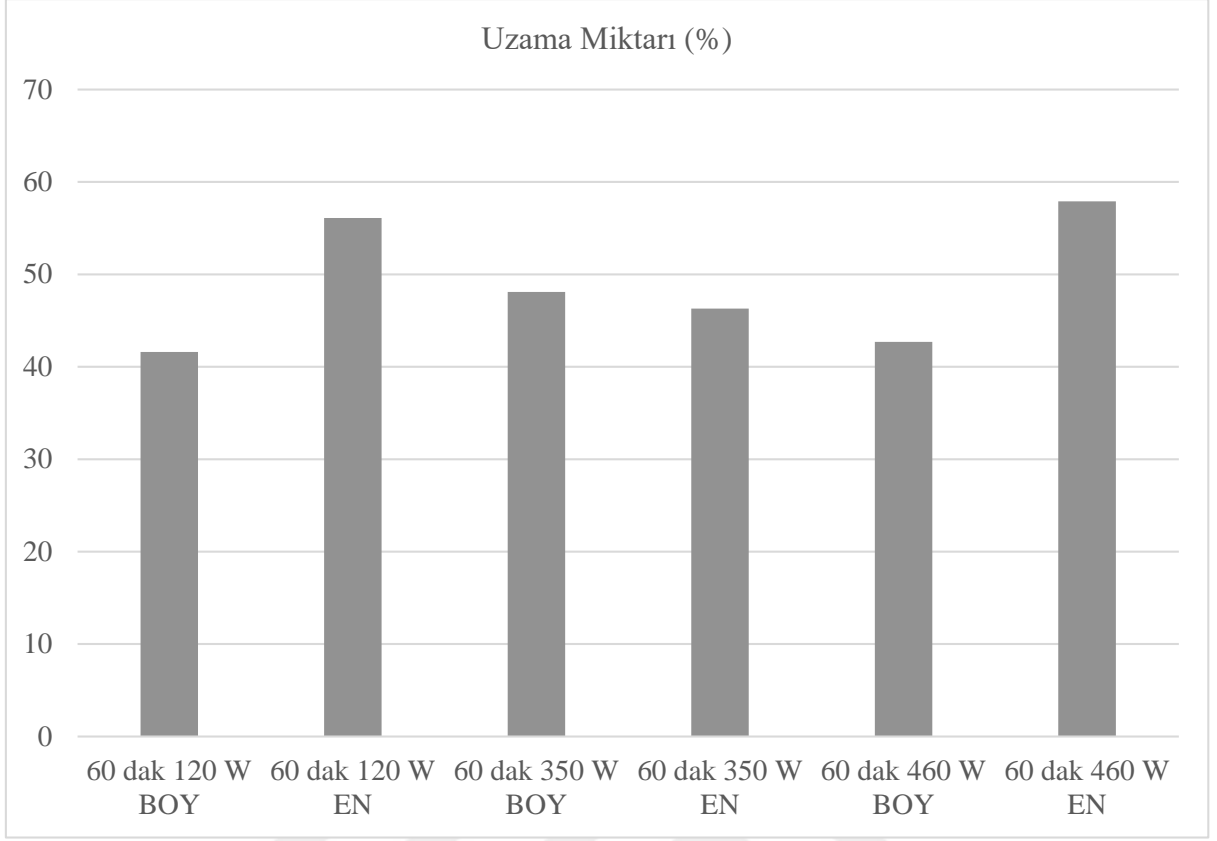
Su banyosunda 60 dakika boyunca su emmesi sağlanmış ve mikrodalga kurutucuda 120 W, 350 W, 460 W güçleri uygulanarak kurutulmuş hortum numunelerine ait çekme kuvvetleri Şekil 4.53. de ve uzama miktarları da Şekil 4.54. de gösterilmiştir. Hortum numunelerinden enine ve boyuna kesim yapılmış olup çekme kuvveti ve uzama miktarı iki yönlü olarak da incelenebilmiştir.

Çekme kuvveti, boyuna numune alınmış hortumlarda uygulanan güç değerlerine göre (120 W, 350 W, 460 W) sırasıyla 1332 N, 1603 N, 1443 N olarak tespit edilmişken, uzama miktarları ise yine sırasıyla % 41,6, %48,1 ve % 42,7 olarak ölçülmüştür. Çekme kuvveti, enine numune alınmış hortumlarda ise uygulanan güç değerlerine göre (120 W, 350 W, 460 W)

sırasıyla 1904 N, 1574 N, 1788 N olarak tespit edilmişken, uzama miktarları ise yine sırasıyla % 56,1, %46,3 ve % 57,9 olarak ölçülmüştür.



Şekil 4.53. Mikrodalga Kurutucu 60 Dakika Su Banyosu Çekme Kuvveti Grafiği



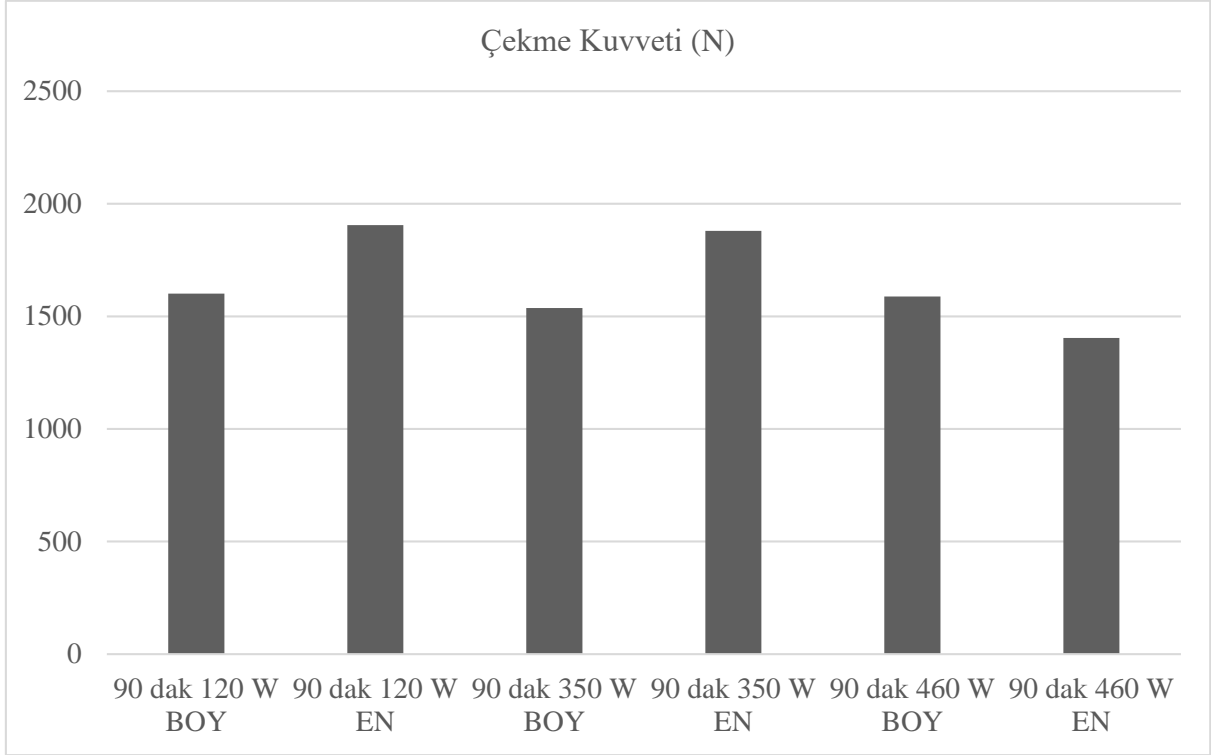
Şekil 4.54. Mikrodalga Kurutucu 60 Dakika Su Banyosu Uzama Grafiği

Suda 60 dakika boyunca bekletilen ve boyuna kesilen numuneler için değerlendirme yapıldığında 350 W kurutma gücünde çekme kuvvetinin arttığı, uzama miktarının ise tüm güç değerlerinde yaklaşık %10-15 miktarında azaldığı görülmüştür. Enine kesilen numuneler için değerlendirme yapıldığında ise, çekme kuvvetinin tüm güç değerlerinde arttığı ve en yüksek çekme kuvvetinin 460 W kurutma gücünde yapılan deneyde elde edildiği anlaşılmıştır. Uzama miktarı değerlendirildiğinde ise tüm güç değerlerinde uzamanın arttığı ve en yüksek değer 460 W kurutma gücünde yapılan deneyde elde edildiği anlaşılmıştır.

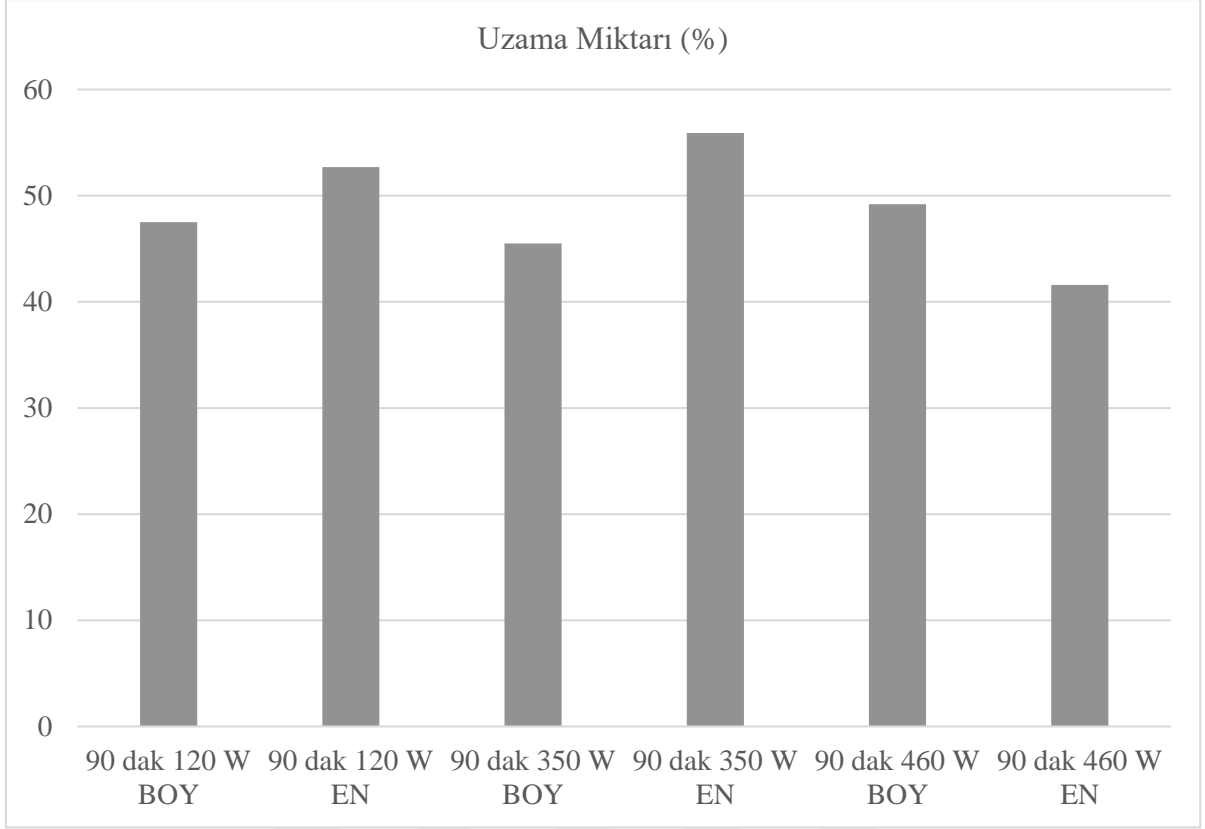
Su banyosunda 90 dakika boyunca su emmesi sağlanmış ve mikrodalga kurutucuda çeşitli güçlerde kurutulmuş (120 W, 350 W, 460 W) hortum numunelerine ait çekme kuvvetleri Şekil 4.55. de ve uzama miktarları da Şekil 4.56. da gösterilmiştir. Hortum numunelerinden enine ve boyuna kesim yapılmış ve bu sayede çekme kuvveti ve uzama miktarı iki yönlü olarak da incelenebilmiştir.

Çekme kuvveti, boyuna numune alınmış hortumlarda uygulanan güç değerlerine göre (120 W, 350 W, 460 W) sırasıyla 1601 N, 1537 N, 1588 N olarak tespit edilmişken, uzama miktarları ise yine sırasıyla % 47,5, %45,5 ve % 49,2 olarak ölçülmüştür. Çekme kuvveti, enine

numune alınmış hortumlarda ise uygulanan güç değerlerine göre (120 W, 350 W, 460 W) sırasıyla 1905 N, 1880 N, 1404 N olarak tespit edilmişken, uzama miktarları ise yine sırasıyla % 52,7, %55,9 ve % 41,6 olarak ölçülmüştür.



Şekil 4.55. Mikrodalga Kurutucu 90 Dakika Su Banyosu Çekme Kuvveti Grafiği



Şekil 4.56. Mikrodalga Kurutucu 90 Dakika Su Banyosu Uzama Grafiği

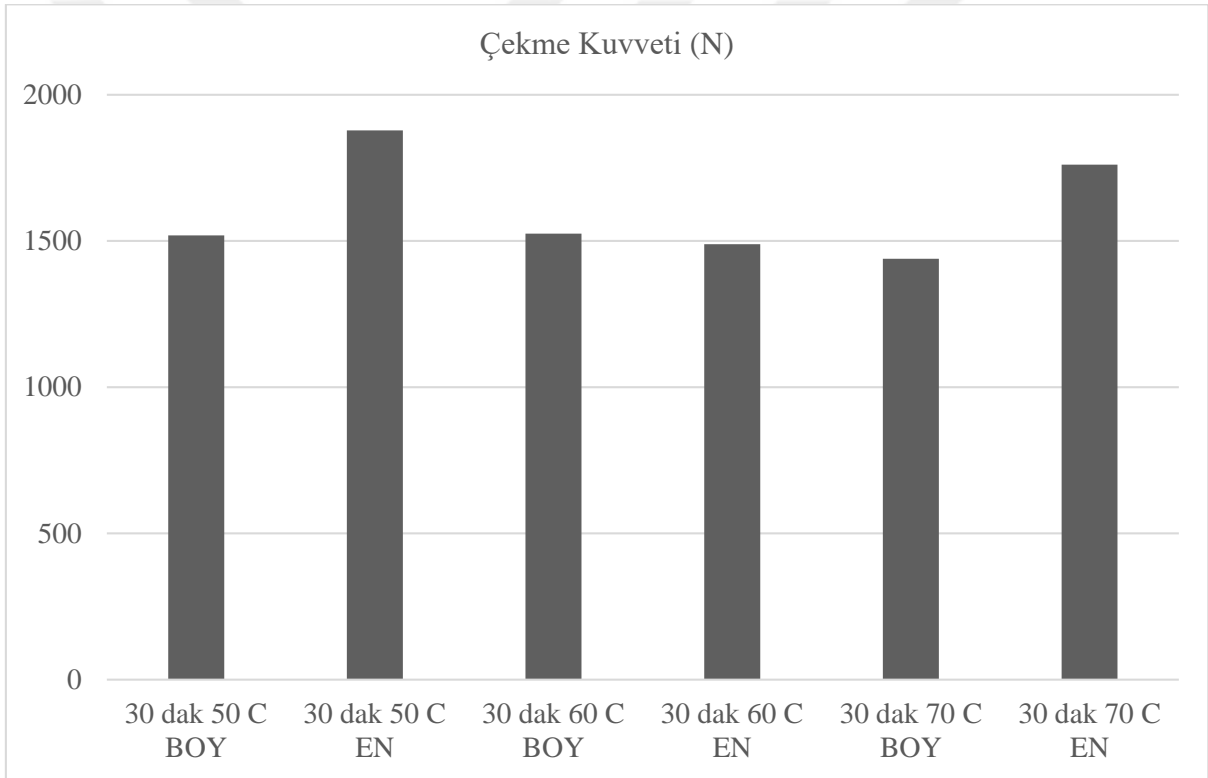
Suda 90 dakika boyunca bekletilen ve boyuna kesilen numuneler için değerlendirme yapıldığında çekme kuvvetinin tüm kurutma güçlerinde arttığı, uzama miktarının ise tüm güç değerlerinde azalma görülmüştür. Enine kesilen numuneler değerlendirildiğinde ise, çekme kuvvetinin tüm güç değerlerinde arttığı ve en yüksek çekme kuvvetinin 120 W kurutma gücünde yapılan deneyde elde edildiği anlaşılmıştır. Uzama miktarı değerlendirildiğinde ise tüm güç değerlerinde uzamanın arttığı ve en yüksek değer 350 W kurutma gücünde yapılan deneyde elde edildiği anlaşılmıştır.

4.5.2. Bantlı Tip Tünel Kurutucu Deneyleri İçin Mukavemet Analizi

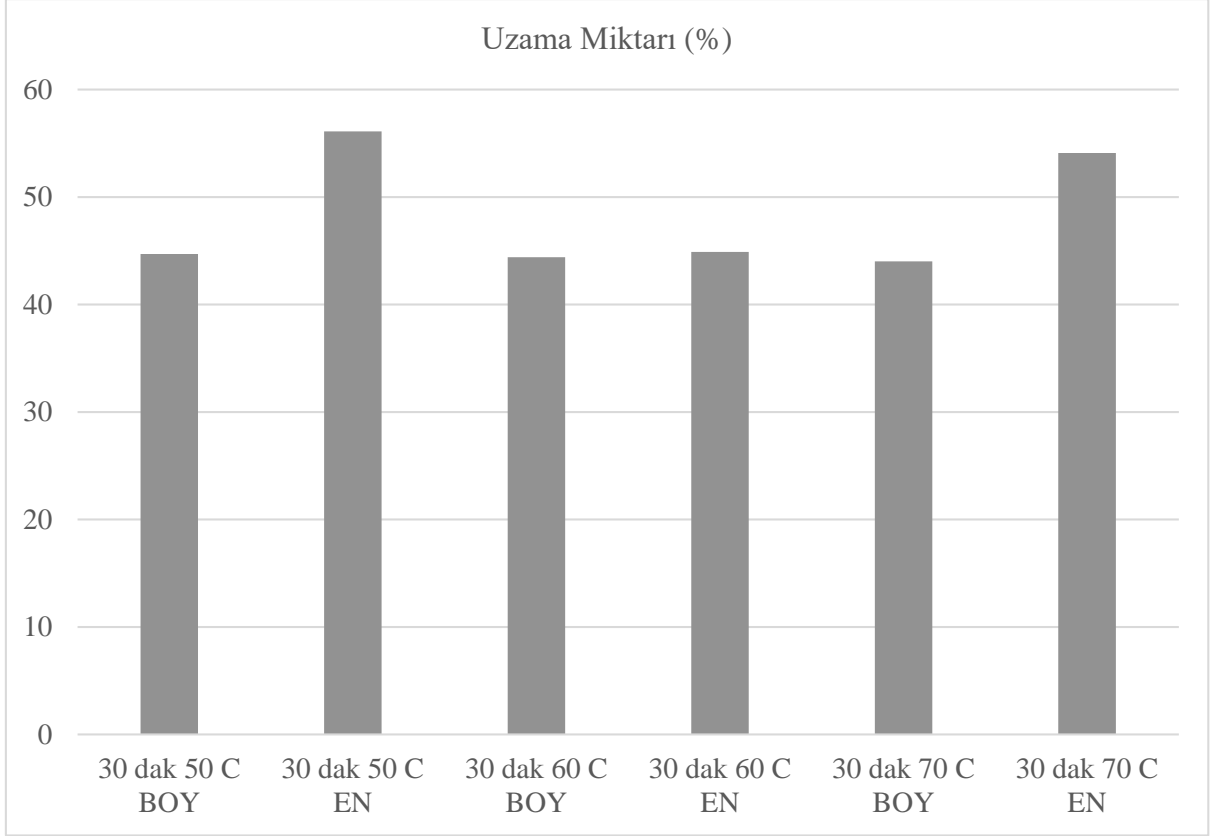
Su banyosunda 30 dakika boyunca su emmesi sağlanmış ve bantlı tip tünel kurutucuda 50 °C, 60 °C, 70 °C sıcaklıkları uygulanarak kurutulmuş hortum numunelerine ait çekme kuvvetleri Şekil 4.57. de ve uzama miktarları da Şekil 4.58. de gösterilmiştir. Hortum numunelerinden enine ve boyuna kesim yapılmış olup çekme kuvveti ve uzama miktarı iki yönlü olarak da incelenebilmiştir.

