

PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**MİKRODALGA-FAN DESTEKLİ KONVEKSİYON ISITMA İLE
KURUTMA**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Sadettin EKİN**

Anabilim Dalı : Makine Eğitimi

Programı : Isı / Enerji

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Mustafa GÖLCÜ

HAZİRAN 2013

YÜKSEK LİSANS TEZ ONAY FORMU

Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü 101501001 nolu öğrencisi **Sadettin EKİN** tarafından hazırlanan “**MİKRODALGA-FAN DESTEKLİ KONVEKSİYON ISITMA İLE KURUTMA**” başlıklı tez tarafımızdan okunmuş, kapsamı ve niteliği açısından bir Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı :
(Jüri Başkanı)

Doç.Dr. Mustafa GÖLCÜ
(PAÜ TEKNOLOJİ FAK.)



Jüri Üyesi :

Yrd.Doç.Dr. M. Fevzi KÖSEOĞLU
(PAÜ MÜHENDİSLİK FAK.)




Jüri Üyesi :

Yrd.Doç.Dr. Gülay YAKAR
(PAÜ MÜHENDİSLİK FAK.)



Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun
10.07.2013 tarih ve ...22.115... sayılı kararıyla onaylanmıştır.


Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü
Prof. Dr. Nuri KOLSUZ

Bu tezin tasarımı, hazırlanması, yürütülmesi, araştırmalarının yapılması ve bulgularının analizlerinde bilimsel etiğe ve akademik kurallara özenle riayet edildiğini; bu çalışmanın doğrudan birincil ürünü olmayan bulguların, verilerin ve materyallerin bilimsel etiğe uygun olarak kaynak gösterildiğini ve alıntı yapılan çalışmalara atfedildiğine beyan ederim.

İmza



Öğrenci Adı Soyadı : Sadettin EKİN

ÖNSÖZ

Yumurta kolilerinin; konveksiyon ısıtma yöntemi ile yapılan kurutma işlemlerinde kömür, doğalgaz vb. doğal enerji kullanılmakta ve sistemin kurulması için oldukça büyük bir alana ihtiyaç duyulmaktadır. Gün geçtikçe doğal enerji kaynaklarının azaldığı günümüzde, konveksiyon ısıtma ile yapılan bu kurutma işlemi uzun zaman almakta ve enerji kayıpları meydana gelmektedir.

Viyolün farklı magnetron çıkış güçleri, farklı bant hızları, farklı fan hızları ve farklı rezistans fırın sıcaklıklarında kurutma çalışmaları yapılmış ve mikrodalga-fan destekli konveksiyon ısıtma ile kurutma deneyleri yapılmış ve bu çalışmada enerji, zaman, maliyet ve makinanın kapladığı alandan tasarruf sağlamak için mikrodalga-fan destekli konveksiyon ısıtma ile yumurta kolisinin kurutulması işlemi yapılmıştır.

Bu çalışmanın gerçekleştirilmesinde ve bilim dünyasına kazandırılmasında her zaman yanımda olan, maddi ve manevi desteğini büyük bir cömertlikle gösteren danışman hocam **Doç. Dr. Mustafa GÖLCÜ**'ye sonsuz teşekkür ederim.

Araştırmanın düzenlenmesi için maddi kaynak sağlayan **Pamukkale Üniversitesi Bilimsel Araştırma Proje (BAP)** birimine ve araştırmanın çeşitli aşamalarında bölüm olanaklarından yararlanmamı sağlayan **Pamukkale Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Dekanlığı**'na, önerileri ile beni akademik camiaya yönlendirip her zaman desteğini veren **Yrd. Doç. Dr. Recep YİĞİT**'e, çalışmalarımın her safhasında yakın ilgi gösteren **Arş. Gör. Mehmet AKÇAY**'a, **Öğr. Gör. Hilmi YAZICI**'ya, **Volkan KALENDER**'e, ilgili arkadaşlarıma ve hayatımın her alanında yanımda olan değerli aileme sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Haziran 2013

Sadettin EKİN

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET.....	xii
SUMMARY.....	xiii
1. GİRİŞ	1
1.1 Tezin Amacı	3
1.2 Literatür Özeti	3
2. KURUTMA YÖNTEMLERİ VE MİKRODALGA	7
2.1. Konveksiyon İle Kurutma	7
2.2. Mikrodalga ve Kurutma Tekniği.....	9
2.3 Mikrodalğanın kurutma performansını etkileyen faktörler	14
2.4 Mikrodalga fırınlar	16
3. MATERYAL VE METOT	19
3.1 Materyal	19
3.1.1 Yumurta kolisi (viyol).....	19
3.1.2 MW fırın	20
3.1.3 Kutulu varyak.....	20
3.1.4 Avometre.....	21
3.1.5 Rezistanslı fırın	21
3.1.6 Alt fan	22
3.1.7 Üst fan (emiş fanı) ve fan motoru	22
3.1.8 Rezistanslı fırın sayacı	23
3.1.9 Anomometre.....	23
3.1.10 Bant redüktörü ve motoru	23
3.1.11 Konveyör bant.....	24
3.1.12 Gergi rulosu.....	25
3.1.13 Pnömatik yön kontrol valfleri	25
3.1.14 Hassas terazi.....	26
3.1.15 Radyasyon ölçüm cihazı	26
3.2 Metot	26
4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....	34
4.1 Mikrodalga İle Viyol Kuruma Eğrileri.....	41
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	61
6. KAYNAKÇA	63

KISALTMALAR

MW	: Microwave
Hz	: Hertz
MHz	: Mega hertz
GHz	: Giga hertz
RF	: Radyo Frekans
UV	: Ultraviyole
m	: Metre
dk	: Dakika
W	: Watt
Rpm	: Rotation Per Minute
kW.h	: Kilowatt saat
max	: Maksimum
min	: Minimum
s	: Saniye

TABLO LİSTESİ

Tablolar

2.1: Suyun dielektrik özellikleri.....	14
3.1: 600W MW Çıkış Gücünde Farklı Bekleme Sürelerinde (5 dk ve 10 dk) Yapılan Nem Kaldırma Deneyleri.....	27
3.2: 800W MW Çıkış Gücünde Farklı Bekleme Sürelerinde (5 dk ve 10 dk) Yapılan Nem Kaldırma Deneyleri.....	27
3.3: 120°C Fırın İç Sıcaklığı, Farklı Sıcak Hava Hızları (1,08, 4,70, 16,07m/s) ve Farklı Bant Hızlarında (0,21, 0,33, 0,49m/dk) Yapılan Nem Kaldırma Deneyleri.....	28
3.4: 140°C Fırın İç Sıcaklığı, Farklı Sıcak Hava Hızları (1,08, 4,70, 16,07m/s) ve Farklı Bant Hızlarında (0,21, 0,33, 0,49m/dk) Yapılan Nem Kaldırma Deneyleri.....	28
3.5: 600W MW Çıkış Gücünde, MW' da 5 dk Bekletme Süresi, Fırın İç Sıcaklığı 120°C, Farklı Sıcak Hava Hızları (1,08, 4,70, 16,07m/s) ve Farklı Bant Hızlarında (0,21, 0,33, 0,49m/dk) Yapılan Nem Kaldırma Deneyleri.....	29
3.6: 600W MW Çıkış Gücünde, MW' da 5 dk Bekletme Süresi, Fırın İç Sıcaklığı 140°C, Farklı Sıcak Hava Hızları (1,08, 4,70, 16,07m/s) ve Farklı Bant Hızlarında (0,21, 0,33, 0,49m/dk) Yapılan Nem Kaldırma Deneyleri.....	29
3.7: 600W MW Çıkış Gücünde, MW'da 10 dk Bekletme Süresi, Fırın İç Sıcaklığı 120°C, Farklı Sıcak Hava Hızları (1,08, 4,70, 16,07m/s) ve Farklı Bant Hızlarında (0,21, 0,33, 0,49m/dk) Yapılan Nem Kaldırma Deneyleri.....	30
3.8: 600W MW Çıkış Gücünde, MW' da 10 dk Bekletme Süresi, Fırın İç Sıcaklığı 140°C, Farklı Sıcak Hava Hızları (1,08, 4,70, 16,07m/s) ve Farklı Bant Hızlarında (0,21, 0,33, 0,49m/dk) Yapılan Nem Kaldırma Deneyleri.....	30
3.9: 800W MW Çıkış Gücünde, MW' da 5 dk Bekletme Süresi, Fırın İç Sıcaklığı 120°C, Farklı Sıcak Hava Hızları (1,08, 4,70, 16,07m/s) ve Farklı Bant Hızlarında (0,21, 0,33, 0,49m/dk) Yapılan Nem Kaldırma Deneyleri.....	31
3.10: 800W MW Çıkış Gücünde, MW'da 5 dk Bekletme Süresi, Fırın İç Sıcaklığı 140°C, Farklı Sıcak Hava Hızları (1,08, 4,70, 16,07m/s) ve Farklı Bant Hızlarında (0,21, 0,33, 0,49m/dk) Yapılan Nem Kaldırma Deneyleri.....	31
3.11: 800W MW Çıkış Gücünde, MW'da 10 dk Bekletme Süresi, Fırın İç Sıcaklığı 120°C, Farklı Sıcak Hava Hızları (1,08, 4,70, 16,07m/s) ve Farklı Bant Hızlarında (0,21, 0,33, 0,49m/dk) Yapılan Nem Kaldırma Deneyleri.....	32
3.12: 800W MW Çıkış Gücünde, MW'da 10 dk Bekletme Süresi, Fırın İç Sıcaklığı 140°C, Farklı Sıcak Hava Hızları (1,08, 4,70, 16,07m/s) ve Farklı Bant Hızlarında (0,21, 0,33, 0,49m/dk) Yapılan Nem Kaldırma Deneyleri.....	32
4.1: 600W MW Çıkış Gücünde Farklı Bekleme Sürelerinde (5 ve 10 dk) Yapılan Nem Kaldırma Deneyleri.....	35
4.2: 800W MW Çıkış Gücü ve MW İçinde Farklı Bekleme Sürelerinde (5 ve 10 dk) Yapılan Nem Kaldırma Deneyleri.....	35