Çekme kuvveti, boyuna numune alınmış hortumlarda uygulanan sıcaklık değerlerine göre (50 °C, 60 °C, 70 °C) sırasıyla 1519 N, 1525 N, 1439 N olarak tespit edilmişken, uzama miktarları ise yine sırasıyla % 44,7, %44,4 ve % 44,01 olarak ölçülmüştür. Çekme kuvveti, enine numune alınmış hortumlarda ise uygulanan sıcaklık değerlerine göre (50 °C, 60 °C, 70 °C) sırasıyla 1878 N, 1489 N, 1761 N olarak tespit edilmişken, uzama miktarları ise yine sırasıyla % 56,1, %44,9 ve % 54,1 olarak ölçülmüştür.

Sonuçlar karşılaştırıldığında, 30 dakika boyunca suda beklemiş hortum numunesi için boyuna kesilen numunelerde çekme kuvvetinin de uzama miktarının da tüm sıcaklık değerleri için arttığı anlaşılmıştır. Enine kesilen numunelerde ise, çekme kuvvetinin tüm sıcaklık değerleri için arttığı uzama miktarının ise tüm sıcaklık değerlerinde azaldığı görülmüştür.



Şekil 4.57. Bantlı Tip Tünel Kurutucu 30 Dakika Su Banyosu Çekme Kuvveti Grafiği



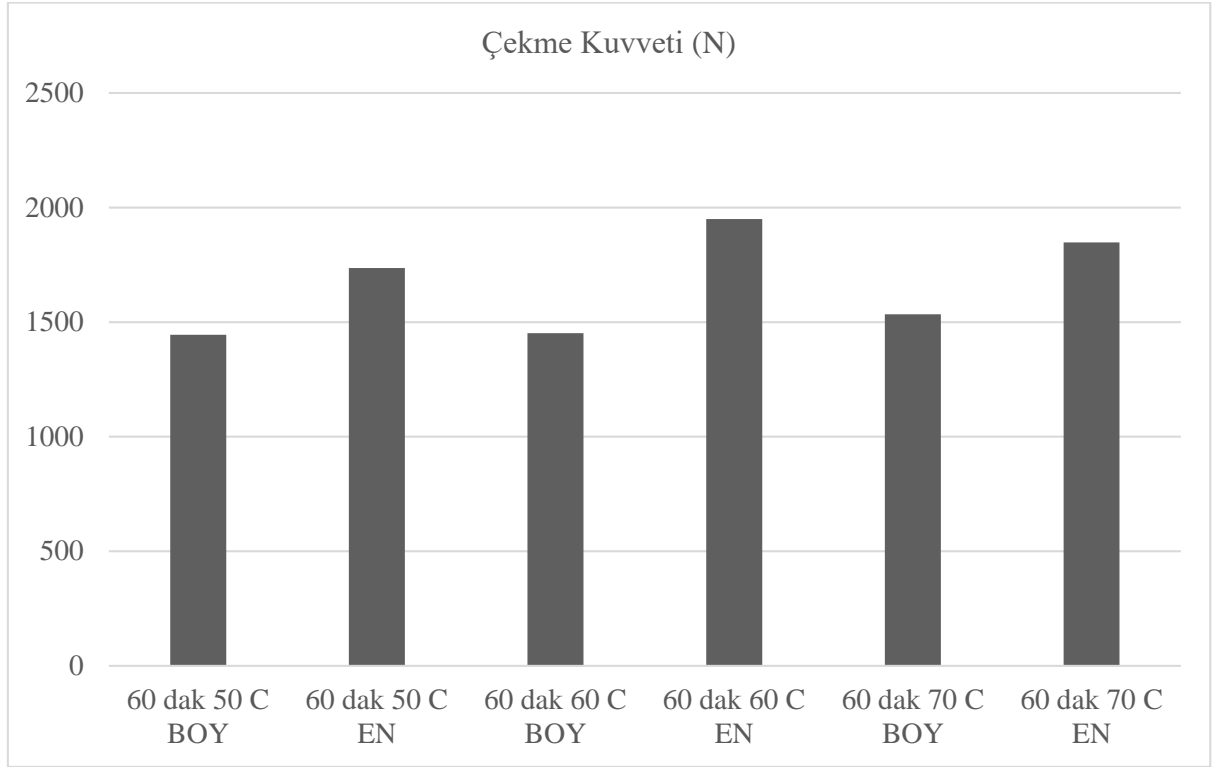
Şekil 4.58. Bantlı Tip Tünel Kurutucu 30 Dakika Su Banyosu Uzama Grafiği

Su banyosunda 60 dakika boyunca su emmesi sağlanmış ve bantlı tip tünel kurutucuda çeşitli sıcaklıklarda kurutulmuş (50 °C, 60 °C, 70 °C) hortum numunelerine ait çekme kuvvetleri Şekil 4.59. da ve uzama miktarları da Şekil 4.60. da gösterilmiştir. Hortum numunelerinden enine ve boyuna kesim yapılmış ve bu sayede çekme kuvveti ve uzama miktarı iki yönlü olarak da incelenebilmiştir.

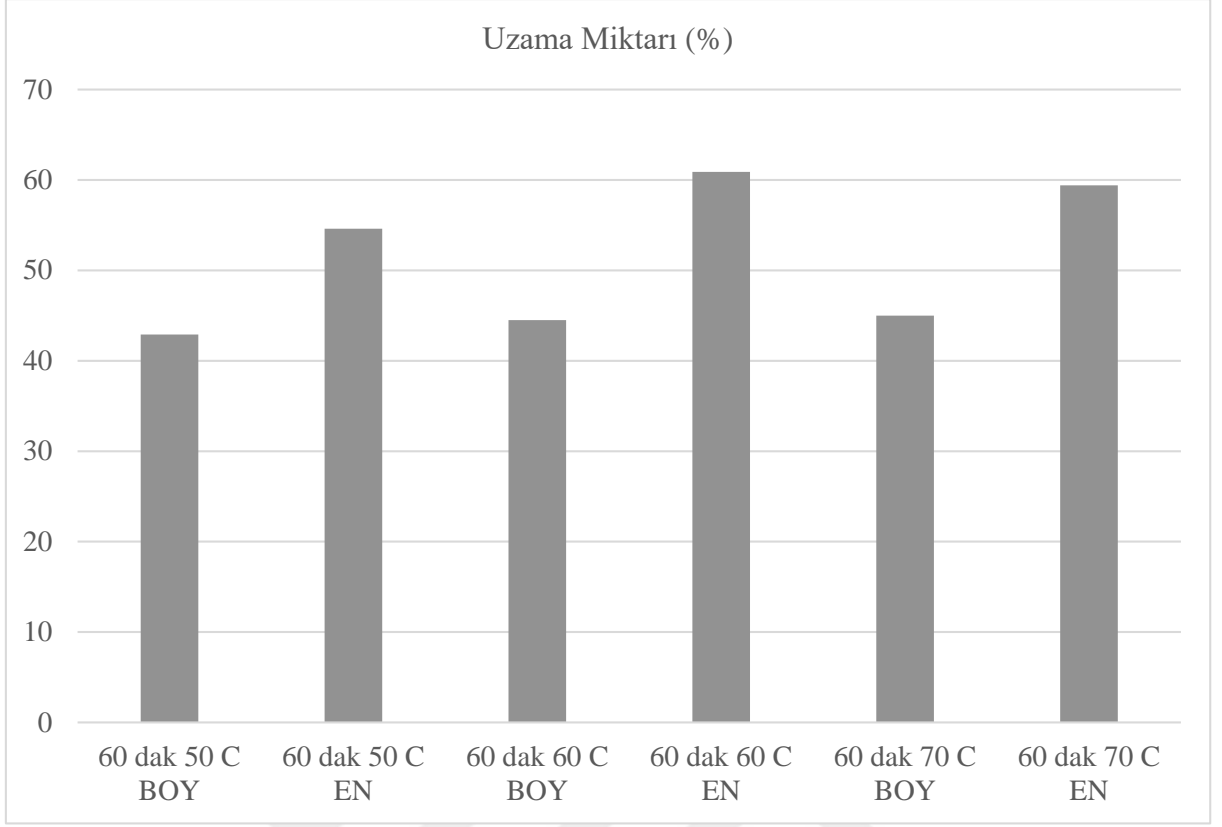
Çekme kuvveti, boyuna numune alınmış hortumlarda uygulanan güç değerlerine göre (50 °C, 60 °C, 70 °C) sırasıyla 1445 N, 1452 N, 1534 N olarak tespit edilmişken, uzama miktarları ise yine sırasıyla % 42,9, %44,5 ve % 45,0 olarak ölçülmüştür. Çekme kuvveti, enine numune alınmış hortumlarda ise uygulanan güç değerlerine göre (50 °C, 60 °C, 70 °C) sırasıyla 1736 N, 1950 N, 1848 N olarak tespit edilmişken, uzama miktarları ise yine sırasıyla % 54,6, %60,9 ve % 59,4 olarak ölçülmüştür.

Suda 60 dakika boyunca bekletilen ve boyuna kesilen numuneler için değerlendirme yapıldığında çekme kuvvetinin de uzama miktarının da tüm sıcaklık değerleri için arttığı anlaşılmıştır. Enine kesilen numuneler için değerlendirme yapıldığında ise, çekme kuvvetinin tüm sıcaklık değerlerinde arttığı ve en yüksek çekme kuvvetinin 60 °C kurutma sıcaklığında

yapılan deneyde elde edildiği anlaşılmıştır. Uzama miktarı değerlendirildiğinde de en yksek değerin 60 °C kurutma sıcaklığında elde edildiği anlaşılmıştır.



şekil 4.59. Bantlı Tip Tnel Kurutucu 60 Dakika Su Banyosu Çekme Kuvveti Grağiği



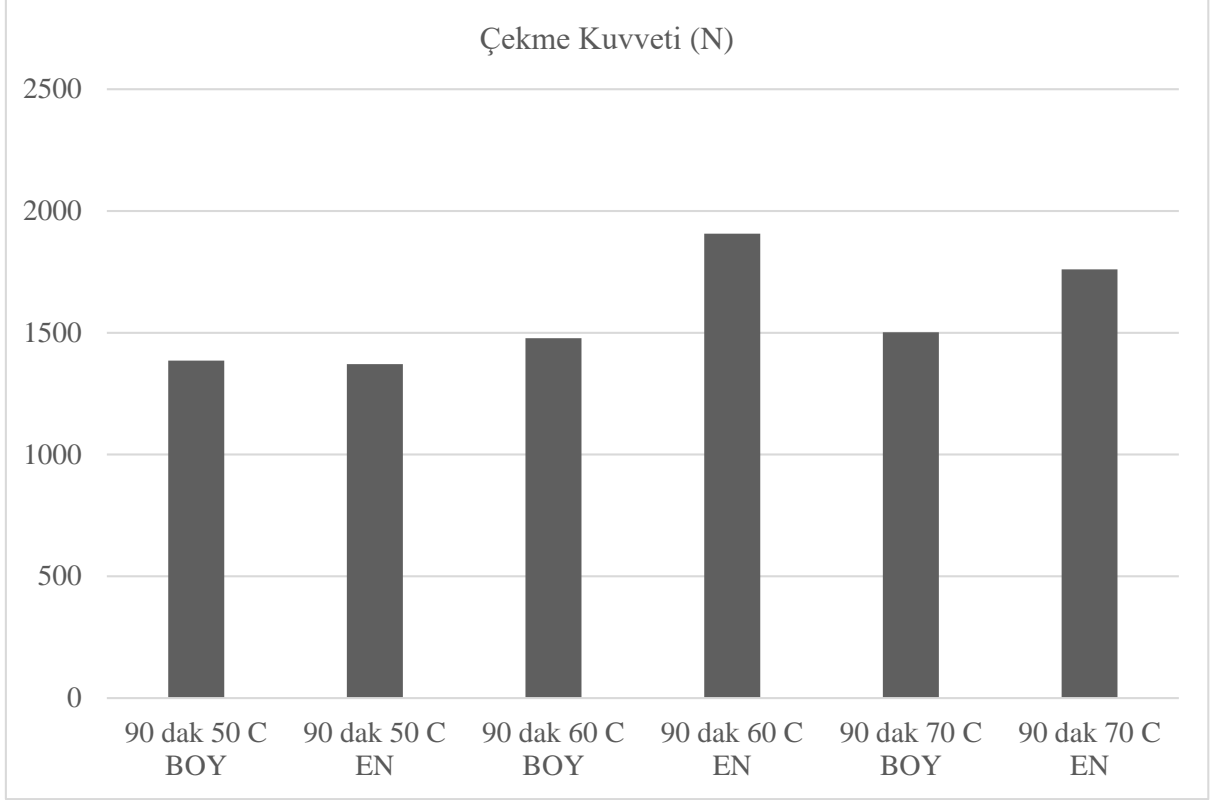
Şekil 4.60. Bantlı Tip Tünel Kurutucu 60 Dakika Su Banyosu Uzama Grafiği

Su banyosunda 90 dakika boyunca su emmesi sağlanmış ve bantlı tip tünel kurutucuda 50 °C, 60 °C, 70 °C sıcaklıkları uygulanarak kurutulmuş hortum numunelerine ait çekme kuvvetleri Şekil 4.61 de ve uzama miktarları da Şekil 4.62. de gösterilmiştir. Hortum numunelerinden enine ve boyuna kesim yapılmış olup çekme kuvveti ve uzama miktarı iki yönlü olarak da incelenebilmiştir.

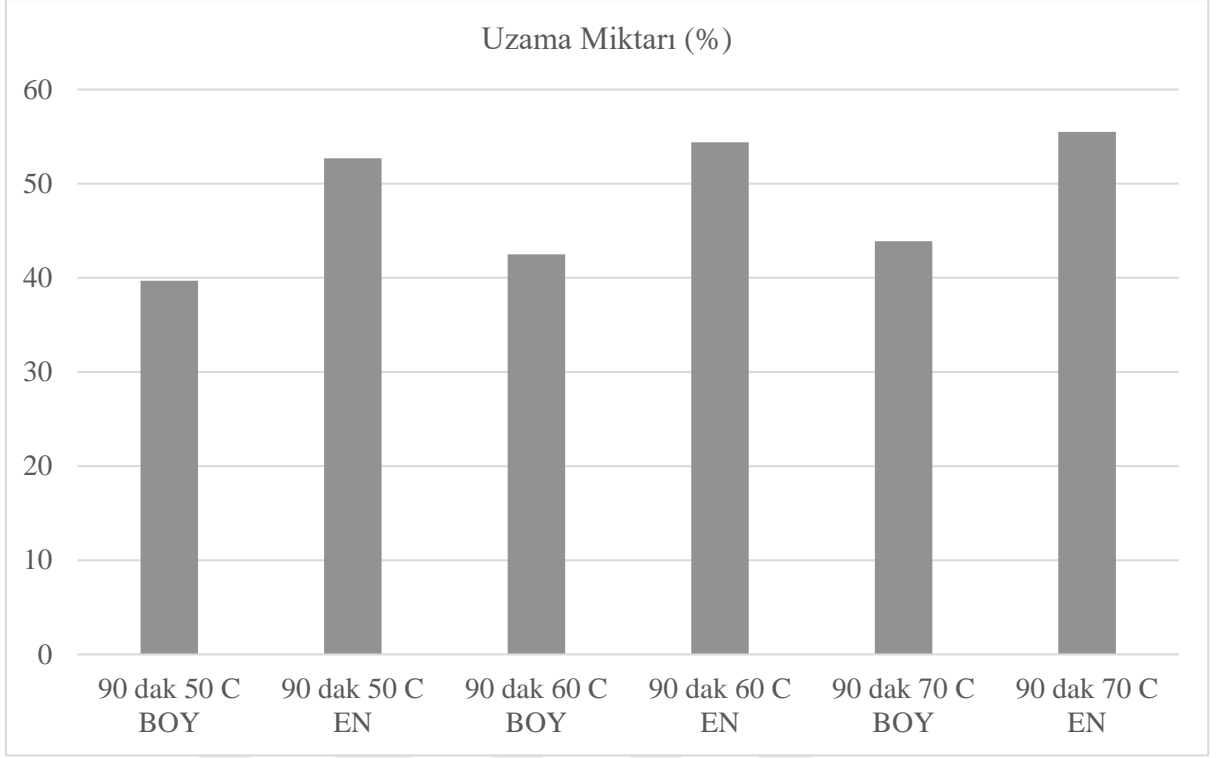
Çekme kuvveti, boyuna numune alınmış hortumlarda uygulanan sıcaklık değerlerine göre (50 °C, 60 °C, 70 °C) sırasıyla 1386 N, 1478 N, 1502 N olarak tespit edilmişken, uzama miktarları ise yine sırasıyla % 39,7, %42,5 ve % 43,9 olarak ölçülmüştür. Çekme kuvveti, enine numune alınmış hortumlarda ise uygulanan sıcaklık değerlerine göre (50 °C, 60 °C, 70 °C) sırasıyla 1371 N, 1907 N, 1760 N olarak tespit edilmişken, uzama miktarları ise yine sırasıyla % 52,7, %54,4 ve % 55,5 olarak ölçülmüştür.

Suda 90 dakika boyunca bekletilen ve boyuna kesilen numuneler için değerlendirme yapıldığında çekme kuvvetinin tüm sıcaklık değerlerinde arttığı, uzama miktarının ise işlem görmemiş numunenin değerleri ile fazla fark göstermediği anlaşılmıştır. Enine kesilen numuneler için değerlendirme yapıldığında ise, çekme kuvvetinin 50 °C sıcaklıkta azaldığı, 60

°C ve 70 °C değerlerinde ise arttığı ve en yüksek çekme kuvvetinin 60 °C kurutma sıcaklığında yapılan deneyde elde edildiği anlaşılmıştır. Uzama miktarı değerlendirildiğinde de en yüksek değer 70 °C kurutma sıcaklığında elde edildiği anlaşılmıştır.



Şekil 4.61. Bantlı Tip Tünel Kurutucu 90 Dakika Su Banyosu Çekme Kuvveti Grafiği



Şekil 4.62. Bantlı Tip Tünel Kurutucu 90 Dakika Su Banyosu Uzama Grafiği

4.6. Difüzyon Katsayısı ve Aktivasyon Enerjisi Analizi

4.6.1. Mikrodalga Kurutucu Deneyleri İçin Efektif Difüzyon Katsayısı

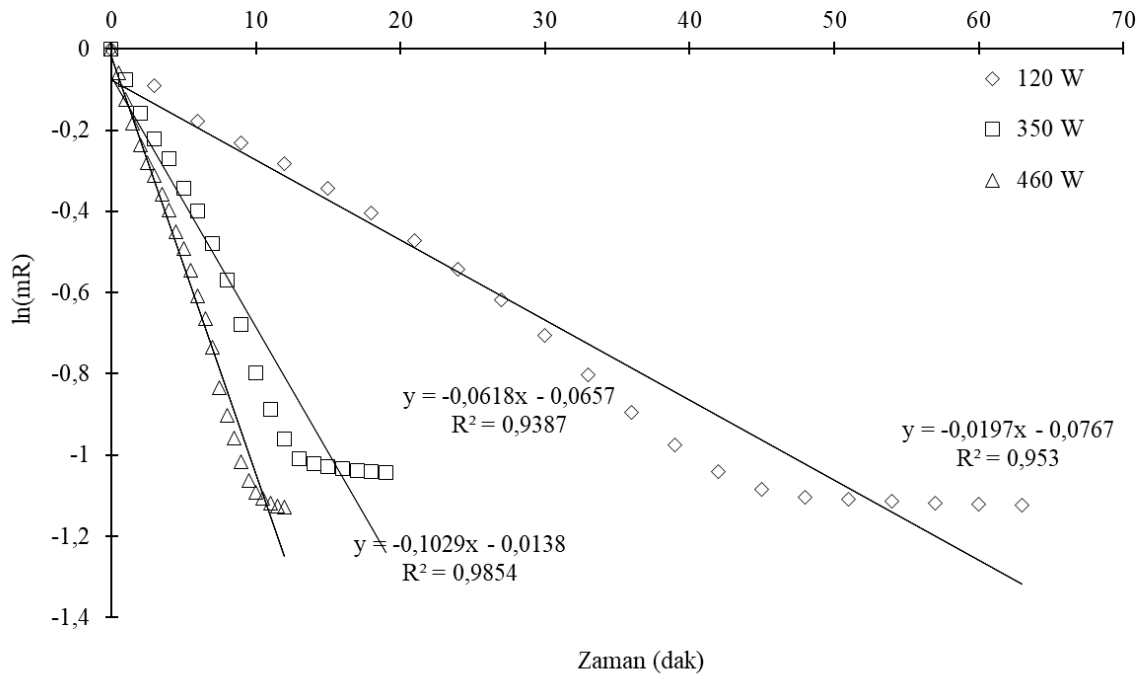
Hortum numunelerinin çeşitli sürelerde su emmesi sağlanarak mikrodalga kurutucuda 120 W, 350 W ve 460 W güç değerlerinde kurutulması sonrası efektif difüzyon katsayıları hesaplanmıştır.

Şekil 4.63. de 30 dakika boyunca su emmesi sağlanan numunelerin efektif difüzyon katsayıları gösterilmiştir. Mikrodalga kurutucuda 120 W güçte kurutulan numuneye ait D_{eff} (Efektif Difüzyon Katsayısı) $1,80 \times 10^{-8} \text{ m}^2/\text{s}$, 350 W güçte kurutulan numune için D_{eff} $5,6480 \times 10^{-8} \text{ m}^2/\text{s}$ ve 460 W güçte kurutulan numune için ise D_{eff} $9,3880 \times 10^{-8} \text{ m}^2/\text{s}$ olarak hesaplanmıştır.

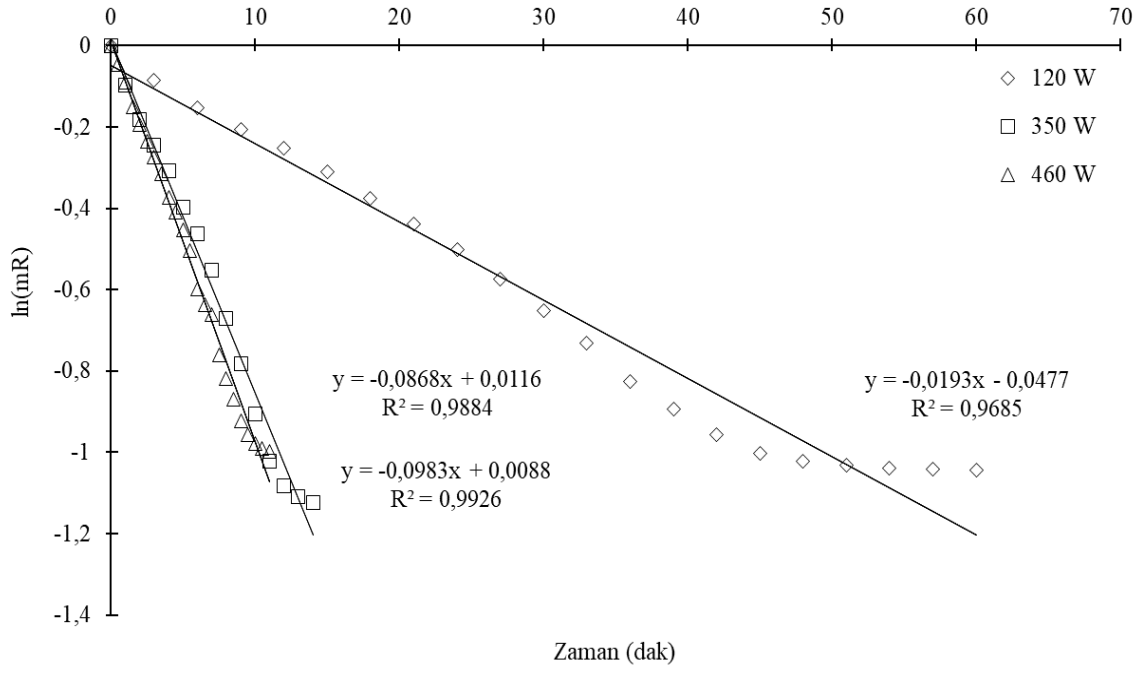
Şekil 4.64. de benzer şekilde 60 dakika boyunca su emmesi sağlanan numunelerin efektif difüzyon katsayıları gösterilmiştir. Mikrodalga kurutucuda 120 W güçte kurutulan numuneye ait D_{eff} (Efektif Difüzyon Katsayısı) $1,76 \times 10^{-8} \text{ m}^2/\text{s}$, 350 W güçte kurutulan numune için D_{eff} $7,92 \times 10^{-8} \text{ m}^2/\text{s}$ ve 460 W güçte kurutulan numune için ise D_{eff} $8,96 \times 10^{-8} \text{ m}^2/\text{s}$ olarak hesaplanmıştır.

Şekil 4.65. de 90 dakika boyunca su emmesi sağlanan numunelerin efektif difüzyon katsayıları gösterilmiştir. Mikrodalga kurutucuda 120 W güçte kurutulan numuneye ait D_{eff} (Efektif Difüzyon Katsayısı) $1,92 \times 10^{-8} \text{ m}^2/\text{s}$, 350 W güçte kurutulan numune için D_{eff} $6,89 \times 10^{-8} \text{ m}^2/\text{s}$ ve 460 W güçte kurutulan numune için ise D_{eff} $9,31 \times 10^{-8} \text{ m}^2/\text{s}$ olarak hesaplanmıştır.

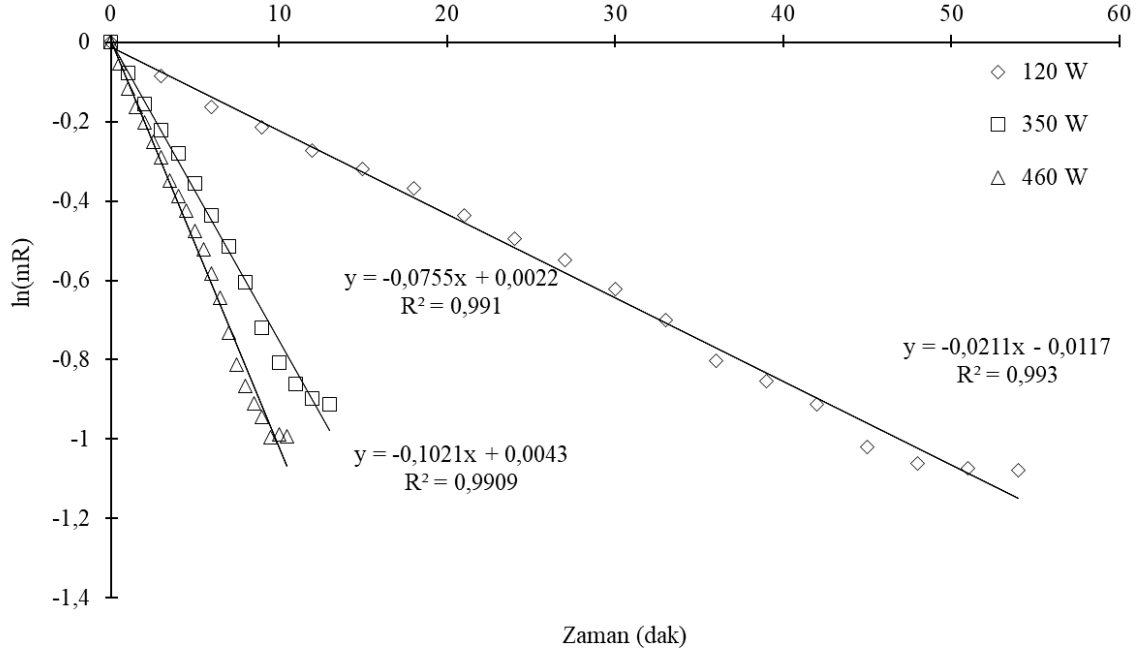
Kurutma işlemi için mikrodalga kurutucuda uygulanan deneylerde, efektif difüzyon katsayılarının kurutma güçleriyle doğru orantılı olarak değiştiği anlaşılmıştır. Bu durum numuneye etkileyen mikrodalgaların artmasıyla polaritenin ve moleküllerin titreşiminin artması ile açıklanabilmektedir (Dadalı ve ark., 2007).



Şekil 4.63. Mikrodalga Kurutucu 30 Dakika Su Banyosu Difüzyon Katsayısı Grafiği



Şekil 4.64. Mikrodalga Kurutucu 60 Dakika Su Banyosu Difüzyon Katsayısı Grafiği

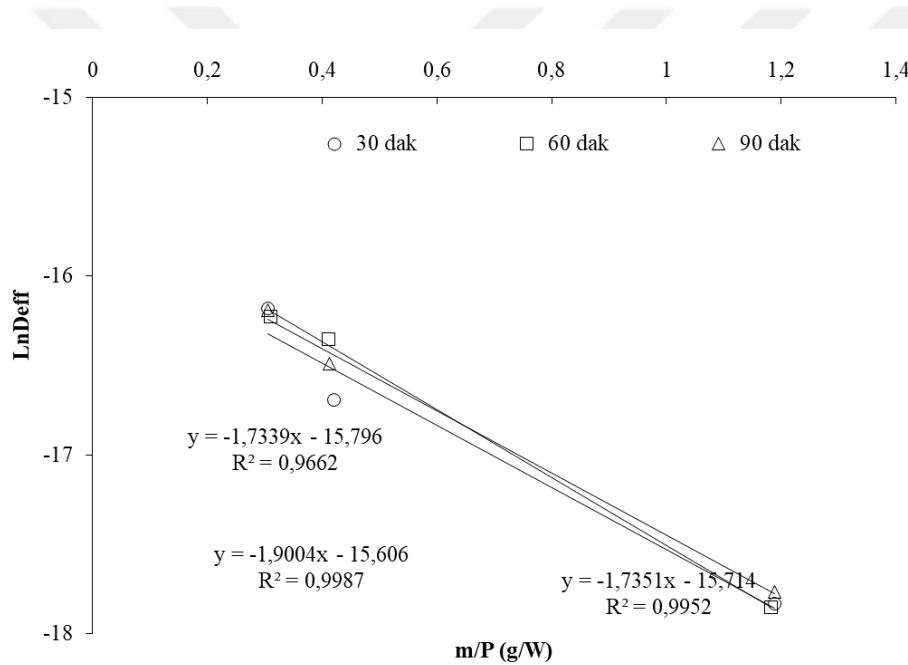


Şekil 4.65. Mikrodalga Kurutucu 90 Dakika Su Banyosu Difüzyon Katsayısı Grafiği

4.6.2. Mikrodalga Kurutucu - Aktivasyon Enerjisi

Şekil 4.66. da çeşitli sürelerde (30 dak, 60 dak ve 90 dak) suda bekletilmiş olan hortum numunelerinin mikrodalga kurutucu ile kurutulması esnasındaki aktivasyon enerjileri görülmektedir. Aktivasyon enerjisi, efektif difüzyon katsayısının logaritması ile numune yaş ağırlığının mikrodalga gücüne bölünmesiyle elde edilen eğimden tespit edilmektedir.

Mikrodalga kurutucu için 30 dakika suda beklemiş numuneye ait aktivasyon enerjisi (E_a) 1,7339 kJ/mol olarak, 60 dakika suda beklemiş numuneye ait aktivasyon enerjisi 1,9004 kJ/mol olarak ve 90 dakika suda beklemiş numuneye ait aktivasyon enerjisi de 1,7351 kJ/mol olarak hesaplanmıştır. Deneylede uygulanmış olan suda bekletme ön işleminin aktivasyon enerjisindeki değişimi etkilediği sonuçlardan anlaşılmıştır.



Şekil 4.66. Mikrodalga Kurutucu Aktivasyon Enerjisi Grafiği

4.6.3. Bantlı Tip Tünel Kurutucu Deneyleri İçin Efektif Difüzyon Katsayısı

Su banyosunda 30, 60 ve 90 dakika boyunca su emmesi sağlanmış hortum numunelerinin, bantlı tip tünel kurutucuda 50 °C, 60 °C ve 70 °C sıcaklık değerlerinde kurutulması sonrası efektif difüzyon katsayıları hesaplanmıştır.

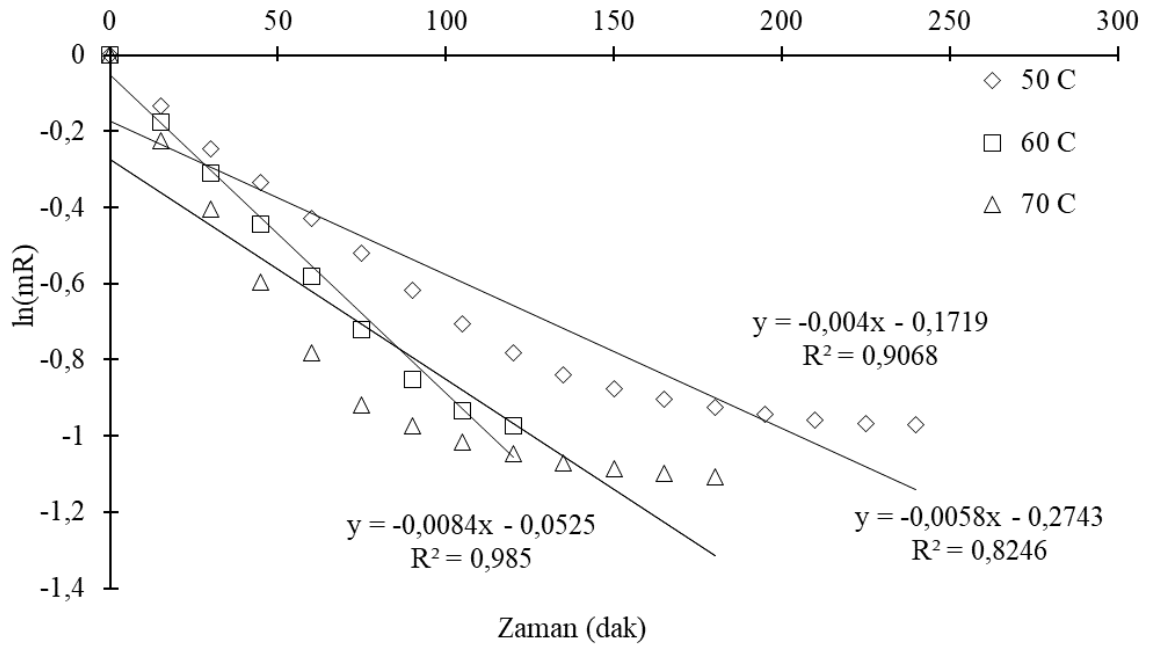
Şekil 4.67. de 30 dakika boyunca su emmesi sağlanan numunelerin efektif difüzyon katsayıları gösterilmiştir. Bantlı tip tünel kurutucuda 50 °C sıcaklıkta kurutulan numuneye ait D_{eff} (Efektif Difüzyon Katsayısı) $3,65 \times 10^{-9}$ m²/s olarak hesaplanmıştır. 60 °C sıcaklıkta

kurutulan numune için $D_{\text{eff}} 7,65 \times 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$ ve $70 \text{ }^\circ\text{C}$ sıcaklıkta kurutulan numune için ise $D_{\text{eff}} 5,29 \times 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$ olarak hesaplanmıştır.

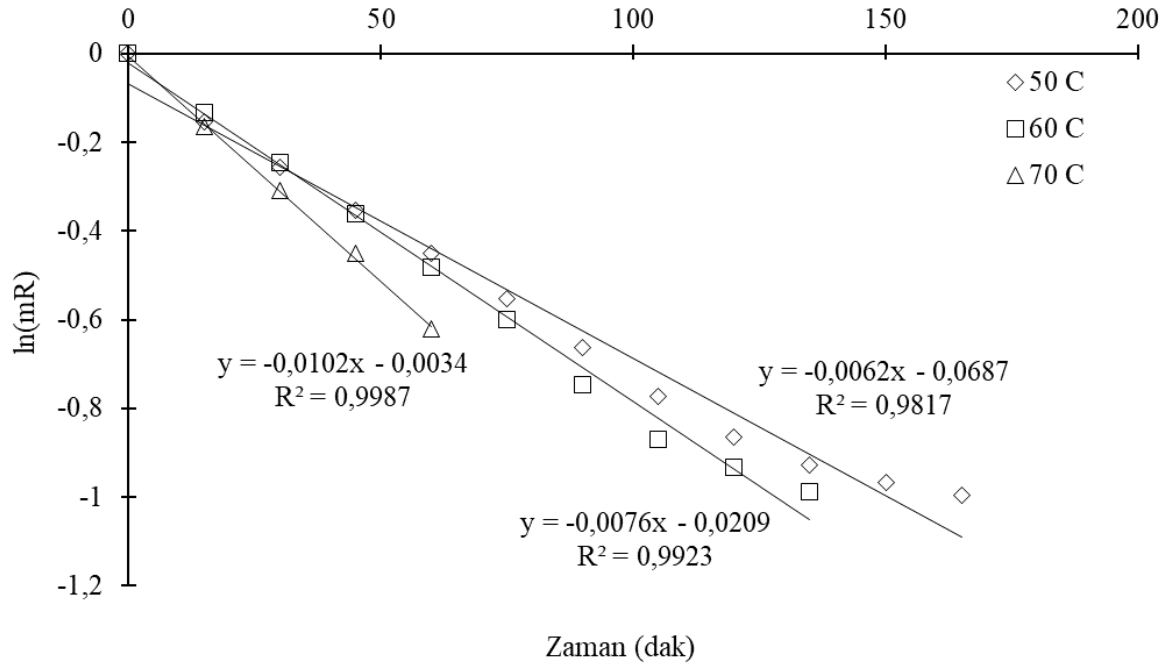
Şekil 4.68. de ise 60 dakika boyunca su emmesi sağlanan numunelerin efektif difüzyon katsayıları gösterilmiştir. Bantlı tip tünel kurutucuda $50 \text{ }^\circ\text{C}$ sıcaklıkta kurutulan numuneye ait D_{eff} (Efektif Difüzyon Katsayısı) $5,65 \times 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$ olarak hesaplanmıştır. $60 \text{ }^\circ\text{C}$ sıcaklıkta kurutulan numune için $D_{\text{eff}} 6,92 \times 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$ ve $70 \text{ }^\circ\text{C}$ sıcaklıkta kurutulan numune için ise $D_{\text{eff}} 9,30 \times 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$ olarak hesaplanmıştır.