4.3: 120 °C Fırın İç Sıcaklığı, Farklı Sıcak Hava Hızları (1,08-4,70-16,07m/s) ve Farklı Bant Hızlarında (0,21-0,33, 0,49m/dk) Yapılan Nem Kaldırma Deneyleri.....	36
4.4: 140 °C Fırın İç Sıcaklığı, Farklı Sıcak Hava Hızları (1,08-4,70-16,07m/s) ve Farklı Bant Hızlarında (0,21-0,33, 0,49m/dk) Yapılan Nem Kaldırma Deneyleri.....	36
4.5: 600W MW Çıkış Gücünde, MW'da 5 dk Bekletme Süresi, Fırın İç Sıcaklığı 120 °C, Farklı Sıcak Hava Hızları (1,08, 4,70, 16,07m/s) ve Farklı Bant Hızlarında (0,21, 0,33, 0,49m/dk) Yapılan Nem Kaldırma Deneyleri.....	37
4.6: 600W MW Çıkış Gücünde, MW'da 5 dk Bekletme Süresi, Fırın İç Sıcaklığı 140 °C, Farklı Sıcak Hava Hızları (1,08, 4,70, 16,07m/s) ve Farklı Bant Hızlarında (0,21, 0,33, 0,49m/dk) Yapılan Nem Kaldırma Deneyleri.....	37
4.7: 600W MW Çıkış Gücünde, MW'da 10 dk Bekletme Süresi, Fırın İç Sıcaklığı 120 °C, Farklı Sıcak Hava Hızları (1,08, 4,70, 16,07m/s) ve Farklı Bant Hızlarında (0,21, 0,33, 0,49m/dk) Yapılan Nem Kaldırma Deneyleri.....	38
4.8: 600W MW Çıkış Gücünde, MW'da 10 dk Bekletme Süresi, Fırın İç Sıcaklığı 140 °C, Farklı Sıcak Hava Hızları (1,08, 4,70, 16,07m/s) ve Farklı Bant Hızlarında (0,21, 0,33, 0,49m/dk) Yapılan Nem Kaldırma Deneyleri.....	38
4.9: 800W MW Çıkış Gücünde, MW'da 5 dk Bekletme Süresi, Fırın İç Sıcaklığı 120 °C, Farklı Sıcak Hava Hızları (1,08, 4,70, 16,07m/s) ve Farklı Bant Hızlarında (0,21, 0,33, 0,49m/dk) Yapılan Nem Kaldırma Deneyleri.....	39
4.10: 800W MW Çıkış Gücünde, MW'da 5 dk Bekletme Süresi, Fırın İç Sıcaklığı 140 °C, Farklı Sıcak Hava Hızları (1,08, 4,70, 16,07m/s) ve Farklı Bant Hızlarında (0,21, 0,33, 0,49m/dk) Yapılan Nem Kaldırma Deneyleri.....	39
4.11: 800W MW Çıkış Gücünde, MW'da 10 dk Bekletme Süresi, Fırın İç Sıcaklığı 120 °C, Farklı Sıcak Hava Hızları (1,08, 4,70, 16,07m/s) ve Farklı Bant Hızlarında (0,21, 0,33, 0,49m/dk) Yapılan Nem Kaldırma Deneyleri.....	40
4.12: 800W MW Çıkış Gücünde, MW'da 10 dk Bekletme Süresi, Fırın İç Sıcaklığı 140 °C, Farklı Sıcak Hava Hızları (1,08, 4,70, 16,07m/s) ve Farklı Bant Hızlarında (0,21, 0,33, 0,49m/dk) Yapılan Nem Kaldırma Deneyleri.....	40

ŞEKİL LİSTESİ

Şekiller

2.1 : Sanayi ortamındaki yumurta kolisi kurutma sistemi.	9
2.2: Bir MW sisteminin temel üniteleri.	9
2.3: Elektromagnetik dalga spektromu	10
2.4 : Malzemenin Mikrodalga İle Etkileşimi [18].	16
2.5 : Mikrodalga fırın [19].	18
3.1: MW-fan destekli konveksiyon ısıtma sistemi.	19
3.2: Yumurta kolisi (viyol).	20
3.3: Kutulu varyak.	20
3.4: Avometre.	21
3.5: Rezistanslı fırının iç kısmı.	21
3.6: Alt fan.	22
3.7: Üst fan.	22
3.8: Rezistanslı fırın sayacı.	23
3.9: Anometre.	23
3.10: Bant redüktörü ve motoru.	24
3.11: Konveyör bant.	24
3.12: Gergi rulosu.	25
3.13: Pnömatik ve yön kontrol valfleri.	25
3.14: Hassas terazi.	26
3.15: Radyasyon ölçüm cihazı.	26
4.1: Farklı bant ve farklı sıcak hava akış hızlarına göre kaldırılan nem oranının değişimi. (Fırın iç sıcaklığı= 120°C).	41
4.2: Farklı bant ve farklı sıcak hava akış hızlarına göre kaldırılan nem oranının değişimi. (Fırın iç sıcaklığı= 140°C).	42
4.3: Farklı MW gücüne (600, 800W) göre kaldırılan nem oranının MW' da bekleme süresine (5, 10dk) göre değişimi.	42
4.4: Farklı fırın iç sıcaklığı ve hava akış hızlarının 0,21 m/dk sabit bant hızına göre kaldırılan nem oranının değişimi.	43
4.5: Farklı fırın iç sıcaklığı ve sıcak hava hızlarının 0,33 m/dk sabit bant hızına göre kaldırılan nem oranının değişimi.	44
4.6: Farklı fırın iç sıcaklığı ve farklı sıcak hava akış hızlarının 0.49 m/dk sabit bant hızına göre kaldırılan nem oranının değişimi.	44
4.7: Farklı bant hızları ve farklı fırın iç sıcaklıklarına göre kaldırılan nem oranının sabit 1.08m/s fan hızına göre nem oranının değişimi.	45
4.8: Farklı bant hızları ve farklı fırın iç sıcaklıklarına göre kaldırılan nem oranının sabit 4,70 m/s sıcak hava akış hızına göre nem oranının değişimi.	45
4.9: Farklı bant hızları ve farklı fırın iç sıcaklıklarına göre kaldırılan nem oranının sabit 16,07 m/s sıcak hava akış hızına göre nem oranının değişimi.	46
4.10: Farklı bant ve farklı sıcak hava akış hızlarına göre kaldırılan nem oranının değişimi. (MW=600W çıkış gücü, MW bekleme süresi=5 dk, fırın iç sıcaklığı = 120°C)	47

4.11: Farklı bant ve farklı sıcak hava akış hızlarına göre kaldırılan nem oranının değişimi. (MW=600W çıkış gücü, MW' de bekleme süresi=5 dk, fırın iç sıcaklığı= 140°C)	47
4.12: Farklı bant ve farklı hava akış hızlarına göre kaldırılan nem oranının değişimi. (MW=600W çıkış gücü, MW' de bekleme süresi=10 dk, fırın iç sıcaklığı= 120°C)	48
4.13: Farklı bant ve farklı fan hızlarına göre kaldırılan nem oranının değişimi. (MW=600W çıkış gücü, MW' de bekleme süresi=10 dk, fırın iç sıcaklığı= 140°C)	49
4.14: Farklı bant ve hava akış hızlarına göre kaldırılan nem oranının değişimi. (MW=800W çıkış gücü, MW bekleme süresi=5 dk, fırın iç sıcaklığı= 120°C)	49
4.15: Farklı bant ve sıcak hava akış hızlarına göre kaldırılan nem oranının değişimi. (MW=800W çıkış gücü, MW' de bekleme süresi=5 dk, fırın iç sıcaklığı= 140°C)	50
4.16: Farklı bant ve sıcak hava akış hızlarına göre kaldırılan nem oranının değişimi. (MW=800W çıkış gücü, MW' de bekleme süresi=10 dk, fırın iç sıcaklığı= 120°C)	51
4.17: Farklı bant ve sıcak hava akış hızlarına göre kaldırılan nem oranının değişimi. (MW=800W çıkış gücü, MW' de bekleme süresi=10 dk, fırın iç sıcaklığı= 140°C)	51
4.18: Farklı bant hızları ve farklı MW çıkış güçlerine göre kaldırılan nem oranının sabit 1,08m/s sıcak hava akış hızına göre nem oranının değişimi. (Viyolün MW' de bekleme süresi:5 dk, fırın iç sıcaklığı 120°C)	52
4.19: Farklı bant hızları ve farklı MW çıkış güçlerine göre kaldırılan nem oranının sabit 4,70m/s sıcak hava akış hızına göre nem oranının değişimi. (Viyolün MW' de bekleme süresi:5 dk, fırın iç sıcaklığı 120°C)	53
4.20: Farklı bant hızları ve farklı MW çıkış güçlerine göre kaldırılan nem oranının sabit 16,07m/s sıcak hava akış hızına göre nem oranının değişimi. (Viyolün MW' de bekleme süresi:5 dk, fırın iç sıcaklığı 120°C)	53
4.21: Farklı bant hızları ve farklı MW çıkış güçlerine göre kaldırılan nem oranının sabit 1,08m/s hava akış hızına göre nem oranının değişimi. (Viyolün MW' de bekleme süresi:10 dk, fırın iç sıcaklığı 120°C)	54
4.22: Farklı bant hızları ve farklı MW çıkış güçlerine göre kaldırılan nem oranının sabit 4,70m/s sıcak hava akış hızına göre nem oranının değişimi. (Viyolün MW' de bekleme süresi:10 dk, fırın iç sıcaklığı 120°C)	55
4.23: Farklı bant hızları ve farklı MW çıkış güçlerine göre kaldırılan nem oranının sabit 16,07m/s sıcak hava akış hızına göre nem oranının değişimi. (Viyolün MW' de bekleme süresi:10 dk, fırın iç sıcaklığı 120°C)	55
4.24: Farklı bant hızları ve farklı MW çıkış güçlerine göre kaldırılan nem oranının sabit 1,08m/s sıcak hava akış hızına göre nem oranının değişimi. (Viyolün MW' de bekleme süresi:5 dk, fırın iç sıcaklığı 140°C)	56
4.25: Farklı bant hızları ve farklı MW çıkış güçlerine göre kaldırılan nem oranının sabit 4,70m/s sıcak hava akış hızına göre nem oranının değişimi. (Viyolün MW' de bekleme süresi:5 dk, fırın iç sıcaklığı 140°C)	57
4.26: Farklı bant hızları ve farklı MW çıkış güçlerine göre kaldırılan nem oranının sabit 16,07m/s sıcak hava akış hızına göre nem oranının değişimi. (Viyolün MW' de bekleme süresi:5 dk, fırın iç sıcaklığı 140°C)	57
4.27: Farklı bant hızları ve farklı MW çıkış güçlerine göre kaldırılan nem oranının sabit 1,08m/s sıcak hava akış hızına göre nem oranının değişimi. (Viyolün MW' de bekleme süresi:10 dk, fırın iç sıcaklığı 140°C)	58

- 4.28:** Farklı bant hızları ve farklı MW çıkış güçlerine göre kaldırılan nem oranının sabit 4,70m/s sıcak hava akış hızına göre nem oranının değişimi. (Viyolün MW’de bekleme süresi:10 dk, fırın iç sıcaklığı 140°C) 59
- 4.29:** Farklı bant hızları ve farklı MW çıkış güçlerine göre kaldırılan nem oranının sabit 16,07m/s sıcak hava akış hızına göre nem oranının değişimi. (Viyolün MW’de bekleme süresi:10 dk, fırın iç sıcaklığı 140°C) 59