Şekil 4.69. da benzer şekilde 90 dakika boyunca su emmesi sağlanan numunelerin efektif difüzyon katsayıları gösterilmiştir. Bantlı tip tünel kurutucuda $50 \text{ }^\circ\text{C}$ sıcaklıkta kurutulan numuneye ait D_{eff} (Efektif Difüzyon Katsayısı) $4,92 \times 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$ olarak hesaplanmıştır. $60 \text{ }^\circ\text{C}$ sıcaklıkta kurutulan numune için $D_{\text{eff}} 7,20 \times 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$ ve $70 \text{ }^\circ\text{C}$ sıcaklıkta kurutulan numune için ise $D_{\text{eff}} 1,07 \times 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$ olarak hesaplanmıştır.

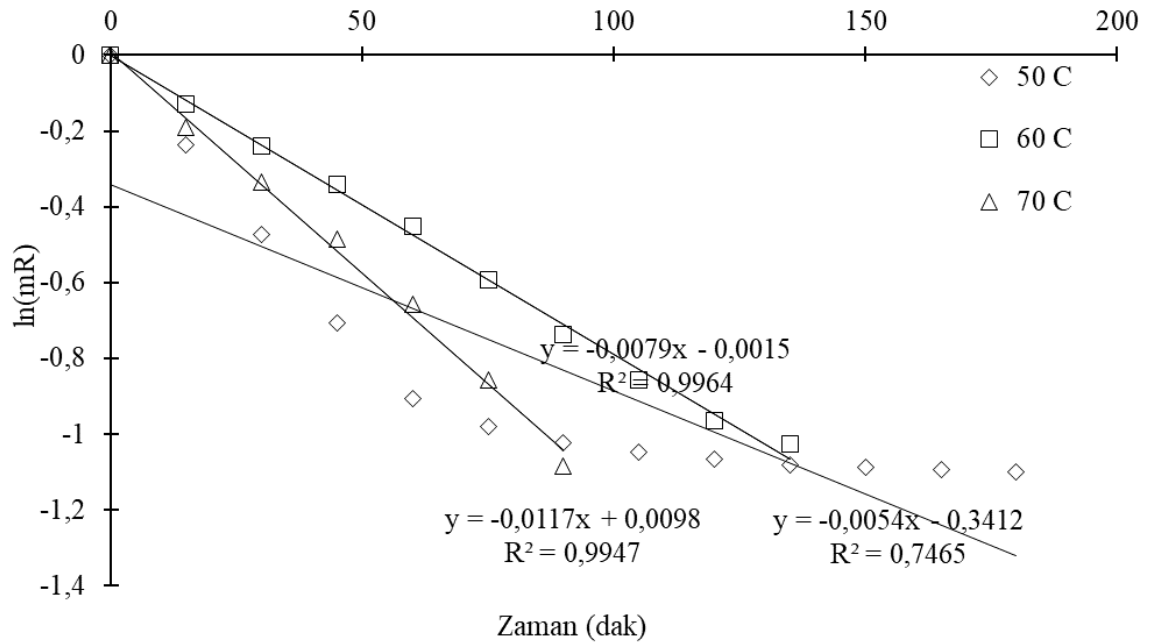
Kurutma işlemi için bantlı tip tünel kurutucuda uygulanan deneylerde, efektif difüzyon katsayılarının kurutma güçleriyle doğru orantılı olarak değişmediği anlaşılmıştır. Suda 30 dakika ve 60 dakika bekletme ön işleminde en yüksek efektif difüzyon katsayısı $60 \text{ }^\circ\text{C}$ kurutma sıcaklığında elde edilmişken, suda 90 dakika bekletme işleminde en yüksek efektif difüzyon katsayısı $70 \text{ }^\circ\text{C}$ kurutma sıcaklığında elde edilmiştir.



Şekil 4.67. Bantlı Tip Tünel Kurutucu 30 Dakika Su Banyosu Difüzyon Katsayısı Grafiği



Şekil 4.68. Bantlı Tip Tünel Kurutucu 60 Dakika Su Banyosu Difüzyon Katsayısı Grafiği

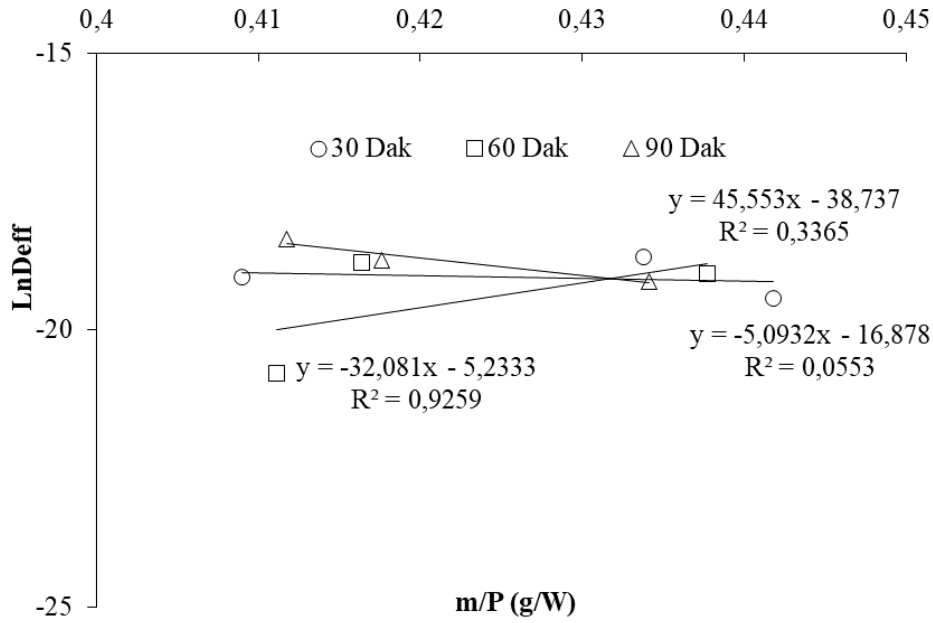


Şekil 4.69. Bantlı Tip Tünel Kurutucu 90 Dakika Su Banyosu Difüzyon Katsayısı Grafiği

4.6.4. Bantlı Tip Tünel Kurutucu - Aktivasyon Enerjisi

Şekil 4.70. de çeşitli sürelerde (30 dak, 60 dak ve 90 dak) suda bekletilmiş olan hortum numunelerinin bantlı tip tünel kurutucuda kurutulması esnasındaki aktivasyon enerjileri

görülmektedir. Aktivasyon enerjisi, efektif difüzyon katsayısının logaritması ile numune yaş ağırlığının mikrodalga güne bölünmesiyle elde edilen doğrunun eğiminden tespit edilmektedir. Bantlı tip tünel kurutucu için 30 dakika suda beklemiş numuneye ait aktivasyon enerjisi (E_a) 5,0932 kJ/mol olarak, 60 dakika suda beklemiş numuneye ait aktivasyon enerjisi 45,553 kJ/mol olarak ve 90 dakika suda beklemiş numuneye ait aktivasyon enerjisi de 32,081 kJ/mol olarak hesaplanmıştır. Suda bekleme ön işlemiyle birlikte aktivasyon enerjisinin arttığı gözlenmiştir ancak artış miktarı ön işlem süresi ile orantılı olarak gerçekleşmemiştir.



Şekil 4.70. Bantlı Tip Tünel Kurutucu Aktivasyon Enerjisi Grafiği

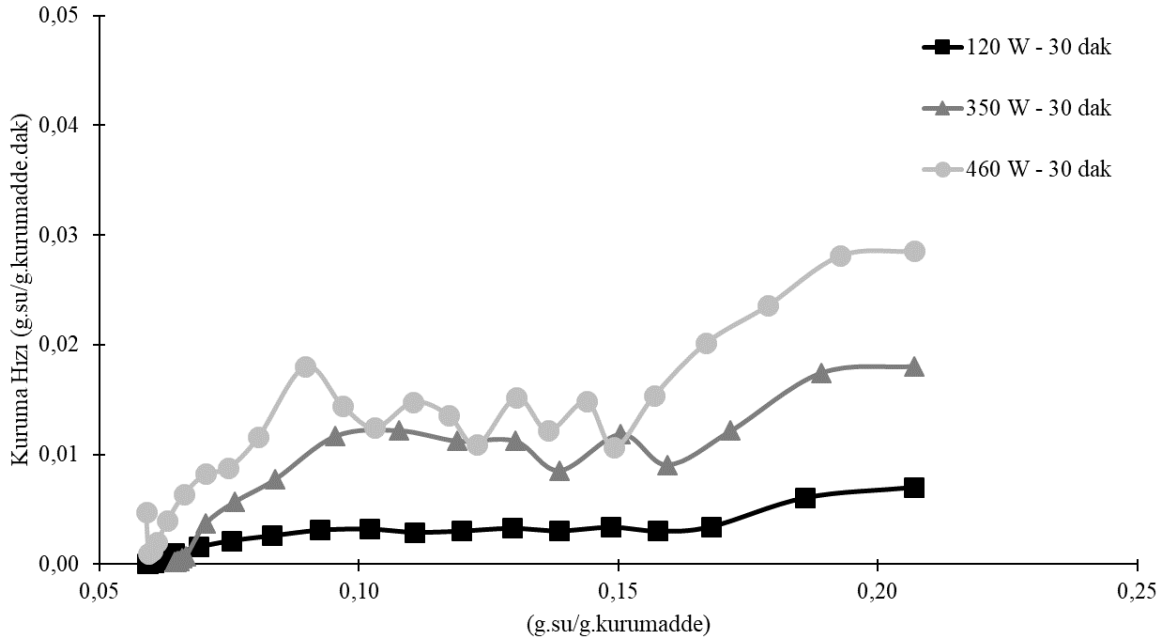
4.7. Kuruma Hızı Analizi

4.7.1. Mikrodalga Kurutucu Deneyleri İçin Kuruma Hızı

Su banyosu içerisinde 30, 60 ve 90 dakika boyunca su emmesi sağlanmış hortum numunelerinin, mikrodalga kurutucuda 120 W, 350 W ve 460 W güç değerlerinde kurutulması sonrası kuruma hızları hesaplanmıştır.

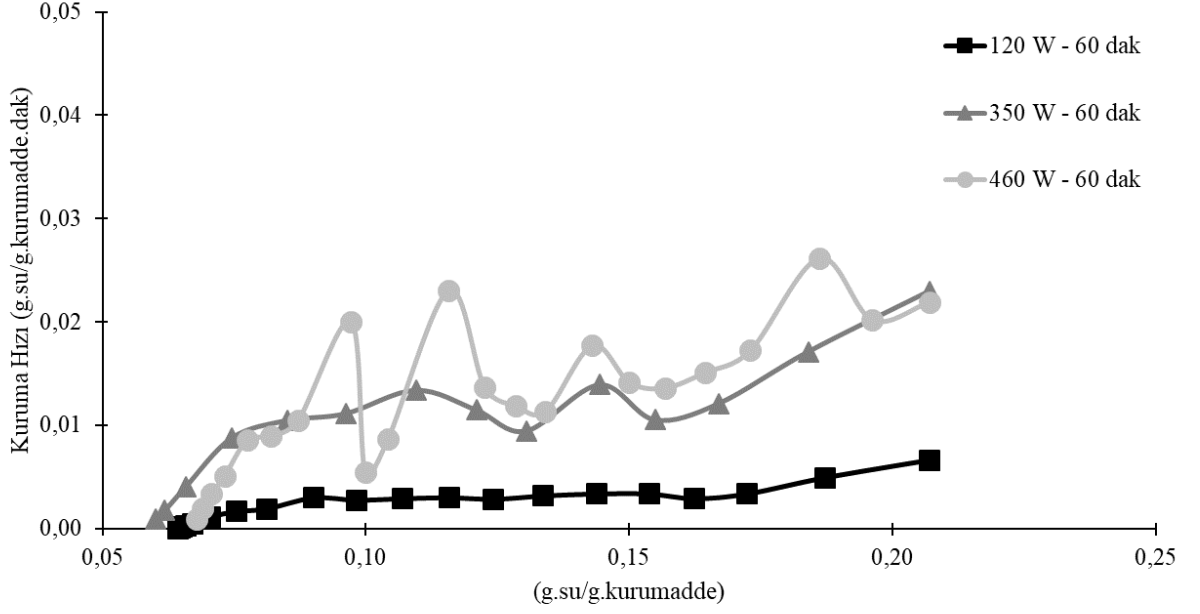
Şekil 4.71. de 30 dakika boyunca su emmesi sağlanan numunelerin kuru baza göre nem miktarları ile kuruma hızları arası ilişki gösterilmiştir. Mikrodalga kurutucuda 120 W güçte kurutulan numuneye ait hız değerleri $0,0070104 \text{ g}_{\text{su}}/\text{g}_{\text{kurumadde. dak}} - 4,373 \cdot 10^{-5} \text{ g}_{\text{su}}/\text{g}_{\text{kurumadde. dak}}$ arasında, 350 W güçte kurutulan numuneye ait hız değerleri $0,018021785 \text{ g}_{\text{su}}/\text{g}_{\text{kurumadde. dak}}$ -

0,000213251 $g_{su}/g_{kurumadde. dak}$ arasında ve 460 W güçte kurutulan numuneye ait hız değerleri ise 0,028552531 $g_{su}/g_{kurumadde. dak}$ - 0,004784811 $g_{su}/g_{kurumadde. dak}$ aralığında tespit edilmiştir.



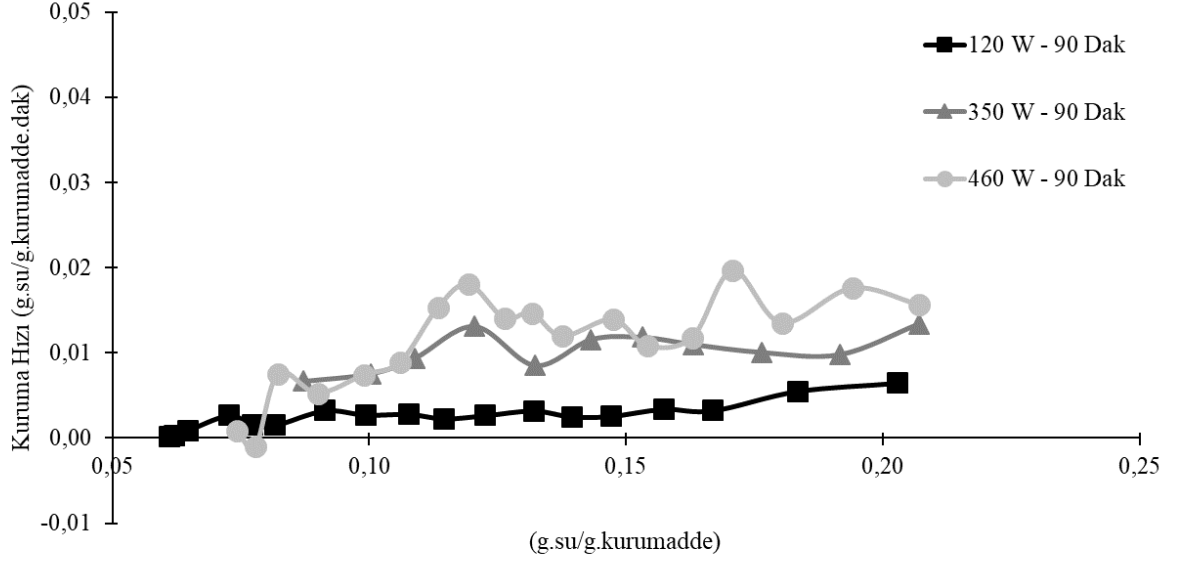
Şekil 4.71. Mikrodalga Kurutucu - 30 Dakika Su Banyosu Kuruma Hızı Grafiği

Şekil 4.72. de 60 dakika boyunca su emmesi sağlanan numunelerin kuru baza göre nem miktarları ile kuruma hızları arası ilişki gösterilmiştir. Mikrodalga kurutucuda 120 W güçte kurutulan numuneye ait hız değerleri $0,006619848 g_{su}/g_{kurumadde. dak}$ - $1,844.10^{-5} g_{su}/g_{kurumadde. dak}$ arasında, 350 W güçte kurutulan numuneye ait hız değerleri $0,022954946 g_{su}/g_{kurumadde. dak}$ - $0,000906116 g_{su}/g_{kurumadde. dak}$ arasında ve 460 W güçte kurutulan numuneye ait hız değerleri ise $0,021885181 g_{su}/g_{kurumadde. dak}$ - $0,000894651 g_{su}/g_{kurumadde. dak}$ aralığında tespit edilmiştir.



Şekil 4.72. Mikrodalga Kurutucu - 60 Dakika Su Banyosu Kuruma Hızı Grafiği

Şekil 4.73. de 90 dakika boyunca su emmesi sağlanan numunelerin kuru baza göre nem miktarları ile kuruma hızları arası ilişki gösterilmiştir. Mikrodalga kurutucuda 120 W güçte kurutulan numuneye ait hız değerleri $0,006457049 \text{ g}_{\text{su}}/\text{g}_{\text{kurumadde. dak}}$ - $0,000115936 \text{ g}_{\text{su}}/\text{g}_{\text{kurumadde. dak}}$ arasında, 350 W güçte kurutulan numuneye ait hız değerleri $0,013409015 \text{ g}_{\text{su}}/\text{g}_{\text{kurumadde. dak}}$ - $0,006668609 \text{ g}_{\text{su}}/\text{g}_{\text{kurumadde. dak}}$ arasında ve 460 W güçte kurutulan numuneye ait hız değerleri ise $0,015669126 \text{ g}_{\text{su}}/\text{g}_{\text{kurumadde. dak}}$ - $0,000881442 \text{ g}_{\text{su}}/\text{g}_{\text{kurumadde. dak}}$ aralığında tespit edilmiştir.

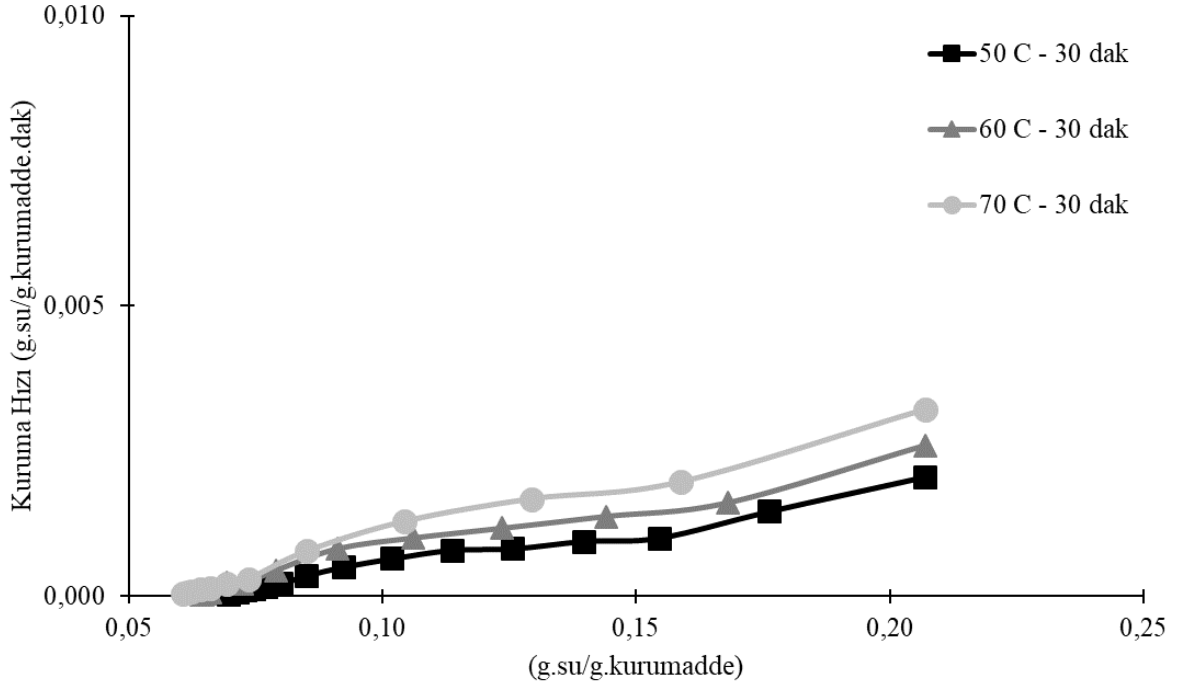


Şekil 4.73. Mikrodalga Kurutucu - 90 Dakika Su Banyosu Kuruma Hızı Grafiği

4.7.2. Bantlı Tip Tünel Kurutucu Deneyleri İçin Kuruma Hızı

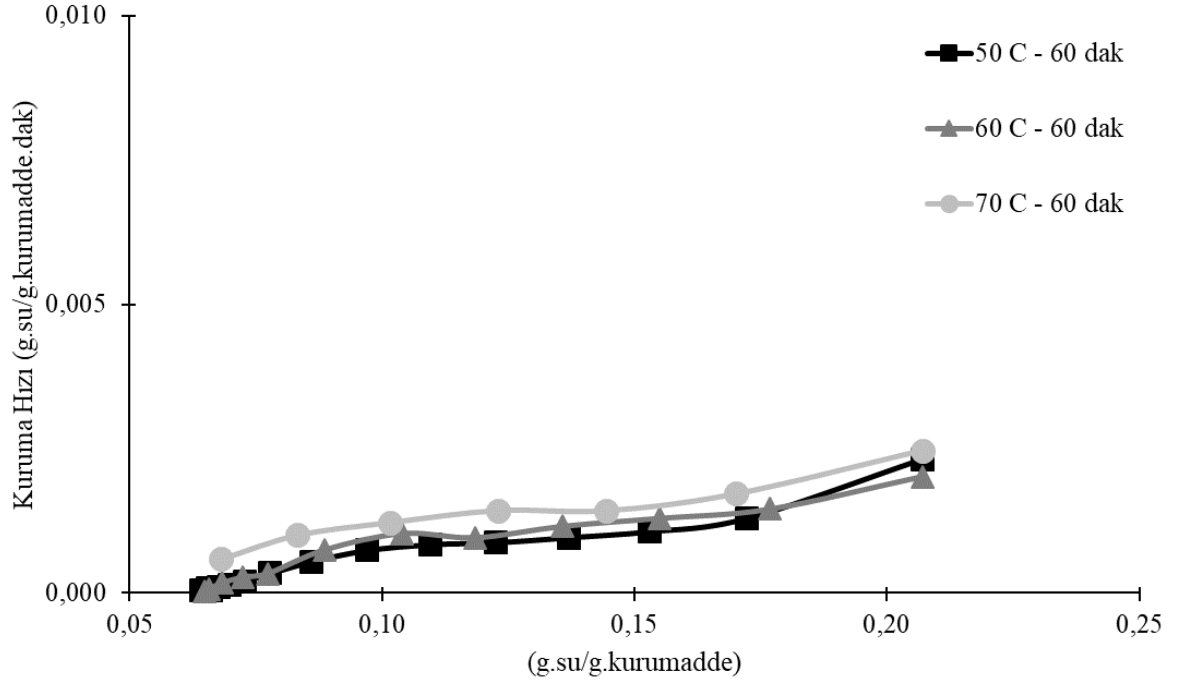
Su banyosu içerisinde 30, 60 ve 90 dakika boyunca su emmesi sağlanmış hortum numunelerinin, bantlı tip tünel kurutucuda 50 °C, 60 °C ve 70 °C sıcaklık değerlerinde kurutulması sonrası kuruma hızları hesaplanmıştır.

Şekil 4.74. de 30 dakika boyunca su emmesi sağlanan numunelerin kuru baza göre nem miktarları ile kuruma hızları arası ilişki gösterilmiştir. Bantlı tip tünel kurutucuda 50 °C sıcaklıkta kurutulan numuneye ait hız değerleri $0,0020449 \text{ g}_{\text{su}}/\text{g}_{\text{kurumadde. dak}} - 2,227.10^{-5} \text{ g}_{\text{su}}/\text{g}_{\text{kurumadde. dak}}$ arasında, 60 °C sıcaklıkta kurutulan numuneye ait hız değerleri $0,00259304 \text{ g}_{\text{su}}/\text{g}_{\text{kurumadde. dak}} - 1,308.10^{-5} \text{ g}_{\text{su}}/\text{g}_{\text{kurumadde. dak}}$ arasında ve 70 °C sıcaklıkta kurutulan numuneye ait hız değerleri ise $0,00322011 \text{ g}_{\text{su}}/\text{g}_{\text{kurumadde. dak}} - 3,842.10^{-5} \text{ g}_{\text{su}}/\text{g}_{\text{kurumadde. dak}}$ aralığında tespit edilmiştir.



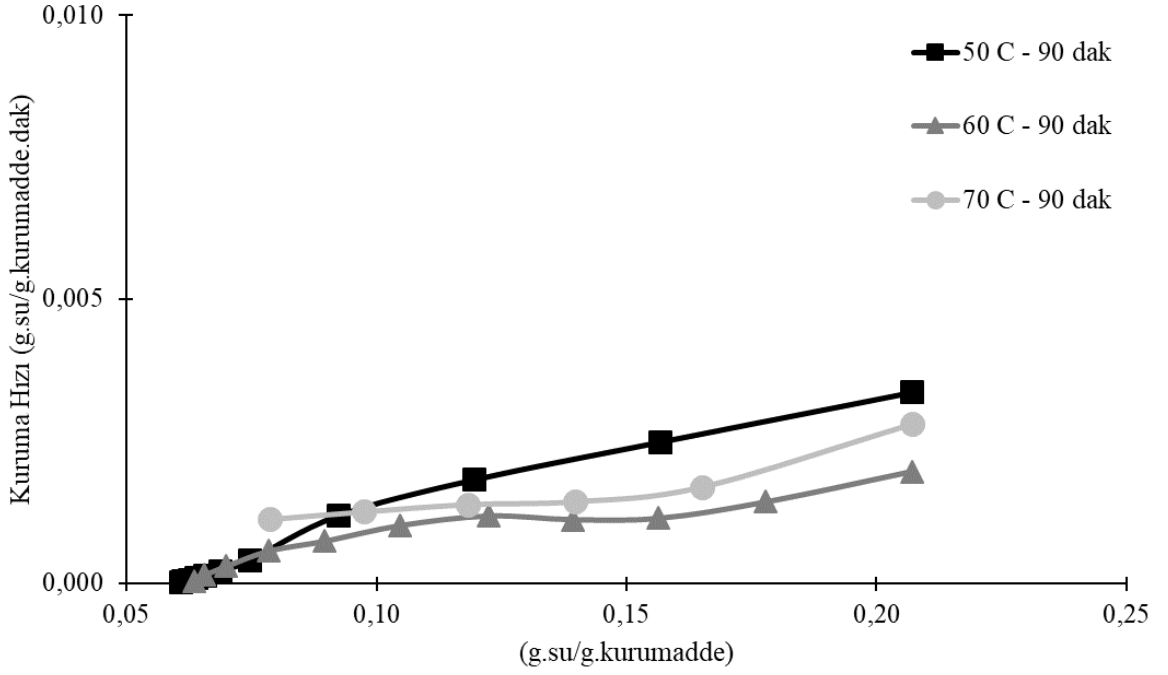
Şekil 4.74. Bantlı Tip Tünel Kurutucu - 30 Dakika Su Banyosu Kuruma Hızı Grafiği

Şekil 4.75. de 60 dakika boyunca su emmesi sağlanan numunelerin kuru baza göre nem miktarları ile kuruma hızları arası ilişki gösterilmiştir. Bantlı tip tünel kurutucuda 50 °C sıcaklıkta kurutulan numuneye ait hız değerleri $0,00231583 \text{ g}_{\text{su}}/\text{g}_{\text{kurumadde. dak}} - 4,0394 \cdot 10^{-5} \text{ g}_{\text{su}}/\text{g}_{\text{kurumadde. dak}}$ arasında, 60 °C sıcaklıkta kurutulan numuneye ait hız değerleri $0,002017398 \text{ g}_{\text{su}}/\text{g}_{\text{kurumadde. dak}} - 3,21972 \cdot 10^{-5} \text{ g}_{\text{su}}/\text{g}_{\text{kurumadde. dak}}$ arasında ve 70 °C sıcaklıkta kurutulan numuneye ait hız değerleri ise $0,00246437 \text{ g}_{\text{su}}/\text{g}_{\text{kurumadde. dak}} - 0,00058978 \text{ g}_{\text{su}}/\text{g}_{\text{kurumadde. dak}}$ aralığında tespit edilmiştir.



Şekil 4.75. Bantlı Tip Tünel Kurutucu - 60 Dakika Su Banyosu Kuruma Hızı Grafiği

Şekil 4.76. da 90 dakika boyunca su emmesi sağlanan numunelerin kuru baza göre nem miktarları ile kuruma hızları arası ilişki gösterilmiştir. Bantlı tip tünel kurutucuda 50 °C sıcaklıkta kurutulan numuneye ait hız değerleri $0,00335467 \text{ g}_{\text{su}}/\text{g}_{\text{kurumadde. dak}} - 1,84.10^{-5} \text{ g}_{\text{su}}/\text{g}_{\text{kurumadde. dak}}$ arasında, 60 °C sıcaklıkta kurutulan numuneye ait hız değerleri $0,00196243 \text{ g}_{\text{su}}/\text{g}_{\text{kurumadde. dak}} - 2,776.10^{-5} \text{ g}_{\text{su}}/\text{g}_{\text{kurumadde. dak}}$ arasında ve 70 °C sıcaklıkta kurutulan numuneye ait hız değerleri ise $0,0027935 \text{ g}_{\text{su}}/\text{g}_{\text{kurumadde. dak}} - 0,0011258 \text{ g}_{\text{su}}/\text{g}_{\text{kurumadde. dak}}$ aralığında tespit edilmiştir.



Şekil 4.76. Bantlı Tip Tünel Kurutucu - 90 Dakika Su Banyosu Kuruma Hızı Grafiği

4.8. Matematiksel Modelleme

Mikrodalga kurutucu ve bantlı tip tünel kurutucuda yapılan kurutma deneylerinden elde edilen veriler ile matematiksel modellerden elde edilen sonuçlar karşılaştırılmış ve her deney için uygun olan matematiksel modeller tespit edilmiştir. Kullanılan matematiksel modeller; Approximation of Diffusion, Verma et al., Midilli et al., Wang & Singh, Henderson & Pabis, Newton, Copace, Two Term Exponential ve Logarithmic modelleridir.

Çizelge 4.19. 'da kullanılan modeller ile 30 dakika su banyosu uygulanmış sonrasında ise bantlı tip tünel kurutucuda ve mikrodalga kurutucuda çeşitli sıcaklık ve güçlerde kurutulmuş deney numunelerine ait veriler bulunmaktadır.

Çizelge 4.19. 30 Dakika Su Banyosu Deneyleri - Matematiksel Modelleme Sonuçları

MODEL	Mikrodalga Gücü (W)	Sabitler	r	e _s	χ^2	Bant Sıcaklığı (°C)	Sabitler	r	e _s	χ^2
NEWTON	120	k=0,225	0,97	0,034	0,00115	50	k= 0,0056	0,834	0,065	0,0042
	350	k=0,0695	0,963	0,038	0,0014	60	k=0,0075	0,805	0,073	0,0052
	460	k=0,105	0,991	0,019	0,00036	70	k= 0,0094	0,619	0,094	0,0088
COPACE	120	a= 0,92 b= 0,0045 c= 0,051 d= 0,0023	0,986	0,025	0,000623	50	a= 1,021 b= -0,0032 c= 0,0071 d= -0,00004	0,996	0,0111	0,00012
	350	a= 0,945 b= 0,19 c= 0,202 d= 0,028	0,98	0,0308	0,00095	60	a= 1,063 b= -0,0042 c= 0,0123 d= -0,000072	0,993	0,0163	0,00027
	460	a= 0,959 b= 0,0032 c= 0,075 d= 0,0108	0,992	0,0187	0,00035	70	a= 1,122 b= -0,0022 c= 0,0245 d= -0,0001	0,993	0,0154	0,00024
HENDERSON & PABIS	120	a= 0,957 k= 0,021	0,976	0,031	0,001	50	a= 0,86 k= 0,004	0,928	0,044	0,002
	350	a= 0,975 k= 0,067	0,965	0,038	0,0012	60	a= 0,84 k= 0,006	0,903	0,054	0,003
	460	a=0,989 k= 0,103	0,991	0,019	0,0003	70	a= 0,772 k= 0,006	0,843	0,063	0,004

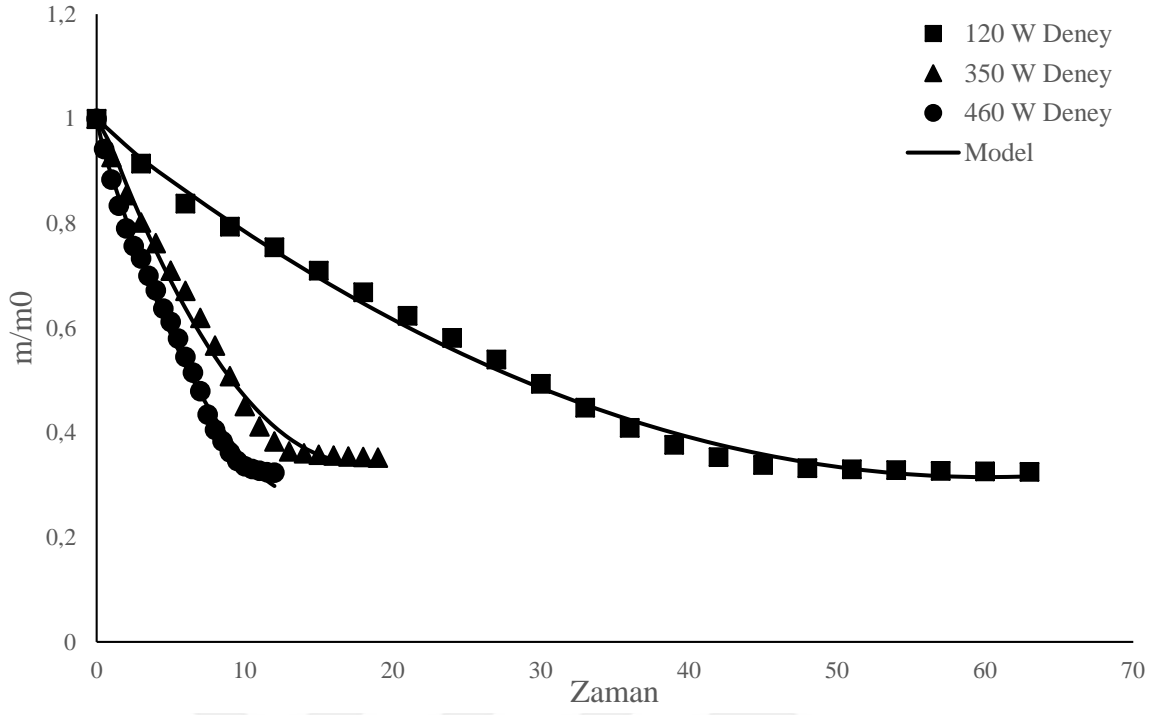
Çizelge 4.19. 30 Dakika Su Banyosu Deneyleri - Matematiksel Modelleme Sonuçları (Devamı)

WANG & SINGH	120	a= -0,023 b= 0,0002	0,993	0,016	0,0003	50	a= -0,0066 b= 0,00002	0,983	0,021	0,00045
	350	a= -0,0728 b= 0,002	0,989	0,021	0,00045	60	a= -0,009 b= 0,00003	0,982	0,023	0,00054
	460	a= -0,0997 b= 0,003	0,993	0,017	0,0003	70	a= -0,01 b= 0,00004	0,92	0,046	0,002
LOGARITHMIC	120	a= 0,99 k= -0,022 b= 0,0002	0,994	0,017	0,0003	50	a= 0,94 k= -0,006 b= 0,00001	0,996	0,011	0,0001
	350	a= 1,02 k= -0,077 b= 0,0022	0,99	0,021	0,0004	60	a= 0,94 k= -0,008 b= 0,00003	0,994	0,014	0,0002
	460	a= 0,98 k= -0,094 b= 0,0031	0,993	0,017	0,0003	70	a= 0,88 k= -0,008 b= 0,00003	0,969	0,029	0,0009
APPROXIMATION OF DIFFUSION	120	a= -28,813 k= -0,00032 b= -28,66	0,898	0,07	0,005	50	a= -34,535 k= -0,00006 b= -34,314	0,846	0,073	0,0053
	350	a= 11,56 k= 0,003 b= 11,688	0,901	0,0705	0,005	60	a= -55,001 k= -0,00004 b= -54,745	0,802	0,089	0,008
	460	a= -23,091 k= -0,0022 b= -22,988	0,948	0,05	0,0025	70	a= -60,132 k= -0,00004 b= -59,809	0,733	0,098	0,0097
VERMA ET AL.	120	a= -0,38 k= 0,03 g= 0,025	0,967	0,037	0,0014	50	a= -0,34 k= 0,006 g= 0,006	0,834	0,069	0,005
	350	a= -0,359 k= 0,069 g= 0,070	0,962	0,041	0,0017	60	a= -0,38 k= 0,0078 g= 0,008	0,805	0,08	0,0063
	460	a= 0,128 k= 0,015 g= 0,119	0,98	0,027	0,00073	70	a= -0,415 k= 0,0093 g= 0,0094	0,619	0,104	0,011

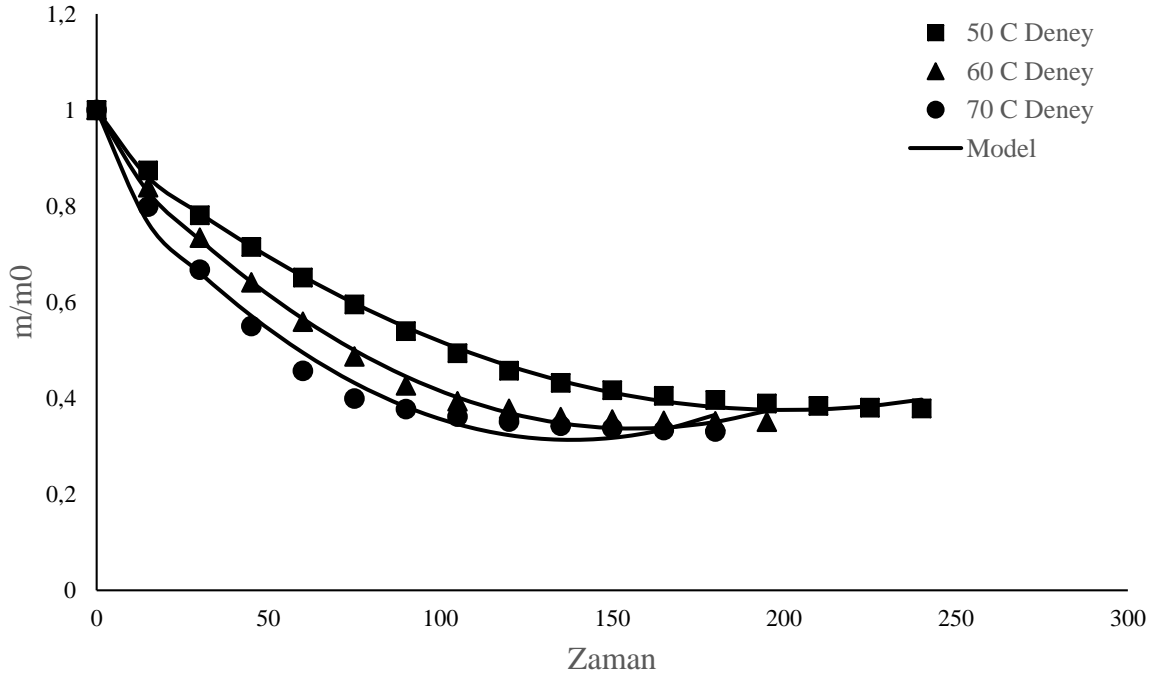
Çizelge 4.19. 30 Dakika Su Banyosu Deneyleri - Matematiksel Modelleme Sonuçları (Devamı)

TWO-TERM EXPONENTIAL	120	a= 28,813 k= -0,0003	0,898	0,07	0,005	50	a= -34,53 k= -0,00006	0,846	0,073	0,0053
	350	a= 11,56 k= 0,003	0,901	0,071	0,005	60	a= -55,001 k= -0,00004	0,802	0,089	0,008
	460	a= -23,09 k= -0,0022	0,948	0,005	0,0025	70	a= -60,132 k= -0,00004	0,733	0,099	0,0097
MIDILLI ET AL.	120	a= 0,851 k= -0,0011 n= 0 b= -0,01	0,918	0,062	0,0038	50	a= 0,78 k= -0,00009 n= 0 b= -0,0021	0,848	0,069	0,0048
	350	a= 0,881 k= 0,01 n= 0 b= -0,0333	0,908	0,065	0,0043	60	a= 0,746 k= 0,00018 n= 0 b= -0,0025	0,807	0,083	0,007
	460	a= 0,9 k= 0,00099 n= 0 b= -0,0555	0,965	0,04	0,0016	70	a= 0,679 k= -0,0002 n= 0 b= -0,0025	0,738	0,0914	0,0083

Çizelge 4.19. 'da verilmiş olan sonuçlar değerlendirildiğinde 30 dakika su banyosundan sonra yapılan mikrodalga kurutucu ile kurutma işlemine en uygun matematiksel modellerin Wang & Singh ile Logarithmic olduğu, bantlı tip tünel kurutucu ile kurutma işlemine ise en uygun matematiksel modellerin Copace ile Logarithmic modelleri olduğu anlaşılmıştır. Her iki durumda da uygun model Logarithmic olarak tespit edilmiş olduğundan dolayı, Logarithmic modeline ait grafikler çizilmiştir. Mikrodalga kurutucuya ait grafik Şekil 4.77.'de, bantlı tip tünel kurutucuya ait grafik ise Şekil 4.78.'de gösterilmiştir.