SEMBOL LİSTESİ

λ	Dalga boyu (m)
ϵ'	Dielektrik sabiti (F/m)
ϵ''	Kayıp faktörü
P	Birim hacim başına absorbe edilen güç (W/m ³)
E_m	Elektrik alan şiddetinin yoğunluğu (V/m)
f	Frekans (Hz)
ϵ_0	Boşluğun geçirgenliği (F/m)
S	Özgül ısı (kcal/kg°C)
m	Nem oranı (%)
T	Sıcaklık (°C)
L	Gizli buharlaşma ısısı (kcal/kg)
V_0	Voltaj değeri (volt)
t	Kalınlık (m)
h	Yükseklik (m)

ÖZET

MİKRODALGA-FAN DESTEKLİ KONVEKSİYON ISITMA İLE KURUTMA

Bir çok batı ülkesinde endüstrinin farklı alanlarında, malzemelerin kurutma işlemi mikrodalga ile yapılmasına rağmen, ülkemizde daha çok gıda endüstrisinde uygulanmaktadır. Yapılan çalışmalarda mikrodalga ile yapılan kurutmaların, geleneksel kurutma yöntemlerine göre avantajlı olduğu görülmüştür. Mikrodalga kurutma sistemler ile kağıt, ağaç vb.. malzemeler üzerinde yapılan çalışmalarda olumlu sonuçlar elde edilmiş fakat kullanılan enerji verimi ele alınmamıştır. Mikrodalga sistemlerde ısı, direk malzeme üzerine etki etmekte ve ortamın ısınmasına gerek duyulmamaktadır. Bu yönden geleneksel kurutma yöntemlerine göre uniform ve hızlı olmaktadır. Mikrodalga, suya olan eğiliminden dolayı malzemenin içine nüfuz eder. Hamur halindeki viyolün %75'i su olduğu için, suyu buharlaştırmada mikrodalga olumlu etki etmektedir. Geleneksel kurutmada kullanılan kömür, doğalgaz vb. enerjinin azaldığı günümüzde alternatif enerji kaynağı olmaktadır.

Günümüzde yumurta kolilerinin kurutulma işleminde enerji kaynağı olarak doğal gaz, kömür vb.. kullanılmakta ve sistemin kapladığı alan oldukça fazladır. Zamanla doğru orantılı olarak maliyet artmakta ve doğal kaynaklar gün geçtikçe azalmaktadır. Bu nedenle yumurta kolisi üretimi ve kurutulması için, farklı enerji kaynakları ve daha ekonomik koşulların bulunabilmesi için araştırmalar yapılmaktadır.

Yumurta kolilerinin; konveksiyon ısıtma yöntemi ile yapılan kurutma işlemlerinde sistemin kurulması için oldukça büyük bir alana ihtiyaç vardır. Ayrıca konveksiyon ısıtma ile yapılan kurutma işlemi uzun zaman almaktadır.

Bu çalışmada, enerji, zaman, maliyet ve makinenin kapladığı alandan tasarruf sağlamak için mikrodalga-fan destekli konveksiyon ısıtma ile yumurta kolisinin kurutulması işlemi yapılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Mikrodalga, fan, konveksiyon, kurutma

SUMMARY

DRYING WITH MICROWAVE-FAN-ASSISTED CONVECTION HEATING

In many developed countries, in different areas of the industry, despite materials can be dried with microwave drying process, in Turkey it is applied to the food industry. Studies were found that microwave drying method is more advantageous than the traditional drying methods. Positive results have been obtained in studies used microwave drying equipment on the materials such as paper, wood, but in these studies have not search about energy efficiency. In microwave systems, heat effects on the material directly, and there is no need to overheat. Hence, It is uniform and fast than the traditional drying methods. Microwaves penetrate into the material and has taken effect on water. Microwave penetrates into the material due to have a high tendency for water. Because of being 75% of water molded fiber pulp state, there is a positive effect on water evaporation. While coal and gas, used on conventional drying, are decreasing day by day, the microwave drying is getting to be a source of alternative energy.

Today, the process of drying the egg parcels used natural gas, coal, etc. as an energy source and the covered area is very large. Natural resources is decreasing and cost ncreases day by day. Fort his reason, different energy sources are being investigated in order to find a more economical conditions in terms of both egg production and to dry the parcel.

We need quite a large area to establish the systems the drying processes that is make with the convection heating method. The drying process with convection heating takes also a long time.

In this study, the microwave-fan-assisted convection drying procedures were performed at heating the egg carton in order to save energy, time, cost and space.

Key Words: Microwave, fan, convection, drying

1. GİRİŞ

Doğal enerji kaynaklarının sonuna yaklaşıldığı son zamanlarda, farklı sistemler üzerinde çalışmalar yapmak, farklı yöntem ve teknikler geliştirmek ve sonuç olarak mevcut enerji tüketimini azaltmak enerjinin verimli kullanılması bakımından önemli aşamalardır.

Geleneksel kurutma sistemlerinde tüketilen enerjinin büyük bir oranı doğal enerji kaynaklarından (kömür, doğal gaz vb) temin edilmektedir. Bu sistemlerde, ısı malzemenin dışından içine doğru nüfuz eder, yani ısı transferi dıştan içe doğru olur ve iletim yolu ile gerçekleşir. Bu sebeple kurutma işlemi daha uzun sürmektedir. Enerji maliyetleri yüksek olup, sistemin kapladığı hacim de fazladır.

Mikrodalga (MW) ile kurutmada ise, ısı materyalin içine doğrudan nüfuz ettiği için geleneksel kurutma sistemlerine göre kurutma işlemi daha hızlı olur ve süre daha da kısadır. Geleneksel kurutma işleminin tam tersine ısı transferi içten dışa doğru olur. Dolayısıyla ısıtma etkisinin geleneksel kurutma yöntemlerine göre oldukça hızlı ve uniform olması yanında ısıtma verimi de yüksek olmaktadır. MW kurutma tekniğinin esası; ürün içerisindeki su moleküllerinin polarize edilerek, hızla hareket etmelerini sağlamak ve bu suretle ortaya çıkan moleküllerin sürtünmeyle ısı enerjisini oluşturmaktır. Yani kurutma sırasında doğrudan su molekülleri ısınıp buharlaşmaktadır MW (mikrodalga) kurutma yöntemi belli bir ortam boyunca ısı transferine bağlı olmayıp, bu yöntemde ısı doğrudan malzemenin üzerinde üretildiğinden ısınma malzemenin yüzeyinde değil her noktasında birden başlamaktadır. Kurutma işleminin sadece MW ile yapılması verimli olmayıp, konveksiyon ısıtma sistemi ile desteklenmesi gerekmektedir.

Yumurta kolisinin (viyol) hammaddesi esas itibari ile atık ve iade kağıtlar olup içersine çok küçük miktarlarda alüminyum oksit ve parafin katılarak, su (%75) ile karıştırılmaktadır. Hamur haline getirilen karışım, kalıplarda viyol şeklini aldıktan sonra kurutma işlemi için fırına gönderilmektedir. Viyolün kurutma işlemlerinde geleneksel kurutma sistemleri kullanılmaktadır. Bu sistemlerde ısı, malzemeye

kondüksiyon, konveksiyon ve/veya radyasyon yolu ile geçmektedir. Yani ısı transferi malzemenin yüzeyinden iç kısmına doğru iletilmektedir. Bu yüzden homojen bir kurutma sağlanamamaktadır. Ayrıca ısı transferinden dolayı ısı kayıpları olmakta dolayısıyla istenilen sıcaklığa ulaşmada daha fazla enerji kullanılmaktadır. Meydana gelen ısı kayıplarından dolayı kurutmanın gerçekleşmesinde zorluklar yaşanmakta ve kuruma süresi de uzun olmaktadır.

Çalışma 6 Bölümden oluşmaktadır.

1. Bölüm: Giriş, 2. Bölüm: Kurutma Yöntemleri ve MW, 3. Bölüm: Materyal ve Metot, 4. Bölüm: Deneysel Çalışmalar, 5. Bölüm: Sonuç ve Değerlendirme, 6. Bölüm ise Kaynaklar'dır.

2. Bölüm'de; Kurutma, kurutma çeşitleri, konveksiyon ile kurutma, MW ve kurutma tekniği, MW'nın kurutma performansını etkileyen faktörler ve MW fırınlardan bahsedilmiştir.

3. Bölümde; Viyol hakkında genel bilgi, MW ile kurutmada kullanılan yöntemler, prototip konveyörlü MW-fan destekli deney düzeneği, kullanılan cihazların teknik özellikleri, numunelerin hazırlanması hakkında bilgiler yer almaktadır.

4. Bölümde; otomasyon sistemine sahip prototip konveyörlü MW-fan destekli fırın sistemi üzerinde deneyler yapılmıştır. Sistem üzerinde; 1200W giriş gücü ve 2450 MHz frekansa sahip 1 adet MW fırın kullanılmıştır. Aynı zamanda fan destekli kurutma yapabilmek için maksimum 240°C sıcaklığa çıkabilecek, 140x50x60 cm ebatlarında 1 adet fırın kullanılmıştır. MW fırın farklı çıkış güçlerinde çalıştırılabilmektedir. Aynı zamanda farklı bant ve fan hızlarında ve farklı fırın sıcaklıklarında deneyler yapılmıştır. Sadece MW ile yapılan kurutma modelleri 4 adet, fan destekli konveksiyon kurutma modelleri 18 adet, MW-fan destekli kurutma modelleri ise 72 adet olup, deneylerde toplam 94 adet model oluşturulmuştur.

5. Bölümde ise yapılan deneysel çalışmaların sonuçları hakkında değerlendirmeler yapılmıştır.

6. Bölümde ise yapılan çalışmada yararlanılan kaynaklar listesi verilmiştir.

Bu çalışmada; tasarlanan prototip mikrodalga-fan destekli konveksiyon ısıtma deney düzeneği ile yumurta kolisinin kurutma deneyleri yapılacaktır. MW gücünün, bant

hızının, fırın sıcaklığının ve fan hızının kurutma zamanı ve kurutma kalitesi üzerine etkisi incelenmiştir.

1.1 Tezin Amacı

Yumurta kolilerinin; konveksiyon ısıtma yöntemi ile yapılan kurutma işlemlerinde sistemin kurulması için oldukça büyük bir alana ihtiyaç vardır. Ayrıca konveksiyon ısıtma ile yapılan kurutma işlemi uzun zaman almaktadır. Projede; enerji, zaman, maliyet ve makinanın kapladığı alandan tasarruf sağlamak için mikrodalga-fan destekli konveksiyon ısıtma ile yumurta kolisinin kurutulması işlemi yapılmaktadır.

1.2 Literatür Özeti

Macadamia cinsi fıncığa MW enerjisi kullanılarak yapılan kurutma çalışmasında, kurutma süresi konvensiyonel sıcak havayla kurutmada gereksinim duyulandan (144 saat) daha kısa sürede (4,5–5,5 saat) gerçekleşmiştir. Aynı zamanda, önerilen bir method olan kuruma işlemi süresince MW uygulaması konvensiyonel kurutma işlemleri kullanılarak elde edilen özelliklerle karşılaştırıldığında Macadamia fıncığın doğal özelliklerini korunmasında etkili olduğunu belirtilmiştir [1].