Şekil 4.77. 30 Dakika Su Banyosu – Mikrodalga Kurutucuya ait Logarithmic Model Grafiği



Şekil 4.78. 30 Dakika Su Banyosu – Bantlı Tip Tünel Kurutucuya ait Logarithmic Model Grafiği

Çizelge 4.20. 60 Dakika Su Banyosu Deneyleri - Matematiksel Modelleme Sonuçları

MODEL	Mikrodalga Gücü (W)	Sabitler	r	χ^2	e_s	Bant Sıcaklığı (°C)	Sabitler	r	χ^2	e_s
NEWTON	120	k= 0,021	0,981	0,00071	0,0267	50	k= 0,0063	0,884	0,0033	0,057
	350	k= 0,085	0,99	0,0004	0,02	60	k= 0,0074	0,951	0,00164	0,0405
	460	k= 0,097	0,995	0,0002	0,014	70	k= 0,0105	0,997	0,000082	0,009
COPACE	120	a= 0,912 b= 0,0537 c= 0,0536 d= 0,0025	0,99	0,00042	0,0205	50	a= 1,025 b= -0,004 c= 0,0073 d= -0,00005	0,992	0,00029	0,017
	350	a= 0,929 b= 0,011 c= 0,0397 d= 0,0107	0,994	0,0003	0,017	60	a= 0,956 b= 0,0535 c= 0,0556 d= 0,0007	0,988	0,00053	0,023
	460	a= 0,981 b= 0,011 c= 0,0783 d= 0,0112	0,996	0,000176	0,013	70	a= 0,934 b= -0,00011 c= 0,005 d= 0,00012	0,999	0,000027	0,0052
HENDERSON & PABIS	120	a= 0,973 k= 0,02	0,983	0,0006	0,026	50	a= 0,876 k= 0,005	0,946	0,0017	0,04
	350	a= 1,008 k= 0,086	0,99	0,0004	0,02	60	a= 0,936 k= 0,0066	0,965	0,0013	0,04
	460	a= 1,01 k= 0,098	0,995	0,0002	0,014	70	a= 1,006 k= 0,0106	0,998	0,00009	0,0096

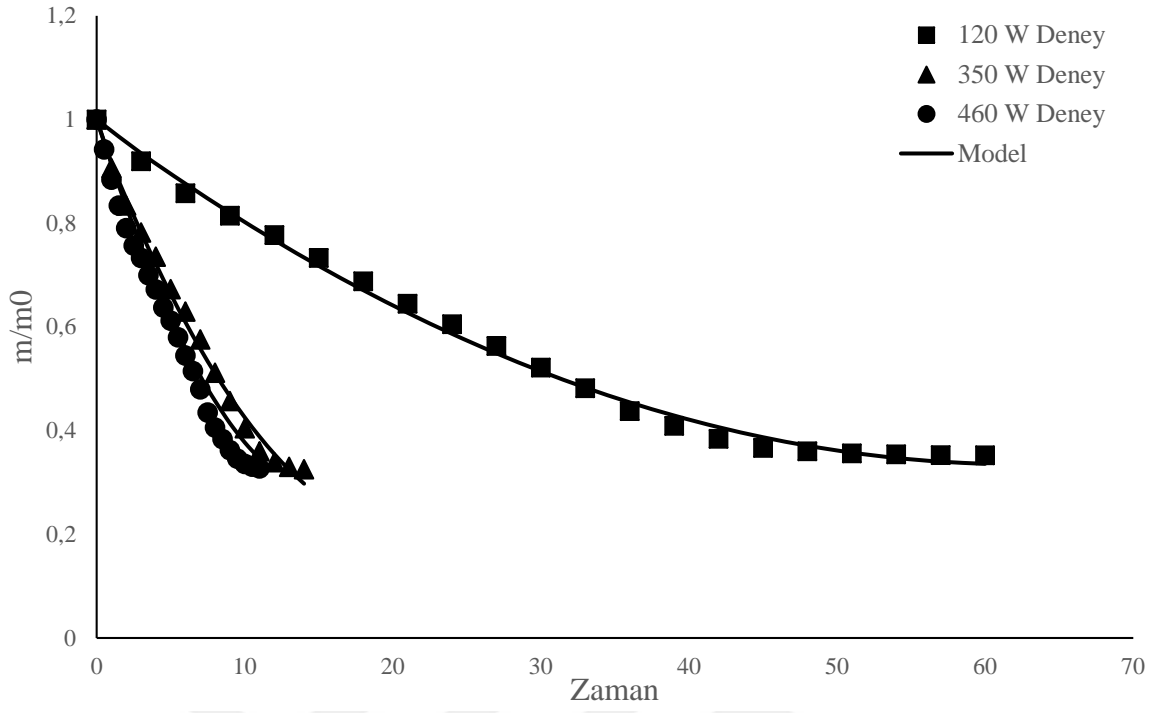
Çizelge 4.20. 60 Dakika Su Banyosu Deneyleri - Matematiksel Modelleme Sonuçları (Devamı)

WANG & SINGH	120	a= -0,021 b= 0,00017	0,994	0,0002	0,016	50	a= -0,007 b= 0,00002	0,988	0,0004	0,02
	350	a= -0,077 b= 0,0019	0,993	0,0003	0,018	60	a= -0,008 b= 0,00002	0,998	0,00006	0,0077
	460	a= -0,09 b= 0,03	0,996	0,00015	0,012	70	a= -0,0096 b= 0,00003	0,998	0,00007	0,0084
LOGARITHMIC	120	a= 0,997 k= -0,021 b= 0,00017	0,994	0,0002	0,016	50	a= 0,945 k= -0,0062 b= 0,00002	0,998	0,00008	0,009
	350	a= 0,988 k= -0,074 b= 0,0017	0,993	0,0003	0,018	60	a= 0,996 k= -0,008 b= 0,00002	0,998	0,00006	0,008
	460	a= 1,002 k= -0,091 b= 0,003	0,996	0,0002	0,013	70	a= 0,977 k= -0,009 b= 0,00003	0,999	0,00004	0,006
APPROXIMATION OF DIFFUSION	120	a= -31,591 k= -0,00031 b= -31,469	0,928	0,00337	0,058	50	a= -35,048 k= -0,00006 b= -34,829	0,864	0,0055	0,0739
	350	a= -45,239 k= -0,00101 b= -45,156	0,972	0,0016	0,0404	60	a= -57,039 k= 0,000054 b= -56,871	0,891	0,00576	0,0759
	460	a= -24,257 k= -0,0022 b= -24,192	0,96	0,00181	0,0426	70	a= -58,51 k= -0,0001 b= -58,42	0,987	0,0014	0,037
VERMA ET AL.	120	a= -0,171 k= 0,027 g= 0,022	0,980	0,0008	0,028	50	a= -0,368 k= 0,006 g= 0,063	0,884	0,0039	0,062
	350	a= -0,102 k= 0,0006 g= 0,073	0,991	0,0004	0,0203	60	a= -0,339 k= 0,074 g= 0,0074	0,951	0,002	0,045
	460	a= -0,109 k= 0,028 g= 0,086	0,994	0,00025	0,016	70	a= -0,031 k= -0,0043 g= 0,0097	0,998	0,000076	0,0087

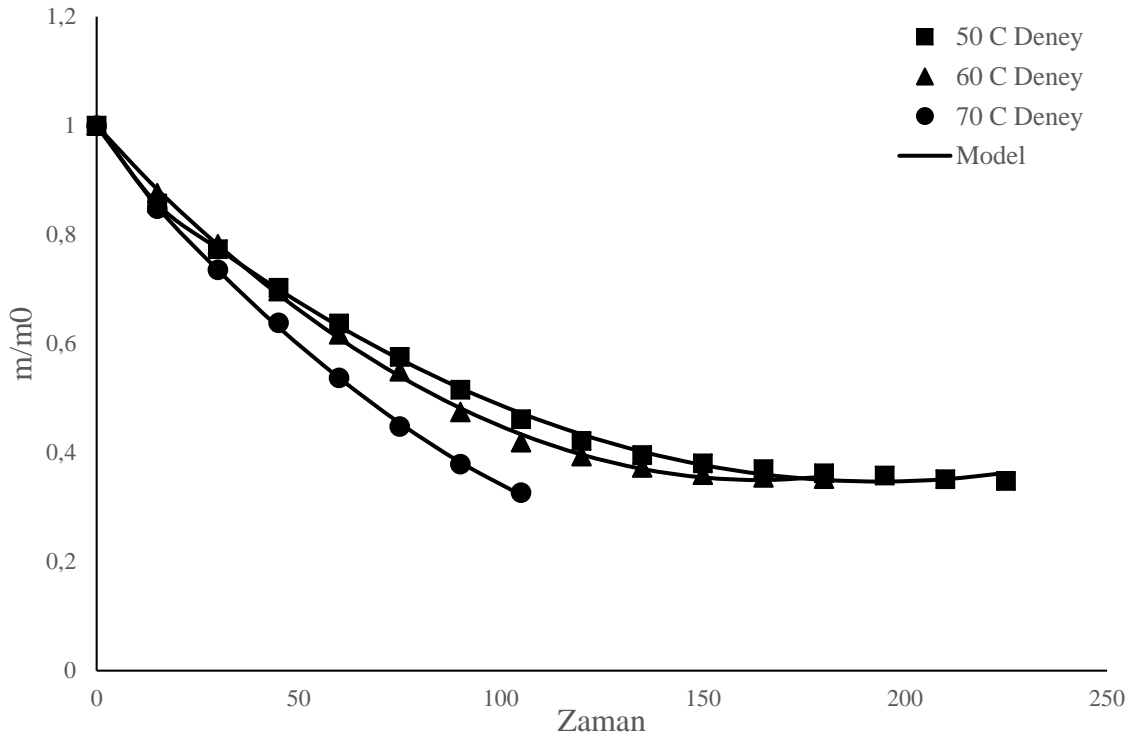
Çizelge 4.20. 60 Dakika Su Banyosu Deneyleri - Matematiksel Modelleme Sonuçları (Devamı)

TWO-TERM EXPONENTIAL	120	a= -31,591 k= -0,003	0,928	0,0033	0,06	50	a= -35,05 k= -0,000066	0,864	0,0055	0,074
	350	a= -45,239 k= -0,00101	0,972	0,0016	0,0404	60	a= -57,04 k= -0,00005	0,89	0,0057	0,076
	460	a= -24,26 k= -0,0022	0,959	0,002	0,043	70	a= -58,51 k= -0,0001	0,987	0,0014	0,037
MIDILLI ET AL.	120	a= 0,884 k= -0,00153 n= 0 b= -0,011	0,946	0,0024	0,0488	50	a= 0,783 k= 0,00013 n= 0 b= -0,023	0,867	0,0048	0,0696
	350	a= 0,925 k= 0,004 n= 0 b= -0,048	0,985	0,0008	0,028	60	a= 0,833 k= -0,0002 n= 0 b= -0,0033	0,895	0,0048	0,069
	460	a= 0,936 k= -0,0026 n= 0 b= -0,058	0,978	0,00093	0,0305	70	a= 0,913 k= 0,00024 n= 0 b= -0,058	0,989	0,0008	0,028

Çizelge 4.20. 'de kullanılan modeller ile 60 dakika su banyosu uygulanmış sonrasında ise bantlı tip tünel kurutucuda ve mikrodalga kurutucuda çeşitli sıcaklık ve güçlerde kurutulmuş deney numunelerine ait veriler bulunmaktadır. Çizelge 4.20. 'de verilmiş olan sonuçlar değerlendirildiğinde 60 dakika su banyosundan sonra yapılan mikrodalga kurutucu ile kurutma işlemine en uygun matematiksel modellerin Wang & Singh, Copace ile Logarithmic olduğu anlaşılmıştır. Bantlı tip tünel kurutucu ile kurutma işlemine ise en uygun matematiksel modellerin benzer şekilde Copace, Wang & Singh ile Logarithmic modelleri olduğu tespit edilmiştir. Her iki durumda da daha uygun model Logarithmic olarak görülmüş olduğundan dolayı sadece Logarithmic modeline ait grafikler çizilmiştir. Mikrodalga kurutucuya ait grafik Şekil 4.79.'da, bantlı tip tünel kurutucuya ait grafik ise Şekil 4.80.'de gösterilmiştir.



Şekil 4.79. 60 Dakika Su Banyosu – Mikrodalga Kurutucuya ait Logarithmic Model Grafiği



Şekil 4.80. 60 Dakika Su Banyosu – Bantlı Tip Tünel Kurutucuya ait Logarithmic Model Grafiği

Çizelge 4.21. 90 Dakika Su Banyosu Deneyleri - Matematiksel Modelleme Sonuçları

MODEL	Mikrodalga Gücü (W)	Sabitler	r	χ^2	e _s	Bant Sıcaklığı (°C)	Sabitler	r	χ^2	e _s
NEWTON	120	k= 0,0214	0,993	0,00024	0,0155	50	k= 0,00998	0,875	0,0013	0,113
	350	k= 0,075	0,993	0,00022	0,0151	60	k= 0,0076	0,982	0,00066	0,026
	460	k= 0,101	0,993	0,00023	0,0152	70	k= 0,0114	0,993	0,00023	0,0152
COPACE	120	a= 0,946 b= -0,0013 c= 0,0126 d= 0,00037	0,996	0,00018	0,0133	50	a= 0,886 b= -0,0069 c= 0,0063 d= -0,00011	0,88	0,0034	0,058
	350	a= 0,957 b= 0,06 c=0,092 d= 0,014	0,995	0,0002	0,0144	60	a= 0,813 b= 0,043 c= 0,034 d= 0,00068	0,993	0,00036	0,0188
	460	a= 0,966 b= 0,002 c= 0,068 d= 0,0106	0,995	0,00022	0,015	70	a= 0,942 b= -0,0061 c= 0,002 d= -0,000003	0,999	0,00005	0,0022
HENDERSON & PABIS	120	a= 0,98 k= 0,021	0,995	0,0002	0,0142	50	a= 0,717 k= 0,006	0,75	0,0057	0,076
	350	a= 1,006 k= 0,076	0,993	0,0002	0,015	60	a= 0,974 k= 0,007	0,984	0,0006	0,025
	460	a=1,001 k= 0,101	0,993	0,0002	0,016	70	a= 0,995 k= 0,011	0,993	0,0003	0,017

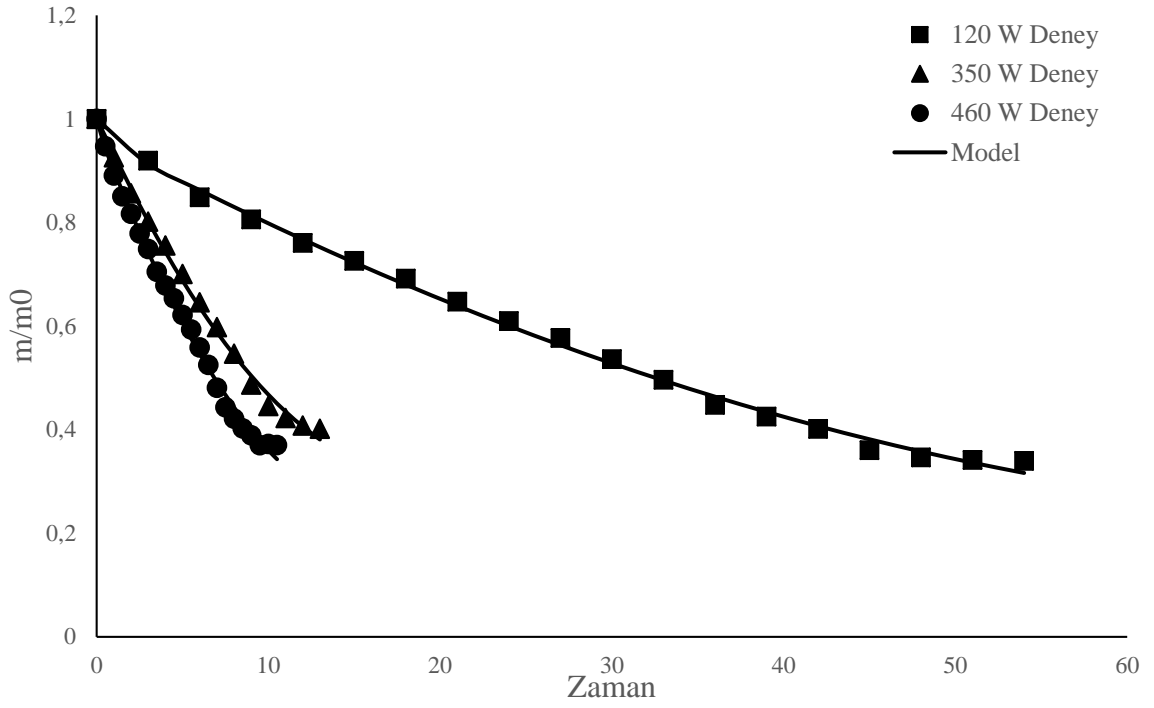
Çizelge 4.21. 90 Dakika Su Banyosu Deneyleri - Matematiksel Modelleme Sonuçları (Devamı)

WANG & SINGH	120	a= -0,02 b= 0,00014	0,993	0,00027	0,016	50	a= -0,011 b= 0,00002	0,831	0,004	0,062
	350	a= -0,07 b= 0,002	0,995	0,0002	0,013	60	a= -0,008 b= 0,00002	0,996	0,00014	0,012
	460	a= -0,094 b= 0,003	0,994	0,0002	0,014	70	a= -0,01 b= 0,00003	0,993	0,0003	0,017
LOGARITHMIC	120	a= 0,96 k= -0,018 b= 0,0001	0,996	0,0002	0,013	50	a= 0,84 k= -0,008 b= 0,00003	0,93	0,0018	0,042
	350	a= 1,003 k= -0,073 b= 0,0019	0,995	0,0002	0,014	60	a= 1,005 k= -0,008 b= 0,00002	0,997	0,0002	0,012
	460	a= 0,988 k=-0,09 b= 0,003	0,995	0,0002	0,014	70	a= 0,94 k= -0,008 b= 0,000012	0,999	0,000003	0,002
APPROXIMATION OF DIFFUSION	120	a= 11,864 k= 0,00099 b= 11,956	0,98	0,0009	0,03	50	a= -42,054 k= -0,00005 b= -41,685	0,639	0,0012	0,108
	350	a= -54,747 k= -0,00081 b= -54,683	0,974	0,0012	0,0356	60	a= -44,138 k= -0,00008 b= -44,008	0,933	0,004	0,0639
	460	a= -27,799 k= -0,0021 b= -27,729	0,979	0,00092	0,0303	70	a= -62,993 k= -0,0001 b= -62,906	0,998	0,0003	0,0172
VERMA ET AL.	120	a= 0,292 k= 0,012 g= 0,026	0,993	0,0003	0,0165	50	a= -0,411 k= 0,0098 g= 0,010	0,375	0,016	0,125
	350	a= -0,043 k= 0,016 g= 0,072	0,993	0,0003	0,0160	60	a= -0,187 k= 0,0076 g= 0,0076	0,982	0,0008	0,029
	460	a= -0,0077 k= 0,055 g= 0,098	0,992	0,0003	0,0181	70	a= -0,03 k= -0,0084 g= 0,0102	0,995	0,0003	0,016

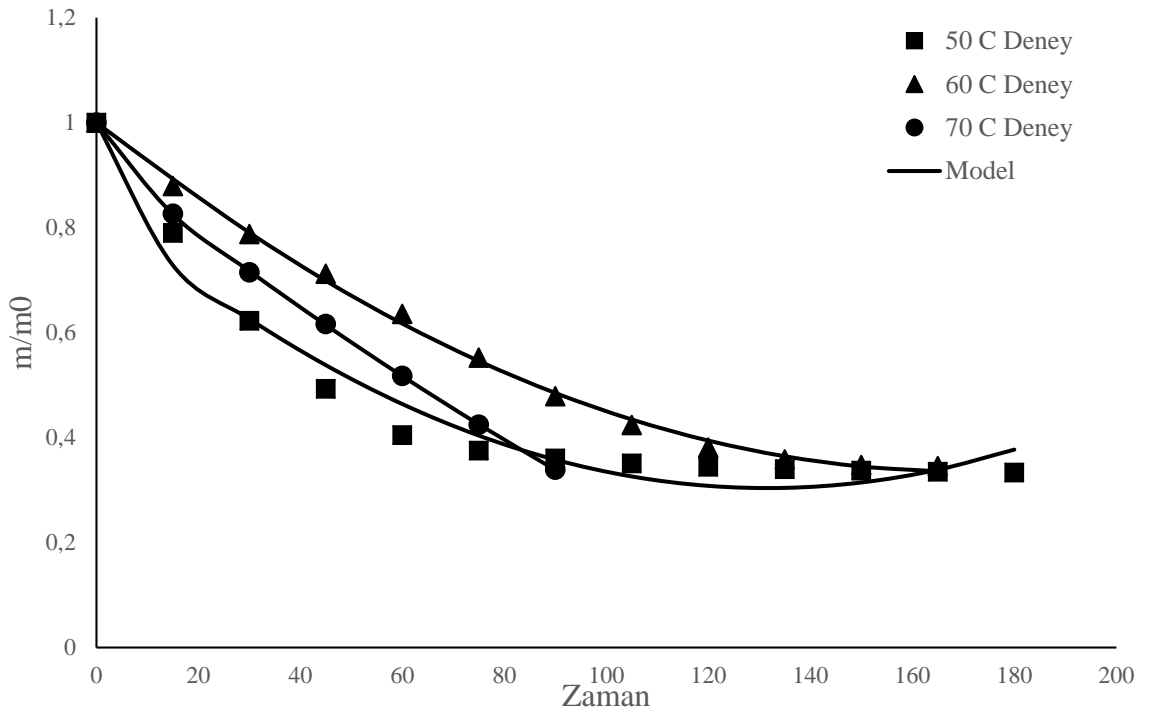
Çizelge 4.21. 90 Dakika Su Banyosu Deneyleri - Matematiksel Modelleme Sonuçları (Devamı)

TWO-TERM EXPONENTIAL	120	a= 11,864 k= 0,00099	0,98	0,0009	0,0301	50	a= -42,054 k= -0,00005	0,64	0,0117	0,108
	350	a= 54,747 k= -0,0008	0,974	0,0012	0,036	60	a= -44,14 k= -0,00008	0,933	0,004	0,064
	460	a= -27,79 k= -0,0021	0,979	0,0009	0,03	70	a= -62,99 k= -0,0001	0,998	0,0003	0,017
MIDILLI ET AL.	120	a= 0,906 k= 0,0007 n= 0 b= -0,0117	0,981	0,0008	0,029	50	a= 0,632 k= -0,00017 n= 0 b= -0,022	0,64	0,0101	0,1008
	350	a= 0,939 k= 0,0034 n= 0 b= -0,045	0,979	0,00089	0,029	60	a= 0,873 k= 0,00022 n= 0 b= -0,0036	0,936	0,0033	0,057
	460	a= 0,93 k= -0,0053 n= 0 b= -0,061	0,983	0,00013	0,0115	70	a= 0,914 k= -0,00004 n= 0 b= -0,0065	0,998	0,00013	0,0115

Çizelge 4.21. 'de kullanılan modeller ile 90 dakika su banyosu uygulanmış sonrasında ise bantlı tip tünel kurutucuda ve mikrodalga kurutucuda çeşitli sıcaklık ve güçlerde kurutulmuş deney numunelerine ait veriler bulunmaktadır. Çizelge 4.21. 'de verilmiş olan sonuçlar değerlendirildiğinde 90 dakika su banyosundan sonra yapılan mikrodalga kurutucu ile kurutma işlemine en uygun matematiksel modellerin Newton, Wang & Singh, Copace, Logarithmic, Henderson & Pabis ve Verma modelleri olduğu anlaşılmıştır. Bantlı tip tünel kurutucu ile kurutma işlemine ise en uygun matematiksel modelin Logarithmic modeli olduğu tespit edilmiştir. Logarithmic model ortak olarak uygun tespit edilmiş olduğundan dolayı sadece Logarithmic modeline ait grafikler çizilmiştir. Mikrodalga kurutucuya ait grafik Şekil 4.81.'de, bantlı tip tünel kurutucuya ait grafik ise Şekil 4.82.'de gösterilmiştir.



Şekil 4.81. 90 Dakika Su Banyosu – Mikrodalga Kurutucuya ait Logarithmic Model Grafiği



Şekil 4.82 90 Dakika Su Banyosu – Bantlı Tip Tünel Kurutucuya ait Logarithmic Model Grafiği

5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Yangına müdahale hortumundan elde edilmiş olan 20 cm. uzunluğundaki numuneler 30, 60 ve 90 dakika boyunca su banyosunda tutulmuş olup ilk ağırlıkları ve son ağırlıkları ölçülmüştür. Kıyaslama yapıldığında ise hortum numunelerinin ağırlık artışlarının yaklaşık olarak %12-%15 arasında olduğu ve suda bırakılma sürelerine göre ağırlık artışının fazla miktarda değişiklik göstermediği anlaşılmıştır. Ancak kuruma işlemi sürelerinin, numunelerin suda bekletme süresi arttıkça azalış gösterdiği görülmüştür.

Hortum numunelerinin su emmeleri sağlandıktan sonra bantlı tip tünel kurutucuda ve mikrodalga kurutucuda kurutulmaları sağlanmıştır. Kuruma işlemlerine, kurutulan numunenin ağırlığı yaş baz olarak belirlenen ağırlığa ulaşana kadar devam edilmiştir (Çelen ve ark., 2015). Kurutma işlemi süresi, mikrodalga kurutucuda uygulanan güç arttıkça azalmıştır. Mikrodalga kurutucuda 120 W gücü uygulandığında, hortum numunesinin kuruması ortalama olarak 59 dakikada, 350 W gücü uygulandığında ortalama olarak 15 dakikada ve 460 W gücü uygulandığında ise ortalama olarak 11 dakikada gerçekleşmiştir. En kısa sürede gerçekleşmiş kuruma işlemi ise, 90 dakika boyunca su emmesi sağlanmış hortum numunesinin 460 W mikrodalga gücüne tabii tutulması ile toplam 10,5 dakikada meydana gelmiştir. Benzer bir durum olarak, Wang ve Xi (2005) yılında yaptıkları havucun kurutulması çalışmasında da mikrodalga gücü arttıkça, kuruma süresinin azaldığı sonucuna ulaşmışlardır.

Bantlı tip tünel kurutucuda gerçekleştirilen deneylerde ise, 50 °C sıcaklık değerinde kurutma işlemi ortalama olarak 215 dakika, 60 °C sıcaklık değerinde ortalama olarak 180 dakika ve 70 °C sıcaklıkta ise ortalama 125 dakika sürmektedir. Bantlı tip tünel kurutucuda ise en kısa sürede gerçekleşmiş olan kurutma deneyi, 90 dakika boyunca su emmesi sağlanmış olan hortum numunesinin 70 °C sıcaklıkta kurutulması olarak anlaşılmıştır. Kuruma işlemi 90 dakikada gerçekleşmiştir. Literatürde yapılan araştırmada, Karthikeyan ve Murugavelh (2018) e ait olan ve zerdeçal kurutulması üzerine yapılan çalışmada da, kuruma süresinin kurutma sıcaklığıyla ters orantılı olduğu belirtilmektedir. Bu sayede deney sonuçları ile kurutma ile alakalı literatür araştırmalarının tutarlı olduğu da anlaşılmaktadır.

Kurutma işleminde tüketilen enerji miktarları değerlendirildiğinde ise mikrodalga kurutucuda en az enerji tüketiminin 0,142 kW olarak, 90 dakika boyunca su emmesi sağlanmış hortum numunesinin 460 W mikrodalga gücünde kurutulmasında meydana geldiği tespit edilmiştir. Bu durum kuruma süresi ile enerji tüketimi miktarının doğru orantılı, mikrodalga

gücüyle ise ters orantılı olmasıyla açıklanabilir. Çelen ve Kahveci, 2013 yılındaki gerçekleştirdikleri domatesin kurutulmasına yönelik çalışmalarında, bu deneyde de gözlenebileceği üzere, kurutma süresindeki azalışa göre değerlendirilme yapıldığında mikrodalga güç seviyesinde gerçekleşen artış ile enerji tüketiminin önemli ölçüde azaldığını belirtmiştir.

Bantlı tip tünel kurutucuda ise, tünel iç sıcaklığının kurutma işleminin gerçekleşeceği sıcaklığa ulaşması süresince de enerji tüketimi ölçülmüştür. Deneye başlamak için gerekli olan tünel iç sıcaklığına ulaşılan kadar ki enerji tüketimi, deneye başlama sıcaklığı arttıkça doğru orantılı olarak artmıştır. İstenen deneye başlama sıcaklığına, tünel iç sıcaklığı ulaştığında ise deneylere başlanmış ve enerji tüketiminin deney süresince kuruma süresi ile doğru orantılı olarak değiştiği anlaşılmıştır. Kuruma sıcaklığı sabit tutulduğunda su emme süresine göre kuruma süresi değişmiştir. Kuruma süresi kısaldıkça, enerji tüketiminin de azaldığı tespit edilmiştir. En az miktarda enerji tüketimi 90 derece su emmesi sağlanmış hortum numunesinin 70 °C sıcaklıkta kurutulması esnasında 3,88 kW olarak ölçülmüştür. Benzer olarak, Song ve ark., (2017) kömür çamurunun kurutulmasına yönelik çalışmalarında, kuruma süresi azaldıkça enerji tüketiminin de azaldığını sonucuna ulaşımlardır.

Mikrodalga kurutucuda ve bantlı tip tünel kurutucuda gerçekleşen kurutma işlemi esnasında hortum numunelerine termal analiz yapılmıştır. Bantlı tip tünel kurutucuda numunenin sıcaklık artışının yavaş ve üniform olduğu ayrıca termal görüntülerde de sıcaklık dağılımının düzenli olduğu gözlenmiştir. Ancak mikrodalga kurutucuda yapılan kurutuma işleminde, numune sıcaklığının güç arttıkça daha hızlı şekilde arttığı ve mikrodalga ışınlarının emilimine göre bölgesel sıcaklık farklarının da oluştuğu tespit edilmiştir. Sonuç olarak mikrodalga ile kurutma işleminin, bantlı tip tünel kurutucuda kurutma işlemine göre termal olarak daha az düzenli olarak anlaşılmıştır. Mikrodalga kurutmada oluşan bu durumun elektromanyetik alandaki düzensizliklerden kaynaklanmış olabileceği Huang ve ark., (2016) yılında yaptıkları havuç küplerinin kurutulması çalışmasında da belirtilmiştir.

Hortum numunelerinin içyapılarında fiziksel değişiklik olup olmadığının anlaşılabilmesi için mikrodalga kurutucu ve bantlı tip tünel kurutucuda kurutulmuş numunelere Taramalı Elektron Mikroskobu (SEM) yardımıyla görüntüleme işlemi yapılmıştır. Hortum numunesinin iç ve dış kısımlarından 2 mm uzunluğunda ve 1 mm genişliğinde parçalar alınmış ve numunenin mikro yapısına ait görüntüler 2000x büyütülerek elde edilmiştir. Herhangi bir işleme tabi tutulmamış hortum numunesi ile her iki cihazda da kurutulmuş hortum numunesine

ait görüntüler kıyaslanmıştır. Mikrodalga kurutucuda kurutma işleminde, güç seviyesi arttıkça sıcaklık ve buhar basıncı artmaktadır. Numunenin dış kısmında iplikli yapısının, iç kısmında da gözenekli yapısının da çıkan buharla ilgili kısmi olarak fazlaştığı gözlenmiştir. Çelen, (2019) Trabzon hurmasının kurutulmasına ilişkin çalışmasında da mikrodalga gücü ile gözenekli yapının doğru orantılı olarak değiştiğini tespit etmiştir. Bantlı tip tünel kurutucuda ise, benzer şekilde numune sıcaklık arttıkça suyun buharlaşma hızı da artmış ve numunenin dış kısmında bulunan iplikli yapı ile iç kısmında bulunan gözenekli yapının da kısmen belirginleştiği anlaşılmıştır. Ancak genel durum değerlendirildiğinde herhangi bir işlem uygulanmamış numune ile mikrodalga kurutucuda veya bantlı tip tünel kurutucuda kurutulmuş numunelerin içyapısında, kurutuculardan herhangi birinin kullanımında olumsuzluk oluşturacak oranda bir değişime rastlanmamıştır.

Herhangi bir işlem uygulanmamış hortum numuneleri ile suda bekletildikten sonra mikrodalga kurutucu veya bantlı tip tünel kurutucu yardımıyla kurutulan hortum numunelerine mukavemet analizi yapılabilmesi için çekme deneyi uygulanmıştır. Çekme kuvvetinin dağılımını değerlendirebilmek için hortum numunelerinden boyuna ve enine parçalar kesilmiştir (Vahapoğlu, 2013). Deneyler sonucunda hortum numunelerinin çekme kuvvetleri ve uzama miktarları değerlendirildiğinde, hiç işlem görmemiş hortum numunesinde eninden kesilen parçalar için çekme kuvvetinin 1485 N ve uzama miktarı %56,7 olarak boyuna kesilen parçalar için ise çekme kuvvetinin 1253 N ve uzama miktarının da %42,4 olduğu tespit edilmiştir.

Mikrodalga kurutucuda kurutulmuş numunelerden enine kesilen parçalar için ortalama çekme kuvveti 1751 N olarak ve ortalama uzama miktarı da % 51,9 olarak, boyuna kesilen parçalarda ise çekme kuvveti ortalama olarak 1529 N ve ortalama uzama miktarı da % 45,7 olarak hesaplanmıştır. Bantlı tip tünel kurutucuda kurutulmuş hortum numunelerinden enine kesilen parçalar için ortalama çekme kuvveti 1774 N ve ortalama uzama miktarı % 54,7 olarak, boyuna kesilen parçalar için ise ortalama çekme kuvveti 1475 N ve ortalama uzama miktarı % 43,5 olarak hesaplanmıştır. Tüm sonuçlar değerlendirildiğinde, mikrodalga ile veya bantlı tip tünel kurutucu yardımıyla yapılan kurutma işleminin hortum numunesinin mukavemetinde belirgin bir değişim yaratmadığı anlaşılmıştır.

Bantlı tip tünel kurutucuda ve mikrodalga kurutucuda kurutulmuş hortum numunelerinin efektif difüzyon katsayısı ve aktivasyon enerjileri de değerlendirilmiştir. Mikrodalga kurutucuda kurutma işlemi için efektif difüzyon katsayıları değerlendirildiğinde

kurutma gücü arttıkça efektif difüzyon katsayısının arttığı anlaşılmıştır. En yüksek efektif difüzyon katsayıları 30, 60 ve 90 dakikalık suda bekleme işlemlerinden sonra 460 Watt mikrodalga gücünde kurutma işleminde elde edilmiştir. Suda bekleme sürelerine göre değerlendirildiğinde 30 dakika için $9,38 \times 10^{-8}$, 60 dakika için $8,96 \times 10^{-8}$ ve 90 dakika için de için $9,31 \times 10^{-8}$ olarak hesaplanmıştır. Bu durum mikrodalga gücünün artması sebebiyle moleküler düzeyde etkileşimin arttığını bu sayede de efektif difüzyon katsayılarının artması ile açıklanabilir. Dadalı ve ark., (2007) ıspanağın mikrodalga ile kurutulması makalelerinde de benzer sonuçlar elde etmişlerdir.

Bantlı tip tünel kurutucuda ise, sıcaklık artışına göre efektif difüzyon katsayısı değişiminin düzenli olmadığı anlaşılmıştır. Bu durumun numunelerin suda bekletme sürelerinden kaynaklı olabileceği düşünülmektedir. Örneğin, 30 dakika ve 90 dakika suda bekleme işlemi uygulandığında en yüksek efektif difüzyon katsayılarının $60 \text{ }^\circ\text{C}$ sıcaklıkta hesaplandığı (30 dakika için $7,65 \times 10^{-9}$ ve 90 dakika için de için $7,2 \times 10^{-9}$), 60 dakika suda bekleme işleminde ise $70 \text{ }^\circ\text{C}$ sıcaklıkta $9,30 \times 10^{-10}$ olarak hesaplandığı görülmektedir. Sonuçlar karşılaştırıldığında, Yılmaz (2015) brokolinin kurutulması konulu çalışmasında da benzer şekilde efektif difüzyon katsayılarının mikrodalga kurutucuda diğer kurutuculara nazaran yüksek olduğu sonucuna varmıştır.