Sarımsak dişlerinin MW ile kurutulmasının incelendiği çalışmada, ayarlanmış MW gücü, hava sıcaklığı ve hava hızının sağlandığı bir laboratuvar tipi MW- konveksiyon kurutucu geliştirilmiştir. Hava sıcaklıkları 40, 50, 60, 70 °C; hava hızları 1,0 ve 2,0 m/s ve MW güç seviyeleri 10, 20, 30, ve 40 W olarak uygulanan kurutma denemelerinde aynı büyüklükte sarımsak dişleri kullanılmıştır. MW konveksiyon kurutma, 1,85 kg su /kg kuru madde olan başlangıç nem içeriğinden 0,06 kg su/kg kuru madde olan güvenilir seviyeye kadar azaltılarak tamamlanmıştır. Kuruma süresi, hava sıcaklıklarının ve MW gücün bütün seviyelerinde hava hızının 1,0 m/s den 2,0 m/s ya artırılmasıyla artmıştır. Kurutma koşullarıyla ilgili belirli enerji tüketim değerleri hesaplanmıştır. Taze ve kurutulmuş sarımsak dişlerinin kalite özellikleri, renk (L*, a*, b* değerleri), tat etki derecesi ve C vitaminine göre değerlendirilmiştir. Yeniden su alma oranı kurutulmuş sarımsak dişlerine göre belirlenmiştir. MW gücünün 40 W, hava sıcaklığının 70 °C ve hava hızının 1,0 m/s olduğu durumlarda iyi kalitede kurutulmuş sarımsak dişlerinin elde edildiği ve kurutma işleminde düşük enerji tüketim değerlerine ulaşıldığı vurgulanmıştır [2].

Pırasa, kırmızı ve yeşilbiber, patlıcan, soğan ve patatesin uygun güç kademesi seçilerek MW ile kurutulması üzerine yapılan çalışma sonucunda MW ile sebzelerin reaksiyona girmesini önleyen düzenlemelerle hiçbir kalite kaybı olmasızın, çok kısa sürede kurutmanın mümkün olduğu sonucuna ulaşmışlardır. Kurutma sonucunda yanık benekleri, renkte solma, tipik koku ve tadın değişmesi gibi olumsuz hiçbir değişim saptanmamıştır. Kurutma yöntemlerini karşılaştırmış ve MW ile kurutma süresi konveksiyonla kurutmaya kıyasla, 1/5 ile 1/12 arasında değişen kısa sürede gerçekleştiğini sonucuna varılmıştır [3].

Mikrodalgalı bantlı kurutucuda baharatlık kırmızıbiberin kurutulması üzerine yapılan çalışmada, MW ile kurutulan biberin, kalitesinin iyileştirildiği, kurutma süresinin kısaldığı ve enerjinin etkin kullanılmasının nedeniyle kurutma maliyetinin düşürüldüğü kanıtlanmıştır. MW teknolojisi ile kurutulan sanayi tipi bantlı kurutucu projelendirilmiştir [4].

Maydanoz kurutulmasının pilot ölçekteki bir konveksiyon MW bantlı kurutucuda yapıldığı çalışmada, kesikli MW ve sıcak hava kombinasyonu ile ürün kurutulmasında uygulanan atım oranlarının kurutucu enerji tüketimi, kuruma süresi ve kurutulan ürün renk kalitesi üzerine etkileri araştırılmıştır. Kurutma denemelerinde infrared ısıtıcılardan elde edilen sıcak hava ve kesikli MW enerjisi birlikte uygulanmıştır. MW enerjisi, kurutucu MW jeneratörlerinin çalışma ve durma sürelerinin özel bir kontrol donanımı ile ayarlanması ile atımlı/kesikli olarak uygulanmıştır. Uygulanan atım oranları (açık,s/kapalı,s)sırasıyla 15/30, 30/30, 45/30 ve 60/30 olacak şekilde ayarlanmıştır. Denemeler sonucunda, atım oranı attıkça aynı bant hızında kurutucu elektrik enerjisi tüketiminin arttığı, buna karşılık kurutulan ürünlerde ulaşılan sonuç nemi ve ürün renk kalitesinin de azaldığı belirtilmiştir. Yapılan çalışmada, ürünün %10 y.b. seviyelerine kadar kurutulması için gerekli süre ve sistemin elektrik enerjisi tüketimi değerleri bakımından en uygun sonucu 0,133 m/dak bant hızında, sıcak hava ve 30 s aktif, 30 s pasif atımlı MW ile kurutma yöntemi verdiği belirtilmiştir. Bu çalışma yöntemi sonucuna göre %10,48 ±3,43 y.b. sonuç nemine kadar ürünün kurutulması için gerekli süre 41 dakika olup, 3,02 kW elektrik enerjisinin harcandığı bildirilmiştir [5].

MW ile kurutma yöntemi ile domatesin kurutulması üzerine yapılan çalışmada, denemeler sonucunda domatesin MW ile diğer kurutma yöntemlerine göre oldukça

kısa sürelerde kuruduğu, renk, koku ve tat gibi özelliklerini kaybetmediği, şekilsel açıdan herhangi bir değişime uğramadığı saptanmıştır [6].

MW sistemini sıcak hava kurutucusuyla kombine şekilde kullanarak köpükle kaplanmış tafting halılarının kurutulmasında sistemin performansını araştırmışlardır. Ön kurutmanın sıcak hava, son kurutmanın da MW sistemi ile yapıldığı bu çalışmada kurutma sonunda üründe kalan nemin daha düzgün dağılım gösterdiği geleneksel sıcak hava kurutucusuna böyle bir MW sisteminin ilave edilmesinin üretimi %20 civarında arttırması nedeniyle yatırım maliyetlerinin 2 yıldan daha az sürede amorti edilebileceği hesaplanmıştır [7].

Kağıdın kurutulmasında konvensiyonel sistem ile MW sisteminin karşılaştırıldığı çalışmada MW ile kurutma sisteminin sermayesinin yüksek olduğu tahmin edilmesine rağmen toplam işletme maliyetleri daha düşük olduğu çıkmıştır. Kağıdın kurutulmasında %15-20 nem oranına MW ile kurutma da daha verimli bir şekilde ulaşılmıştır. Aynı zamanda kağıt makinesinin toplam uzunluğunda %30 azalma olacağı hesaplanmıştır [8].

Kağıdın MW ile kurutulması üzerine yapılan çalışmada kurutma süresince suyun tahliyesi ve yoğunlaşmasını önlemek için daha çok soğuk havaya ihtiyaç olduğu sonucuna varmışlardır [9].

400 ve 700 W gücündeki MW kurutma sisteminde kağıdın fiziksel ve görsel özelliklerinin belirlenmeye çalışıldığı denemelerde silindir ve çevresel hava kurutmalarla karşılaştırıldığı çalışmada MW kurutma sistemi diğer kurutma sistemlerine göre yapısal dayanıklılığını %5-7 kadar artırdığı, yoğunluğun %2-4 arttığı, kopma uzama miktarının aynı yoğunlukta daha fazla olduğu, yırtılma indexlerinin üç yöntemde de değişmediği ve sonuç olarak MW kurutma sisteminin daha iyi kalitede kurutma işlemini gerçekleştirdiğine ulaşılmıştır [10].

Ozonlu su ile yıkanan kırmızı pul biberin mikrodalga enerjisi ile kurutulması üzerine yapılan çalışmada, ev tipi bir mikrodalga fırında Aflatoksinli kırmızı pul biberin, ozonlu suyla yıkamayı temsilen 5 ve 10 dakika sürelerde yıkandıktan sonra mikrodalga ile ürünün kurutulmasında kullanılan mikrodalga uygulama süresinin (mikrodalga jeneratörlerinin açık kalma süresi/mikrodalga jeneratörlerinin kapalı kalma süresi) enerji tüketimi, kuruma süresi, ulaşılan son nem ve ürün renk kalitesi üzerine etkileri araştırılmıştır. Kullanılan mikrodalga uygulama süreleri (açık,

sn/kapalı, sn) sırasıyla sürekli, 30/30, 30/45, 30/60, 45/30, 45/45, 45/60 olacak şekilde ayarlanmıştır. Denemeler sonucunda mikrodalga uygulama süresi artıkça kurutma etkinliği artmış, fakat mikrodalga ünitenin çalışmadığı sürelerin az ya da çok olduğu 30/30, 45/30, 45/60 olan denemelerde enerji tüketimi ve kuruma sürelerinin arttığı gözlemlenmiştir. Denemeler sonucunda 45/45 mikrodalga uygulamasında enerji tüketimi ve kuruma süreleri diğer kombinasyonlara göre daha iyi sonuçlar elde edilmiştir [11].

420 saniye süreyle mikrodalga uygulamasının denendiği uygulamada en iyi sonuç 3x1000 watt güç kullanılarak yapılan denemede elde edilmiştir. Diğer uygulamalarla karşılaştırıldığında toplam küf sayısı ve yüzde nem değerinde en fazla azalma bu uygulamada elde edilmiştir. Mikrodalga ile kurutmanın yüzde nem miktarları yüksek olan fındık numunelerinde yapılacağı göz önünde bulundurularak, kurutmanın etkili bir şekilde gerçekleşeceği düşünülmektedir. 420 saniye gibi kısa bir sürede 100 °C gibi yüksek sıcaklık derecelerine ulaşmak kurutmanın ne kadar kısa zamanlarda yapılabileceğinin kanıtıdır. Böylece mikrodalga ile kurutmada, güneşte kurutmanın aksine daha kaliteli bir ürün eldesi mümkün olacaktır. Bu çalışma sonunda mikrodalga ile daha kontrollü bir kurutma sağlanacağı ve böylece ürünün kalitesinin yükseleceği ve küfler üzerinde eliminasyon etkisinin incelenerek, aflatoksin problemini çözmede ülkemize ışık tutacağı düşünülmektedir [12].

2. KURUTMA YÖNTEMLERİ VE MİKRODALGA

Herhangi bir ürünün sahip olduğu, içinde bulundurduğu nem miktarının belirli amaçlar doğrultusunda ısı vermek sureti ile istenilen seviyeye kadar buharlaştırılması ve üründen uzaklaştırılması işlemine “Kurutma işlemi” denir. Belli bir süreçte ürünün kuruma değerlerine gelmesini sağlayan içinde ısıtma, fan desteği, nem alma vb ünitelerin bütününe “Kurutma sistemi” denir.

Günümüzde kurutma işlemi bir çok sektörde yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu sektörler arasında başta gıda sektörü olmak üzere, tarım ve kimya sektörlerinde, deri sanayinde, silah ve orman ürünleri sanayinde vb birçok alanda kullanılmaktadır. Bahsi geçen bu alanlara kurutma işlemi uygulanarak; ürün kalitesinin iyileştirilmesi yanında, nemden korunması, uzun süre canlılığın korunması, hacim ve ağırlıklarının azaltılması, taşıma, kullanım ve işleme kolaylığı, ürünlerden iyi bir fiyat alınması gibi avantajlar kazandırmaktadır.

Kurutma işleminde kullanılan yöntem, teknik, cihazlar ürünün özelliklerine uygun olması yeterli olmayıp, aynı zamanda kurutma işleminden beklenen özellikleri de sağlayacak kapasitede olması gereklidir. Bu sebeple, birbirinden önemli farklılıklar gösteren çeşitli tiplerde kurutucular geliştirilmiştir. Kurutmada birçok yöntem bulunmaktadır. Güneş enerjisi ile kurutma, kondüksiyon, konveksiyon ve ışıma ile kurutma, endüksiyonlu ısıtma, radyo frekans (RF) ve mikrodalga (MW) ile kurutma, ultraviyole (UV) ve kızılötesi ışınları bu yöntemlerden bazılarıdır.

2.1. Konveksiyon İle Kurutma

Konveksiyon ile kurutma geleneksel bir kurutma işlemi olup; genellikle gaz halindeki bir maddedeki (örneğin havadaki) ısının, bu gazın kurutulacak olan mamule değerek geçmesi sırasında mamule, mamuldeki su buharının da kurutma gazına transferi olarak tanımlanır.

Yumurta kolisinin kurutma işlemlerinde geleneksel kurutma sistemleri kullanılmaktadır. Bu sistemlerde tüketilen enerjinin büyük bir oranı doğal enerji

kaynaklarından (kömür, doğal gaz vb) temin edilmekte olup; ısı, malzemeye kondüksiyon, konveksiyon ve/veya radyasyon yolu ile geçmektedir. Yani ısı transferi malzemenin yüzeyinden iç kısmına doğru iletilmektedir. Bu yüzden homojen bir kurutma sağlanamamaktadır. Ayrıca ısı transferinden dolayı ısı kayıpları olmakta dolayısıyla istenilen sıcaklığa ulaşmada daha fazla enerji kullanılmaktadır. Meydana gelen ısı kayıplarından dolayı kurutmanın gerçekleşmesinde zorluklar yaşanmakta ve kuruma süresi de uzun olmaktadır.

Yumurta kolisinin hamuru kalıplara döküldükten sonra bant üzerinden kurutma fırınına gönderilmektedir. Kurutma fırınının uzunluğu ve yksekligi kapasiteye bağlı olarak değişmekte, fırın genellikle 8 katlı olup bant sistemi serpantin şeklinde dolaşmaktadır. Sanayi tip kurutma sistemi şekil 2.1’de gösterilmiştir [13].

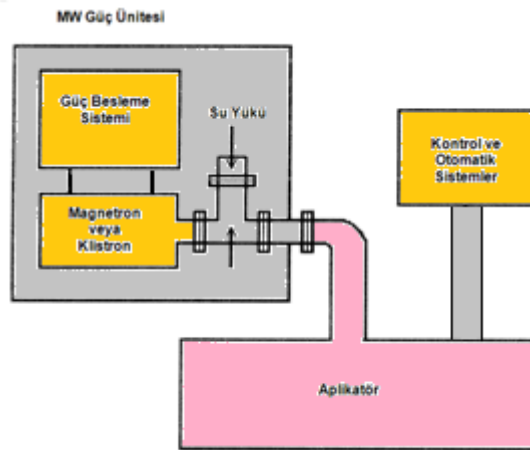
şekil 2.1’de görüleceği üzere bu tip bir fırında kurutma işlemi için daha fazla zamana ve enerjiye ihtiyaç vardır. Yaklaşık olarak bir yumurta kolisinin kurutma işlemi bant hızına göre 12 ile 15 dakika arasında değişmektedir. Ayrıca fırının kapladığı alanın fazla olmasından dolayı işletme içerisinde üretimi zorlaştırmakta dolayısıyla üretim verimi düşük olmaktadır.



Şekil 2.1 : Sanayi ortamındaki yumurta kolisi kurutma sistemi.

2.2.Mikrodalga ve Kurutma Tekniği

Bir MW sisteminin temel üniteleri Şekil 2.2’ de gösterilmiştir.

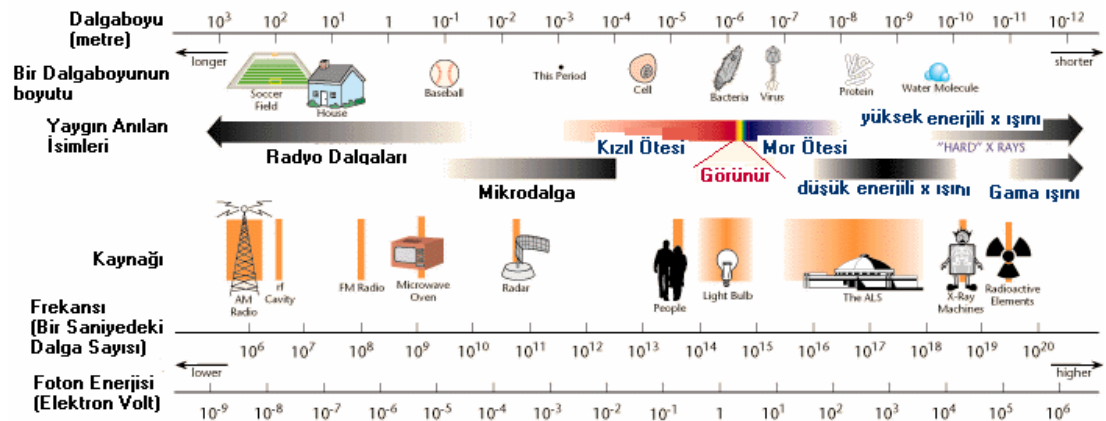


Şekil 2.2: Bir MW sisteminin temel üniteleri.

Şekil 2.2'den görüleceği üzere, sistem genel olarak üç ana bölüme ayrılmıştır. Bunlar güç ünitesi, aplikatör ve kontrol sistemidir. Güç ünitesi; jeneratör (magnetron ya da klistron), jeneratöre güç besleyen yardımcı ünite ve su yükünden oluşmaktadır. Aplikatör malzemeye mikrodalgaların uygulandığı bölümlerdir. Kontrol sistemi ise sistemdeki bazı parametreleri ölçerek ve otomatik ayarlamalar yaparak MW sisteminin performansını geliştiren birimdir.

MW sistemlerinde jeneratör olarak çoğunlukla magnetron tüpleri ve daha az olarak ta klistronlar kullanılmaktadır. Çoğunlukla magnetronların kullanılmasının sebebi yüksek güç çıkışına, yüksek verime, yeterli frekans kararlılığına ve düşük maliyete sahip olmalarındandır. Klistronlar mükemmel frekans kararlılığına sahip olmalarına rağmen magnetronlardan daha pahalı oldukları için fazla kullanılmazlar. Jeneratörlerin soğutma işlemi su veya basınçlı hava ile yapılabilir. Genellikle yüksek güç çıkışına sahip jeneratörlerde sulu soğutma sistemleri, düşük güç üreten jeneratörlerde ise havalı soğutma sistemleri kullanılmaktadır. Aplikatör ile magnetron arasında yer alan su yükü, aplikatörden geriye yansıyan dalgaları absorbe ederek magnetronu korumaktadır.

Mikrodalgalar, sürekli ya da kesikli dalga salınımları yapan, magnetron ve klistron gibi cihazlar tarafından üretilmektedir. Elektromanyetik dalga spektrumu Şekil 2.3'te gösterilmiştir [11].



Şekil 2.3: Elektromanyetik dalga spektrumu

Elektromanyetik dalga spektrumunda mikrodalgalar kızıl ötesi ile radyo frekansları arasındaki bölgede 1 mm'den 1 m dalga boyuna kadar ve 300 MHz-300 GHz frekans aralığında bulunmaktadır. Genel olarak ev tipi MW fırınlarda 2.45 GHz frekans,

endüstriyel proseslerde, laboratuarda ve araştırma projelerinde ise 2.45 GHz ya da 915 MHz frekansları kullanılmaktadır. 2450 MHz frekanslı tipik bir mikrodalga fırın için dalga boyu 12.25 cm iken, 915 MHz frekanslı mikrodalga fırın için dalga boyu ise 32.78 cm olmaktadır.

Mikrodalga ile yapılan kurutma sistemlerinde, mikrodalğanın tek başına kullanılması yeterli olmadığından, mikrodalga ve konvansiyonel ısıtmanın birlikte kullanılması tavsiye edilmektedir. Başta gıda endüstrisi olmak üzere, otomotiv, tekstil, kimya gibi çeşitli kurutma sistemlerine sahip endüstrilerde MW, ürün kalitesini bozmadan kuruma zamanını büyük oranda azaltmaktadır. MW kurutma sistemlerinde, uygun basınç ve sıcaklıkta bulunan materyalin içerisinde ısı; MW enerjiden, termal enerjiye dönüştürülür.

MW kurutma sisteminde kurutma verimliliği, malzemenin bazı fiziksel ve termal özelliklerinin yanı sıra temel olarak malzemenin dielektrik özelliklerine, kullanılan magnetron gücüne ve frekansına, aplikatör boyutları gibi benzeri büyüklüklere bağlı olarak değişmektedir.

Yüksek frekanslı elektrik alanı altındaki bir dielektrik malzemenin davranışını tanımlayan özellik, kompleks geçirgenlik (ϵ^*) olup (1) nolu eşitlik ile gösterilmektedir.

$$\epsilon^* = \epsilon' - j\epsilon'' \quad (1)$$

Bu eşitlikte gerçek kısmı oluşturan ϵ' , malzemenin dielektrik sabitini; sanal kısmını oluşturan ϵ'' ise kayıp faktörünü ifade etmektedir. Burada yer alan j 'nin değeri $(-1)^{1/2}$ 'dir. Dielektrik sabiti, malzemenin enerjiyi ne kadar depolayabileceğini, dielektrik kayıp faktörü ise malzemenin, enerjinin ne kadarını ısıya dönüştürebileceğini göstermektedir.

MW kurutma sisteminde dielektrik malzemenin absorbe ettiği güç miktarı (P), (2) nolu eşitlik ile hesaplanmaktadır.

$$P = 2\pi \cdot f \cdot \epsilon'' \cdot \epsilon_0 \cdot E_m^2 = 55,6 \times 10^{-12} f \cdot \epsilon'' \cdot E_m^2 \quad (2)$$

Burada,

P :Birim hacim başına absorbe edilen gücü (W/m^3),

E_m :Elektrik alan şiddetinin yoğunluğu (V/m),

f :Sistemde kullanılan frekansı (Hz),

ϵ'' :Malzemenin kayıp faktörünü

ϵ_0 :Boşluğun geçirgenliğini (8.85×10^{-12}) (F/m) göstermektedir [14].

(2) nolu denklemden görüleceği üzere MW kurutma sisteminde kayıp faktörünün önemi büyüktür. Malzemenin kayıp faktörü ne kadar büyükse elektromanyetik dalgalar o kadar kolay absorbe edileceğinden kurutma hızlı; kayıp faktörü ne kadar küçükse kurutma o kadar yavaş olmaktadır.

Sistemde kullanılan frekans (f), uniform bir kurutma ve etkin güç kullanımı için önemli olmaktadır. Frekans arttıkça dalga boyu (λ) azalmaktadır. Dalga boyu, mikrodalgaların nüfuz etme derinliğini (D) etkilemektedir. Mikrodalgaların frekans ve dalga boyları arasındaki ilişki,

$$v = f \cdot \lambda \quad (3)$$

ile karakterize edilmiştir. Burada, v ışık hızı (m/sn), f frekansı (Hz), λ ise dalga boyunu (m) göstermektedir.

Mikrodalgaların nüfuz etme derinliği ise aşağıdaki eşitlikle hesaplanmaktadır.

$$D = \frac{\lambda \cdot \sqrt{\epsilon'}}{2\pi \cdot \epsilon''} \quad (4)$$

(4) nolu denklemden görüleceği üzere dalga boyu ne kadar büyükse mikrodalgaların malzemeye nüfuz etme derinliği o kadar artmaktadır.

Aplikatör içerisinde oluşan elektrik alan şiddeti E_m (V/m); magnetronun gücüne dolayısıyla voltaj değerine V_0 (V), malzemenin dielektrik sabitine (ϵ'), malzemenin kalınlığına t (m) ve aplikatör yüksekliğine h (m) bağlıdır. Elektrik alan şiddeti aplikatör yüksekliği ile ters orantılı olarak değişmektedir.

Elektrik alan şiddeti (5) nolu eşitlik ile,

$$E_m = \frac{V_0}{t + \epsilon' \cdot (h - t)} \quad (5)$$

karakterize edilmiştir [15].

Aplikator yüksekliği ne kadar küçükse elektrik alan şiddeti o kadar büyük olmaktadır. Bununla birlikte (2) nolu denklemden de görüleceği üzere elektrik alan şiddetinin büyük olması malzeme tarafından absorbe edilen gücü arttırmaktadır.

Bir malzemenin kurutulması için gereken toplam enerji miktarı ise aşağıdaki eşitlikle hesaplanmaktadır.

$$P_T = \frac{4,2}{60} \left\{ S_d \cdot (T_b - T_0) + \frac{m_1}{100} \cdot S_1 \cdot (T_b - T_0) + \frac{(m_1 - m_2)}{100} L \right\} \quad (6)$$

Burada;

P_T :Kurutma için gereken toplam enerji miktarını (kW/kg dk),

S_d :Kuru malzemenin özgül ısısını (kcal/ kg °C),

S₁ :Malzemedeki sıvının özgül ısısını (kcal/ kg °C),

m₁ :Başlangıç nem oranını (%),

m₂ :Ulaşılmak istenen nem oranını (%),

T₀ :Başlangıç sıcaklığını (°C),

T_b :Sıvının kaynama sıcaklığını (°C)

L :Sıvının gizli buharlaşma ısısını (kcal/kg) göstermektedir [14].

2450 MHz ve 20-25°C deki suyun kayıp faktörü 10, dielektrik sabiti ise 77' dir.

Pozitif ve negatif sıcaklıklarda suyun dielektrik özellikleri Tablo 2.1' de verilmiştir [16].

Tablo 2.1: Suyun dielektrik özellikleri.

Suyun Dielektrik Özellikleri									
Frekans (Hz)		Sıcaklık (°C)							
		-30	-20	-10	0	20-25	40-45	65	85
10 ⁶	ϵ'	-	-	-	87	78.2	71.5	64.8	58
	$\tan\delta$	-	-	-	0.019	0.022	0.059	0.086	0.124
10 ⁷	ϵ'	-	-	-	87	78.2	71	64	58
	$\tan\delta$	-	-	-	0.002	0.004	0.005	0.009	0.0125
10 ⁸	ϵ'	-	-	-	87	78	71	64	58
	$\tan\delta$	-	-	-	0.007	0.005	0.004	0.0035	0.003
10 ⁹	ϵ'	-	-	-	86	77	71	64	57
	$\tan\delta$	-	-	-	0.102	0.06	0.034	0.025	0.019
2,4x10 ⁹	ϵ'	49	69	79	82	77	71	64	57
	$\tan\delta$	0.92	0.62	0.40	0.25	0.13	0.09	0.06	0.04
5,8x10 ⁹	ϵ'	21	37	54	65	68	66	62	55
	$\tan\delta$	1.62	1.2	0.80	0.59	0.31	0.22	0.17	0.13
10 ¹⁰	ϵ'	10.6	17.6	29	38	55	59	59	54
	$\tan\delta$	2.03	1.75	1.33	1.03	0.54	0.40	0.32	0.26
3x10 ¹⁰	ϵ'	6.1	7.0	8.9	12.3	23.2	35.6	-	-
	$\tan\delta$	1.2	1.66	1.89	1.84	1.37	0.94	-	-

2.3 Mikrodalganın kurutma performansını etkileyen faktörler

MW sistemi ile yapılan kurutma işlemlerinde pek çok faktör malzemenin kurutma performansını etkilemektedir. Bu faktörler;

Frekans: Elektromanyetik dalganın, malzemeye nüfuz etme miktarı dalganın frekansına ve malzemenin dielektrik özelliklerine bağlıdır. Elektromanyetik dalganın dalga boyu arttıkça yani frekansı azaldıkça elektromanyetik dalganın malzemeye penetrasyon miktarı artmaktadır. Örneğin 2450 MHz deki mikrodalgalar saf suya 2.3 cm girerken 915 MHz deki mikrodalgalar saf suya 20 cm ye kadar girmektedir. Malzemenin dengeli bir şekilde ısıtılabilmesi için, büyüklüğüne göre frekans seçimi oldukça önemlidir. Ayrıca frekansa göre dielektrik kayıp faktörü de değiştiği için frekans malzemenin ısınma performansını da direkt etkilemektedir.

MW Gücü: Endüstride kullanılan birçok MW sistemi 5-100 kW arasında değişen magnetron gücünde çalışmaktadır. Sistemin gücü arttıkça, aynı miktardaki kütleyi kurutma hızı da artmaktadır.

Sıcaklık: Sıcaklık, malzemelerin dielektrik özelliklerine etki etmektedir. Dielektrik kaybı malzemeye bağlı olarak sıcaklık ile birlikte artabilmekte veya azalabilmektedir. MW ile kurutulan malzemenin başlangıç sıcaklığı kontrol edilmeli

veya bilinmelidir. Böylece mikrodalganın gücü homojen bir son sıcaklık elde etmek için ayarlanabilmektedir. Malzemelerin başlangıç sıcaklığı ne kadar yüksek ise MW ile kurutmaları o kadar hızlıdır.

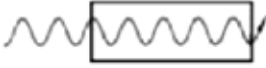
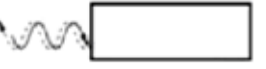
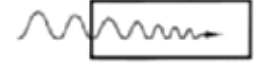

Su İçeriği: Su, MW enerjisinin malzemeler tarafından absorbe edilmesinde önemli bir etkidir. Malzeme içerisinde bulunan su moleküllerinin fazla olması, polarize olacak içerik miktarının artması anlamına gelmekte; diğer bir ifade ile o malzemenin dielektrik kayıp faktörünün büyümesi olarak sonuçlanmaktadır. Dolayısıyla malzeme daha iyi ısınacaktır.

Yoğunluk: Malzemenin yoğunluğu dielektrik sabitini etkilemektedir. Havanın dielektrik sabiti birdir ve endüstride ısıtma için kullanılan frekanslarda tamamen geçirendir. Bu yüzden malzemenin yapısında bulunan hava miktarı arttıkça, o malzemenin dielektrik sabiti düşmektedir. Bununla birlikte; materyalin yoğunluğu arttıkça, dielektrik sabiti de genellikle doğrusal olarak artmaktadır.

Fiziksel Geometri: MW ile kurutulacak malzemenin boyutu, uygulanan elektromanyetik dalga boyuna veya penetrasyon derinliğine göre fazla ise homojen bir ısıtma yapılamamaktadır. Ayrıca malzemenin şekli ne kadar düzgün olursa malzeme o derece homojen ısınacaktır. Keskin köşe ve kenarlar daha fazla ısınacağı için bunların aşırı ısınmasından kaçınmak gerekmektedir. Mikrodalgalar malzemeye her taraftan nüfuz ettikleri için malzemenin şekli MW ile ısıtmada önemli bir etkiye sahiptir. MW ile ısıtma için ideal şekil küredir. Küreden sonra en iyi şekil silindirdir.

Dielektrik Özellikler: Malzemelerin dielektrik özellikleri MW ile ısıtılmaları sırasında oldukça önemli bir etken olup, malzemenin dielektrik sabiti (ϵ') ve kayıp faktörünü (ϵ'') ifade etmektedir. MW kurutma sisteminde kayıp faktörünün önemi büyüktür. Dielektrik sabiti, malzemenin enerjinin ne kadarını depolayabileceğini, dielektrik kayıp faktörü ise malzemenin enerjinin ne kadarını ısıya dönüştürebileceğini göstermektedir. Malzemenin kayıp faktörü ne kadar büyükse elektromanyetik dalgalar o kadar kolay absorbe edileceğinden kurutma hızlı; kayıp faktörü ne kadar küçükse kurutma o kadar yavaş olmaktadır [17].

Malzemenin mikrodalga ile etkileşimi Şekil 2.4'de gösterilmiştir.

	Malzeme tipi	Mikrodalga'nın nüfuz etmesi
	Geçirimli (düşük dielektrik kaybı)	Toplam geçirim
	Saydam olmayan (kondüktör, metaller)	Yok, (yansımaya olmuş)
	Absorbe edilme (kayıpsız elektrik)	Kısmen toplam geçirim
	Absorbe edilme (karıştırılmış)	Kısmen toplam geçirim

Şekil 2.4 : Malzemenin Mikrodalga İle Etkileşimi [18].

2.4 Mikrodalga fırınlar

Mikrodalga fırınlar elektrik enerjisiyle çalışır ve elektrik enerjisini mikrodalga enerjisine dönüştürür. Bu mikrodalgalar, dalga kılavuzu vasıtasıyla fırının içine ulaşırlar. Mikrodalgaların bazı karakteristik özellikleri aşağıda verilmiştir.

- ✓ Mikrodalgalar; cam, porselen, kağıt ve plastik gibi çoğu maddelerin içinden geçebilirler.
- ✓ Mikrodalgalar, duvara çarpan bir topun geri dönmesi gibi, metallere yansıyor geri dönerler.
- ✓ Mikrodalgalar maddelerin içine nüfuz ederler ve özellikle yiyecekler tarafından emilirler.

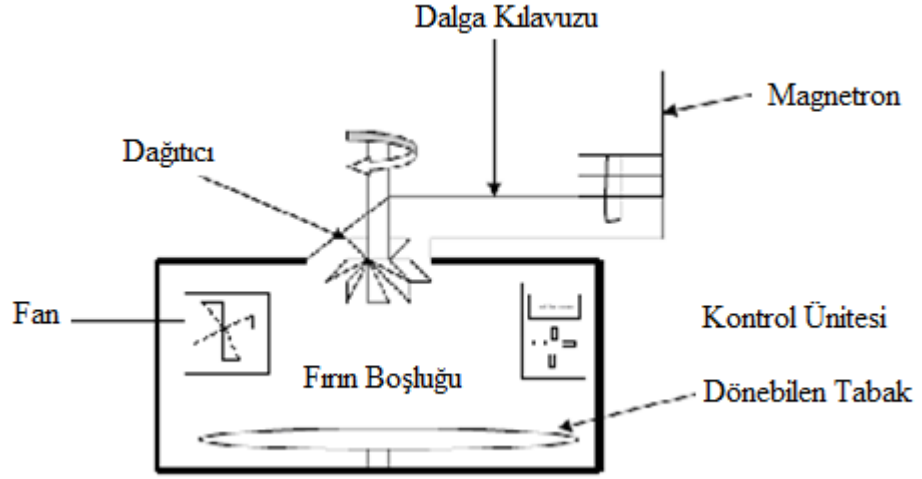
Saniyede 2,45 milyar kez titreşen mikrodalgalar yiyeceğin içine girdiklerinde, su moleküllerinde bir titreşim oluştururlar. Su molekülleri bir ileri bir geri saniyede 4,9 milyar kez titreşirler. Bu yüksek hızdaki titreşmeden dolayı birbirine sürtünen su molekülleri ısı enerjisini açığa çıkarırlar. Bu ısıyla ise yiyecek pişmiş olur. İçinde daha fazla su molekülü olan yiyecekler daha hızlı pişerler. Mikrodalga ile pişirme, geleneksel pişirme yöntemlerinden hem daha hızlıdır hem de pişirme sürecinde yalnızca besin pişer, fırın ve ortam ısınmaz. Su, mikrodalga enerjisinin gıdalar tarafından absorbe edilmesinde önemli bir etkidir. Gıda içerisinde bulunan su moleküllerinin fazla olması, polarize olacak içerik miktarının artması anlamına gelmekte; diğer bir ifade ile o gıdanın dielektrik kayıp faktörünün büyümesi olarak sonuçlanmaktadır. Dolayısıyla gıda daha iyi ısınacaktır.

Mikrodalga fırınlar prensipte diğer fırınlardan ayrılmaktadır. Normal fırınlarda ısı, gıdaya dışarıdan içeriğe doğru iletilmekte ve bu da uzun zaman almaktadır. Örneğin fırından yeni çıkmış ekmeğin kabuk kısmının sıcaklığı 230°C iken, ekmeğin sıcaklığı 100°C'yi geçmemektedir. Mikrodalga fırınlarda ise, ışın doğrudan gıdanın içerisine verilmektedir [19].

Mikrodalga, fırın içerisindeki magnetronun (vakum tüpü) üretilir. Magnetron 60 Hz'lik elektrik enerjisini mikrodalgaya dönüştürerek, üretilen mikrodalgalar foton diye isimlendirilen ışın tanecikleri halinde yayılır. Bu fotonların enerji düzeyleri düşüktür. Polar moleküller, su gibi artı ve eksi yüklü uçları olan moleküllerdir. Besinlerin içerisindeki su molekülleri, üretilen mikrodalgalar sayesinde fotonların enerjisini soğurarak artı ve eksi uçları arasında titreşirler.

Titreşmeler sayesinde, etrafında bulunan sürtünmeden oluşan sürtünmeden dolayı ısı açığa çıkar ve besinlerin pişmesini sağlar. Besinlerin içerisindeki su molekülleri arttıkça pişme çabuk gerçekleşir. Mikrodalga ile pişirme yöntemlerinde fırın ve ortamın ısınması için enerji ve zaman harcanmadığından, geleneksel pişirme yöntemlerine göre hem daha ekonomiktir hem de daha hızlıdır. Mikrodalga fırınlarda kullanılan elektrik enerjisinin %50'sini, konvansiyonel fırınlarda ise %10'lara yakını besinlerin pişmesi için kullanılmaktadır.

Mikrodalga fırın Şekil 2.5'te gösterilmiştir. Şekil 2.5'den görüleceği üzere; bir MW fırın, mikrodalga üreten bir magnetron, üretilen mikrodalganın fırın içinde yayılmasını sağlayan bir dalga yayıcı ve fırın boşluğundan oluşur. Yayılan mikrodalganın fırın içinde düzgün dağılımını sağlamak için ya döner tabla ya da dalga yayıcıdan hemen sonra yerleştirilen bir pervane kullanılır. Ayrıca ısınan besinin yaydığı sıcaklık sonucu ısınan havanın fırın içinde birikmesini önlemek için bir havalandırma sistemi bulunur [19].



Şekil 2.5 : Mikrodalga fırın [19].

Mikrodalga fırınların birçoğu, programlanabilir tiptedirler. Böylece tütün enerji düzeyi farklı durumlarda değiştirilip kullanılmaktadırlar. Mikrodalgadaki tüp, kesikli olarak çalıştırılabilmekte ve kesinti süreleri programlanıp, fırının içerisindeki nem düzeyine göre magnetron tüpü devreye girip çıkmaktadır.

3.MATERYAL VE METOT

Bu çalışmada, 3400x1500x600 mm boyutlarında MW-fan destekli konveksiyon ısıtma sistemi, konveyör bantlı sistem ile birlikte çalışabilecek şekilde tasarlanmıştır. Bu bantlı sistem ve sistemi kontrol eden kontrol panosu Şekil 3.1’de sistem gösterilmiştir.

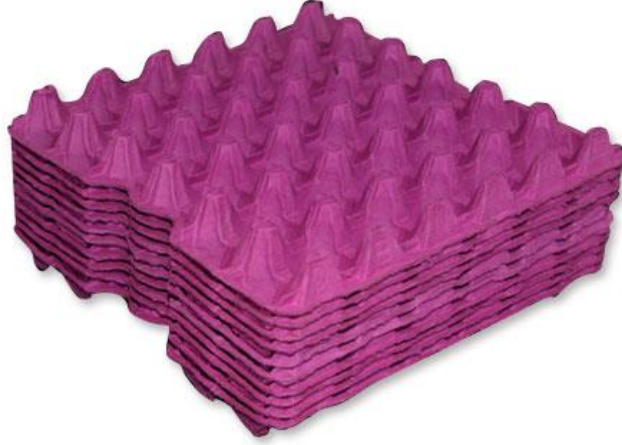


Şekil 3.1: MW-fan destekli konveksiyon ısıtma sistemi.

3.1 Materyal

3.1.1 Yumurta kolisi (viyol)

Yumurta viyölü; 310x310x50 mm ebatlarında olup, hammaddesi esas itibari ile kağıt ve içersine çok küçük miktarlarda alüminyum oksit ve parafin katılarak, su (%75) ile karıştırılmaktadır. Hamur haline getirilen karışım kalıplarda yumurta kolisi şeklini aldıktan sonra kurutma işlemi için fırına gönderilmektedir. Kurutulmak istenen yumurta kolisi hamuru polar bir madde olan su içermektedir. Hamur halindeki viyölün ağırlığı 290 g’ dır. Kurutma işleminden sonraki ortalama ağırlığınının 73 g, nem oranının ise yaklaşık %6 olması gerekmektedir. Şekil 3.2’de yumurta kolisi (viyol) resmi gösterilmiştir.



Şekil 3.2: Yumurta kolisi (viyol).

3.1.2 MW fırın

Sistemde 2450 MHz frekans ve 1200W giriş gücüne sahip MW fırın kullanılmıştır. Model No: MD 1510S

3.1.3 Kutulu varyak

Avometre ile beraber kullanılmış olup, üzerinde çalışılacak MW'nın parametresinin belirlenmesinde VARSAN marka, %100 kademesiz ayarlı Transformatör kullanılmıştır. Deneylede kullanılan kutulu varyak Şekil 3.3'te gösterilmiştir.



Şekil 3.3: Kutulu varyak.

3.1.4 Avometre

Akım (amper), gerilim (volt) ve direnci (ohm) ölçebilen MASTECH marka avometre kullanılmıştır. Kullanılan avometre Şekil 3.4'te gösterilmiştir.



Şekil 3.4: Avometre.

3.1.5 Rezistanslı fırın

1400x500x600 mm ölçülerinde iç bölüm paslanmaz, dış kısım Dkp elektrostatik boyalı malzemeden imal edilmiş, 10 kW.h gücünde fırın kullanılmıştır. Fırın sıcaklığı kontrol paneli üzerinden ayarlanabilmektedir. Fırının iç kısmı Şekil 3.5'te gösterilmiştir.



Şekil 3.5: Rezistanslı fırının iç kısmı.

3.1.6 Alt fan

Fırın içinde ısıtma esnasında viyol üzerinden kaldırılan nemi dışarı atmak için 125W gücünde, 2600 d/d da çalışan 350 m³/h kapasiteli fan kullanılmıştır. Kontrol paneli üzerinden kontrolü sağlanmaktadır. Şekil 3.6’te alt fanın resmi gösterilmiştir.

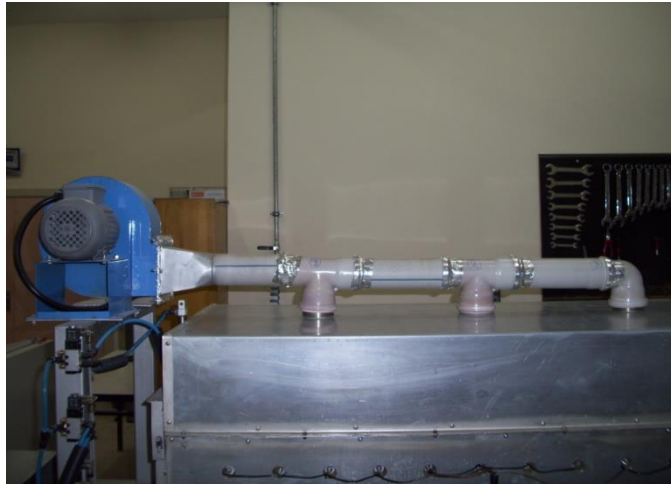


Şekil 3.6: Alt fan.

3.1.7 Üst fan (emiş fanı) ve fan motoru

Fırının dışında ve üst kısmında olup, borular vasıtası ile sıcak hava akışının viyol üzerine belirli hızlarda aktarılmasını sağlar.

0.37kW, 1800m³/h, 50Hz, 2800d/d ve bunların çektiği havayı fırına vermek üzere 70 mm çapında plastik borular kullanılmıştır. Şekil 3.7’de üst fanın resmi gösterilmiştir.



Şekil 3.7: Üst fan.

3.1.8 Rezistanslı fırın sayacı

Fırının çektiği gücü ölçmek için Elektromed marka, EC15ATBW model sayacı kullanılmıştır.Şekil 3.8’de üst fanın resmi gösterilmiştir.



Şekil 3.8: Rezistanslı fırın sayacı.

3.1.9 Anomometre

Üst fanın fırın içine gönderdiği hava hızını ölçmek için 0.01m/s hassasiyetinde 0.6-40 m/s ölçüm aralığında Testo AG model anomometre kullanılmıştır. Şekil 3.9’de kullanılan anomometre gösterilmiştir.

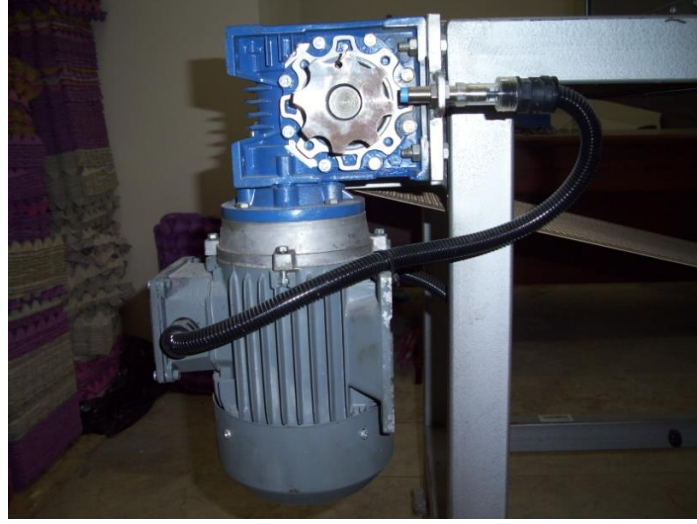


Şekil 3.9: Anomometre.

3.1.10 Bant redüktörü ve motoru

Üzerindeki pulse yardımıyla sistem üzerindeki kapıların otomasyonda belirtilen zaman aralıklarında açılıp kapanmasını sağlamak ve sistem üzerindeki konveyör banta hareket vermek için EN05000B08 tip, 100430294 seri nolu, VG320sentetik ve

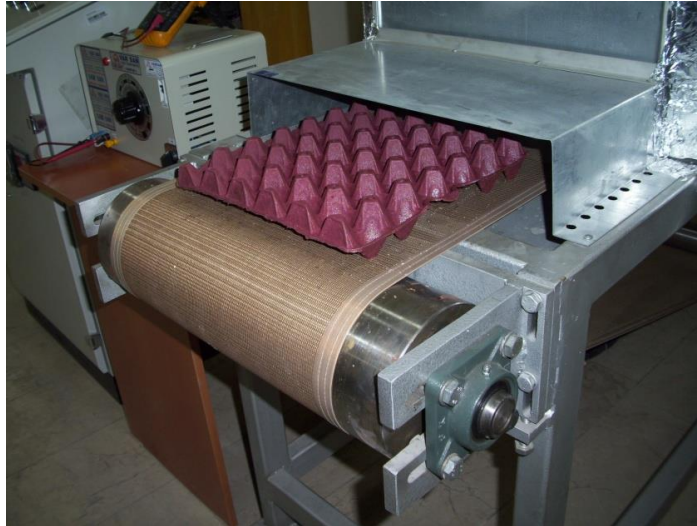
0.15 lt yağ kapasiteli redüktör ve CAMAK 2911408253 tip, AGM 80 4b model 1kW, 380V, 0.75kW gücünde, 100d/d çıkış hız kontrollü redüktör motoru kullanılmıştır. Şekil 3.10’da bant redüktörü ve motoru verilmiştir.



Şekil 3.10: Bant redüktörü ve motoru.

3.1.11 Konveyör bant

Viyolün sistem içerisinde hareketini sağlamak için 240°C ye kadar dayanabilen teflonlu konveyör bant kullanılmıştır. Kontrol panelindeki otomasyondan dijital olarak hız ayarı yapılabilme özelliği bulunmaktadır. Şekil 3.11’ de konveyör bant gösterilmiştir.



Şekil 3.11: Konveyör bant.

3.1.12 Gergi rulosu

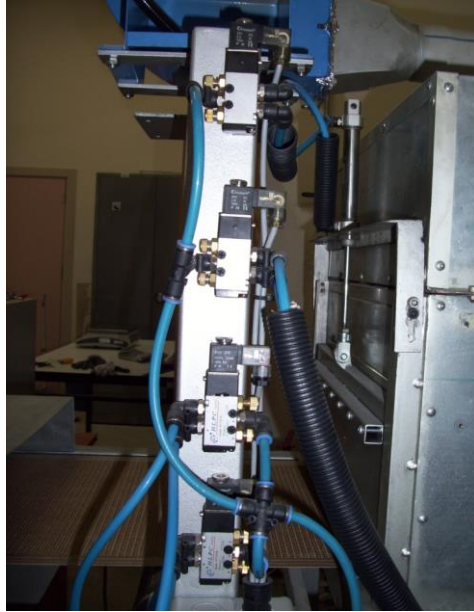
Konveyör bantı gergin tutmak için kullanılmıştır. Bant gerdirildikten sonra uygun anahtar ile cıvataları sıkılarak sabitlenir. Sistem üzerinde altlı üstlü olup, 450 mm uzunluğunda ve metaldirler. Şekil 3.12’de gergi rulosu gösterilmiştir.



Şekil 3.12: Gergi rulosu.

3.1.13 Pnömatik yön kontrol valfleri

Sisteme gelen havayı kapılara dağıtmak için hortumlara dağıtan 4 adet HLPC Valve tip, 4V110-06 model, 0.15-0.8 MPa basınca sahip pnömatik yön kontrol valfleri kullanılmıştır. Şekil 3.13’de pnömatik ve yön kontrol valfleri gösterilmektedir.



Şekil 3.13: Pnömatik ve yön kontrol valfleri.

3.1.14 Hassas terazi

Çalışmada kullanılan viyollerin ölçümü için DİKOMSAN marka, JS-30BM model, 30 kg kapasiteli hassas terazi kullanılmıştır. Şekil 3.14' te hassas terazi gösterilmiştir.



Şekil 3.14: Hassas terazi.

3.1.15 Radyasyon ölçüm cihazı

MW çalışması esnasında oluşabilecek radyasyon sızıntısını tespit etmek için TROTEC BR15 model cihaz kullanılmıştır. Şekil 3.14'te radyasyon ölçüm cihazı gösterilmiştir.



Şekil 3.15: Radyasyon ölçüm cihazı.

3.2 Metot

Deneyler Pamukkale Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Makine Eğitimi Bölümü Isı/Enerji laboratuvarında gerçekleştirilmiştir. Yumurta viyolleri suda bekletilerek

ortalama olarak 290 g olması sağlanmıştır. İyice içine suyu çekmiş hamur halindeki yumurta kolisi fırına girmeden önce hassas terazide tartılmış, ortalama 290 g ağırlıkta olması sağlanmış ve daha sonra bant üzerine yerleştirilerek fırına gönderilmiştir. Fırının üzerindeki hava emiş fanı, havayı istenen akış hızında ve üstten, fırın içindeki sıcak rezistanslara çarptırıp havayı ısıtarak viyolün üzerine üflenmesi sağlanmıştır. Tasarlanan prototip MW-fan destekli konveksiyon ile kurutma deney düzeneği ile yumurta kolisinin kurutma işlemi farklı bant hızlarında (0,21, 0,33 ve 0,49 m/dk) ve farklı sıcak hava akış hızında (1,08, 4,70, 16,07m/s) gerçekleştirilmiştir. Kurutma işlemi 3 farklı tipte yapılmıştır.

1) Farklı magnetron çıkış güçlerinde MW ile kurutma

a. 600W MW çıkış gücünde, farklı bekleme sürelerinde (5 dk ve 10 dk) yapılan nem kaldırma deneyleri (Tablo 3.1)

Tablo 3.1: 600W MW Çıkış Gücünde Farklı Bekleme Sürelerinde (5 dk ve 10 dk) Yapılan Nem Kaldırma Deneyleri.

Deney no	MW Çıkış Gücü (W)	MW'de Bekleme Süresi (dk)	Kurutma Öncesi Viyol ilk ağırlığı (g)	Kurutma Öncesi Viyol Islak Ağırlığı (g)
1	600	5	73	290
2	600	10	73	290

b. 800W MW çıkış gücünde farklı bekleme sürelerinde (5 dk ve 10 dk) yapılan nem kaldırma deneyleri (Tablo 3.2)

Tablo 3.2: 800W MW Çıkış Gücünde Farklı Bekleme Sürelerinde (5 dk ve 10 dk) Yapılan Nem Kaldırma Deneyleri.

Deney no	MW Çıkış Gücü (W)	MW'de Bekleme Süresi (dk)	Kurutma Öncesi Viyol ilk ağırlığı (g)	Kurutma Öncesi Viyol Islak Ağırlığı (g)
1	800	5	73	290
2	800	10	73	290

2)Fan destekli konveksiyon ısıtma ile kurutma (farklı sıcak hava akış hızlarında $V_h=1,08, 4,70$ ve $16,07$ m/s ve $0,21, 0,33, 0,49$ m/dk farklı bant hızlarında)

a. 120°C fırın iç sıcaklığı, farklı sıcak hava akış hızları ($1,08, 4,70, 16,07$ m/s) ve farklı bant hızlarında ($0,21, 0,33, 0,49$ m/dk) yapılan nem kaldırma deneyleri (Tablo 3.3)

Tablo 3.3: 120°C Fırın İç Sıcaklığı, Farklı Sıcak Hava Hızları ($1,08, 4,70, 16,07$ m/s) ve Farklı Bant Hızlarında ($0,21, 0,33, 0,49$ m/dk) Yapılan Nem Kaldırma Deneyleri.

Deney no	Fırın İç Sıcaklığı ($^\circ\text{C}$)	Sıcak Hava Akış Hızı (m/s)	Bant hızı (m/dk)	Kurutma Öncesi Viyol ilk ağırlığı (g)	Kurutma Öncesi Viyol Islak Ağırlığı (g)
1	120	1,08	0,21	73	290
2	120	4,70	0,21	73	290
3	120	16,07	0,21	73	290
4	120	1,08	0,33	73	290
5	120	4,70	0,33	73	290
6	120	16,07	0,33	73	290
7	120	1,08	0,49	73	290
8	120	4,70	0,49	73	290
9	120	16,07	0,49	73	290

b. 140°C fırın iç sıcaklığı, farklı sıcak hava akış hızları ($1,08, 4,70, 16,07$ m/s) ve farklı bant hızlarında ($0,21, 0,33, 0,49$ m/dk) yapılan nem kaldırma deneyleri (Tablo 3.4)

Tablo 3.4: 140°C Fırın İç Sıcaklığı, Farklı Sıcak Hava Hızları ($1,08, 4,70, 16,07$ m/s) ve Farklı Bant Hızlarında ($0,21, 0,33, 0,49$ m/dk) Yapılan Nem