Aktivasyon enerjileri karşılaştırıldığında ise mikrodalga kurutucuda en yüksek aktivasyon enerjisi 60 dakika suda bekleme süresi için 1,9 olarak hesaplanmışken 30 dakika suda bekleme için 1,734 olarak 90 dakika suda bekleme için ise 1,735 olarak hesaplanmıştır. Mikrodalga kurutucu için deney sonuçları literatürde yapılan çalışmalar ile benzerlik göstermektedir. Örneğin, Kutlu ve İşçi (2016) patlıcanın kurutulması konulu çalışmalarında da benzer sonuçlara ulaşmışlardır. Bantlı tip tünel kurutucu için ise yine en yüksek aktivasyon enerjisi 60 dakika suda bekleme için 45,553 olarak hesaplanırken, 30 dakika suda bekleme için 5,093 olarak 90 dakika suda bekleme için ise 32,08 olarak tespit edilmiştir. Mikrodalga ile kurutmanın aksine bantlı tip tünel kurutucuda aktivasyon enerjileri arasında bir düzenlilik saptanamamıştır.

Hortum numunelerine ait deney sonuçları yardımı ile kuruma hızı da değerlendirilmiştir. Kuruma işlemi değerlendirildiğinde, nemin ilk aşamalarda oldukça fazla olmasından numunenin daha fazla enerji emdiği bu sayede de kurutma oranlarının daha yüksek olduğu görülmüştür. Kuruma işlemi devam ettikçe nem azalmış dolayısıyla hızda azalmıştır. Mikrodalga ile kurutma esnasında kuruma hızı eğrilerinde bükülmeler oluşmuşken, bantlı tip

tünel kurutucu da ise kuruma hızı nem değeri azaldıkça düzenli bir azalış göstermiştir. Benzer bir durum, mikrodalga kurutucu için, Wang ve Xi (2005), Moralar ve Çelen (2020) çalışmalarında da tespit edilmiştir.

Mikrodalga kurutucuda ve bantlı tip tünel kurutucuda kurutma işlemi sonrasında hortum numunesine ait verilere göre matematiksel modelleme işlemi de yapılmıştır. Bu sayede deneysel sonuçlar ile modeller arasındaki uyumluluk incelenmiştir. Matematiksel modelleme işlemi için, Approximation of Diffusion, Verma et al., Midilli et al., Wang & Singh, Henderson & Pabis, Newton, Copace, Two Term Exponential ve Logarithmic modellerinden yararlanılmıştır (Karaaslan ve Tunçer, 2009). Su banyosunda 30 dakika bekletilen hortum numuneleri için, mikrodalga kurutucuda kurutma sonrası yapılan deneylere en uygun modellerin Wang & Singh ile Logarithmic modelleri olduğu, bantlı tip tünel kurutucuda kurutulan numuneler için ise Copace ve Logarithmic modelleri olduğu görülmüştür. 60 dakika boyunca suda beklemiş numuneler için ise en uygun modellerin, mikrodalga kurutucu ve bantlı tip tünel kurutucunun her ikisi içinde Wang & Singh, Copace ve Logarithmic modellerinin olduğu anlaşılmıştır. Su banyosunda 90 dakika boyunca bekletilen ve mikrodalga kurutucuda kurutulan numuneler için Newton, Wang & Singh, Copace, Logarithmic, Henderson & Pabis ve Verma et al. Modellerinin, bantlı tip tünel kurutucuda kurutulan numuneler için ise Logarithmic modelinin uygun olduğu gözlenmiştir. Tüm sonuçlar değerlendirildiğinde en uygun modelin Logarithmic olduğu tespit edilmiştir.

KAYNAKLAR

- Ankara Büyükşehir Belediyesi İtfaiye Dairesi Başkanlığı [Ankara İTDB]. (2012). *İtfaiyecinin El Kitabı*. Ankara.
- Akan, A, E. Ve Özkan, D, B. (2019). Ram makinesinde kurutma prosesinin enerji verimliliği analizi. *DÜMF Mühendislik Dergisi*, 10(1), 157-167.
- Akarıslan F (2002) *Tekstil mamul özelliklerinin kurutma etkinliğine etkisi*. (Yüksek Lisans Tezi). Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.
- Askılı Kurutma Dolabı*. Erişim tarihi: 19.2.2020. Erişim adresi: https://www.firepenny.com/Groves_Ready_Rack_PPE_and_Hose_Dryer_p/gvppehd.htm.
- Ayensu, A. (1997). Dehydration of food crops using a solar dryer with convective heat flow. *Solar Energy*, 59(4-6), 121-126.
- Babalık, F, C. ve Çavdar, K. (2012). Makine Elemanlarında Mukavemet Hesabı. *Makine Elemanları ve Konstrüksiyon Örnekleri* (5.Baskı) içinde (33-86). Bursa: Dora Yayınları.
- Baptestini, F, M., Correa, P, C., Almeida, L, F, J., Oliveria, G, H, H. ve Vargas-Elias, G, A. (2016). Constant and decreasing periods of pineapple slices dried by infrared. *Aragia – Revista Brasileira de Ciências Agrarias*, 11(1), 53-59.
- Başkaya Sezer, D. Ve Demirdöven, A. (2015). Meyve sebze işlemede mikrodalga haşlama uygulamaları. *Gıda*, 40(3), 171-177.
- Baysal T (1994) *Bazı sebzelerin kalitesine mikrodalga ve diğer haşlama yöntemlerinin etkileri üzerine çalışmalar*. (Doktora Tezi). Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- Brasiello, A., Adiletta, G., Russo, P., Crescitelli, S., Albanese, D. ve Di Matteo M. (2013). Mathematical modeling of eggplant drying: Shrinkage effect. *Journal of Food Engineering*, 114, 99-105.
- Bursa Büyükşehir Belediyesi İtfaiye Dairesi Başkanlığı [Bursa İTDB]. (2016). *Hizmet İçi Eğitim Ders Kitabı*. Bursa.
- Büyükakıncı, B, Y. (2012). Usage of microwave energy in Turkish textile production sector. *Energy Procedia*, 14, 424 – 431.

- Çakı, T. (2009). Mikrodalganın sanayide kullanımı. 18.03.2020, http://ume.tubitak.gov.tr/meeting/emd/sunular/BMTG_MikrodalganınSanayideKullanimi_TCaki.pdf.
- Çalışkan K (2002) *Mikrodalga enerjisi ile kurutma*. (Yüksek Lisans Tezi). İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Çelen S (2010) *Mikrodalga ve vakum kurutucuda bazı gıda ürünlerinin kurutulması ve modellenmesi*. (Doktora Tezi), Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Edirne.
- Çelen, S., Kahveci, K. ve Akyol, U. (2010). Drying behaviour cultured mushrooms. *Journal of Processing and Preservation*, 34, 27-42.
- Çelen, S., Kahveci, K. ve Akyol, U. (2011). Single layer drying behavior of apple slices in a microwave dryer. *In Defect And Diffusion Forum*, 312-315, 842-847.
- Çelen, S. ve Kahveci, K. (2013). Microwave drying behaviour of tomato slices. *Czech Journal of Food Science*, 31(2), 132–138.
- Çelen, S., Aktaş, T., Karabeyoğlu S, S. ve Akyıldız, A. (2015). Zeytin pirinasının mikrodalga enerjisi kullanılarak kurutulması ve uygun ince tabaka modelinin belirlenmesi. *Tekirdağ Ziraat Fakültesi Dergisi*, 12 (2), 21-31.
- Çelen, S., Buluş, H, N., Moralar, A., Haksever, A. ve Özsoy, E. (2016). Mikrodalga bantlı kurutucunun gıda kurutmada kullanılabilirliği ve modellenmesi. *Tekirdağ Ziraat Fakültesi Dergisi*, 13 (4), 71-83.
- Çelen, S., ve Kuş, S. (2016). Mikrodalga enerjisinin ayva dilimlerinin kurutulmasına etkisi. *Electronic Journal of Vocational Colleges*, December/Aralık, 30-40.
- Çelen, S. (2019). Effect of microwave drying on the drying characteristics, color, microstructure, and thermal properties of Trabzon Persimmon. *Foods*, 8 (84), 1-19.
- Çelen, S. ve Karataşer, M, A,. (2019). Investigation of the performance of a hybrid dryer designed for the food industry. *Foods*, 8 (81), 1-15.
- Çelen, S. ve Moralar, A. (2020). Determination of some drying parameters of carrot dried using microwave method. *El-Cezeri Journal of Science and Engineering*, 7 (1), 31-42.
- Dadali, G., Demirhan, E. ve Özbek, B. (2007). Microwave heat treatment of spinach: drying kinetics and effective moisture diffusivity. *Drying Technology*, 25 (10), 1703-1712.

- Darvishi, H. (2012). Mathematical modelling, moisture diffusion and energy consumption in thin layer drying of alfalfa. *Middle-East Journal of Scientific Research*, 12 (4), 511- 516.
- Decareau, R, A. (1985). Microwaves in the food processing industry. *Academic Press London UK Edition*. 1-3.
- Doymaz, İ. ve Aktaş, C. (2018). Determination of drying and rehydration characteristics of eggplant slices. *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 33(3), 833-841.
- Ekici T (2019) *Evsel atık su arıtma çamurunun kurutma parametrelerinin araştırılması*. (Yüksek Lisans Tezi), Namık Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekirdağ.
- Eltawil, M, A., Mostafa, M., Azam, A. ve Alghannam, O. (2018). Energy analysis of hybrid solar tunnel dryer with PV system and solar collector for drying mint (*Mentha Viridis*). *Journal of Cleaner Production*. 181, 352-364.
- Eren Ö (2005) *Mikroalga kurutucuda maydanozun kurutulmasına yönelik bir çalışma*. (Yüksek Lisans Tezi), Mustafa Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Antakya.
- Eren, Ö., Soysal, Y., Öztekin, S. ve Doğantan, Z, S. (2005). Mikroalga sistemi ile donatılmış bir bantlı kurutucuda maydanoz kurutulması. *Tarımsal Ürünler Kurutma Çalıştayı, Akdeniz Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarım Makineleri Bölümü, Antalya*.
- Galoppi, G., Ferrari, L., Ferrera, G. ve Carnevale, E, A. (2017). Experimental investigation on industrial drying process of cotton yarn bobbins: energy consumption and drying time. *Energy Procedia*, 126(9), 361-368.
- Goyal, R, K., Kingsly A, R, P., Manikantan, M, R. ve Ilyas, S, M. (2007). Mathematical modelling of thin layer drying kinetics of plum in a tunnel dryer. *Journal of Food Engineering*, 79, 176–180.
- Gümüşderelioğlu, M. ve Kaynak, G. (2012). Mikroalgalara ve uygulamaları. *Bilim ve Teknik*, Temmuz 2012, 38-42.
- Güngör, A. (2013). Sebze ve meyve kurutmada kullanılan kurutucular ve kurutma teknolojileri. *11. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi*, 43-63, İzmir.
- Huang, J., Zhang, M., Adhikari, B. ve Yang, Z. (2016). Effect of microwave air spouted drying arranged in two and three-stages on the drying uniformity and quality of dehydrated carrot cubes. *Journal of Food Engineering*, 177, 80-89.

- İstanbul Büyükşehir Belediye Başkanlığı İtfaiye Dairesi Başkanlığı [İstanbul İTDB]. (2014). *Söndürme Ekipmanları*. İstanbul
- İzmir Büyükşehir Belediyesi İtfaiye Dairesi Başkanlığı [İzmir İTDB]. (2015). *Yangın Söndürme Araç Gereç ve Ürün Bilgisi*. İzmir.
- Jafari, H., Kalantari, D. ve Azadbakht, M. (2018). Energy consumption and qualitative evaluation of a continuous band microwave dryer for rice paddy drying. *Energy*, 142, 647-654.
- Karaaslan, S. ve Tunçer, İ, K. (2009). Kırmızıbiberin fan destekli mikrodalga ile kurutulmasında kuruma karakteristiklerinin incelenmesi ve uygun kuruma modelinin belirlenmesi. *Çukurova Üniversitesi Ziraat Fakültesi Tarım Makineleri Bölümü*, Adana.
- Karabacak, A, Ö., Sinir, G, Ö. ve Suna, S. (2015). Mikrodalga ve mikrodalga destekli kurutmanın çeşitli meyve ve sebzelerin kalite parametreleri üzerine etkisi. *U.Ü. Ziraat Fakültesi Dergisi*, 29(2), 125-135.
- Karthikeyan, A, K. ve Murugavelh, S. (2018). Thin layer drying kinetics and exergy analysis of turmeric (*Curcuma longa*) in a mixed mode forced convection solar tunnel dryer. *Renewable Energy*, 128, 305-312.
- Kutlu, N. ve İşçi, A. (2016). Farklı kurutma yöntemlerinin patlıcanın kurutma karakteristikleri üzerine etkisi ve kurutmanın matematiksel modellenmesi. *Akademik Gıda*, 14(1), 21-27.
- Madhiyanon, T., Phila, A. ve Soponronnarit, S. (2009). Models of fluidized bed drying for thin-layer chopped coconut. *Applied Thermal Engineering*, 29, 2849-2854.
- Maskan, M. (2000). Microwave / air and microwave finish drying of banana. *Journal of Food Engineering*, 44, 71-78.
- Mass, J, R. ve Olten, L. (1989). A relationship between color development and moisture content drying roasting of peanut. *Canadian Institute of Food Science and Technology Journal*, 22, 34-39.
- Mengeş, H,O., Ertekin, C. ve Aydın, C. (2005). Elma dilimlerinin konveksiyonla kurumasına uygun kuruma modelinin belirlenmesi. *Tarım Makineleri Bilimi Dergisi*, 1 (3), 229-236.
- Merdan, N., Koçak, D. ve Acar K. (2013). Kenevir liflerinin konvansiyonel ve mikrodalga yöntemine göre maleik anhidrit ile yüzey modifikasyonu. *İstanbul Ticaret Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 11 (22), 71-78.

- Midilli, A., Küçük, H. ve Yapar, Z. (2002). A new model for single layer drying. *Drying Technology*, 20(7), 1503-1513.
- Morad, M, M., El-Shazly, M, A., Wasfy, K, I. ve El-Maghawry A, M. (2017). Thermal analysis and performance evaluation of a solar tunnel greenhouse dryer for drying peppermint plants. *Renewable Energy*, 101, 992-1004.
- Nasıroğlu Ş (2007) *Kırmızıbiber, elma ve pırasanın kurutulmasında infrared kurutma tekniğinin kullanılması*. (Yüksek Lisans Tezi), Çanakkale On sekiz Mart Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Çanakkale.
- Oğulata, T., Kadem, F. ve Koç, E. (1999). Tekstilde kurutma yöntem ve makinaları. 4. *Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi ve Sergisi*, 803-810, İzmir.
- Özsoy E (2015) *Mikrodalga bantlı kurutucuda elma (gala) dilimlerinin kuruma davranışı*. (Yüksek Lisans Tezi), Namık Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekirdağ.
- Ramesh, M, N., Wolf, W., Tevini, D. ve Bognar, A. (2002). Microwave blanching of vegetables. *Journal of Food Science*, 67(1), 390-398.
- SEM Cihazı (Scanning Electron Microscope). (t.y.). Erişim adresi: <https://www.fei.com/products/sem/Quanta-SEM-for-Materials-Science>
- Sharaf-Eldeen, Y, I., Blaisdell, J, L. ve Hamdy, M, Y. (1980). A model for ear of corn drying. *Transactions of ASAE*, 39(5), 1261-1265.
- Sıcak Hava Dolabı*. Erişim tarihi: 20.2.2020. Erişim adresi: <https://www.edarley.com/circular-dual-purpose-dryer.htm>.
- Silaghi, A, M. ve Rohde, U, L. (2009). About some applications of microwave energy. *Journal of Electrical and Electronics Engineering*, 2, 92-95.
- Sobukola, O, P., Dairo, O, U. ve Odunewu, A, V. (2008). Convective hot air drying of blanched yam slices. *International Journal of Food Science and Technology*, 43, 1233-1238.
- Song, Z., Jing, C., Yao, L., Zhao, X., Sun, J., Wang, W., Mao, Y. ve Ma, C. (2017). Coal slime hot air / microwave combined drying characteristics and energy analysis. *Fuel Processing Technology*, 156, 491-499.
- Sousa, L, H, C, D., Motta, C, D. Ve Pereira, N, C. (2006). Analysis of drying kinetics and moisture distribution in convective textile fabric drying. *Drying Technology*, 24, 485-497.

- Soysal, Y. ve Oztekin, S. (2001). Comparison of seven equilibrium moisture content equations for some medicinal and aromatic plants. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 78, 57-63.
- Soysal, Y. (2004). Microwave drying characteristics of parsley. *Biosystems Engineering*, 89 (2), 167-173.
- Soysal, Y., Ayhan, Z., Eştürk, O. ve Arıkan, M, F. (2009). Intermittent microwave–convective drying of red pepper: drying kinetics, physical (colour and texture) and sensory quality. *Biosystems Engineering*, 103 (4), 455-463.
- Standards America. (1992). *ASTM D 412, Standard Test Method for Vulcanized Rubber and Thermoplastic Rubbers and Thermoplastic Elastomer-Tension*. (1992). Philadelphia: Standards America.
- Şahin F (2010) *Domates kurutmada farklı yöntemlerin karşılaştırılması*. (Yüksek Lisans Tezi), Namık Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Tekirdağ.
- Şevik, S., Aktaş, M., Doğan, H. ve Yılmaz, A. (2014). Küçük ölçekli sera tipi bir kurutucuda kırmızıbiber kurutulmasının termoeconomik analizi. *Politeknik Dergisi*, 17 (4), 143-152.
- Traxl, R., Mungenast, D., Schennach, D. ve Lackner, R. (2019). Mechanical performance of textile – reinforced hoses assessed by a truss-based unit cell model. *International Journal of Engineering Science*, 141, 47-66.
- Universal Test Cihazı (t.y.)*. Erişim adresi: <https://www.tiniusolsen.com/tinius-olsen-products/tensile-compression-tinius-olsen>
- Vahapoğlu, V. (2013). Kauçuk mekaniğinde yapılan deneyler. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 19 (1), 33-60.
- Verma, L, R., Bucklin, R, A., Endon, J, B. ve Wratten, F, T. (1985). Effects of drying air parameters on rice drying models. *Transactions of the ASAE*, 85, 296-301.
- Wang, C, Y. ve Singh, R, P. (1978). A single layer drying equation for rough rice. *ASAE Paper* No: 3001, ASAE, St. Joseph, MI.
- Wang, J. ve Xi, Y, S. (2005). Drying characteristics and drying quality of carrot using a two-stage microwave process. *Journal of Food Engineering*, 68 (4), 505-511.
- Yaldız, O., Ertekin, C. ve Uzun, H, I. (2001). Mathematical modelling of thin layer solar drying of sultana grapes. *Energy*, 26, 457-465.

Yıldız, C. ve Sarsılmaz, C. (2001). Taze kayısının döner sütunlu silindirik kurutucuda (dssk) homojen olarak kurutulması. *Mühendis ve Makina Dergisi*, 42 (495), 19-25.

Yılmaz MS (2015) *Brokolinin mikrodalga kurutma karakteristiklerinin belirlenmesi ve modellenmesi*. (Yüksek Lisans Tezi), Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.



ÖZGEÇMİŞ

12 Mart 1992 yılında Tekirdağ'da doğdu. İlk, Orta ve Lise Öğrenimini Tekirdağ'da gerçekleştirdikten sonra 2009 yılında Bursa Uludağ Üniversitesi Makine Mühendisliği bölümüne başlayıp 2014 yılında mezun olmuştur. Mart 2015 tarihinden günümüze Tekirdağ Büyükşehir Belediyesi İtfaiye Dairesi Başkanlığı Eğitim ve Önleme Şube Müdürlüğünde Denetim ve Kontrol Mühendisi olarak çalışmaktadır. Ayrıca Temmuz 2015 tarihinden itibaren yetkili Yangın Tesisat Mühendisidir. Ocak 2018 tarihinde başladığı Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans Eğitimine devam etmektedir.

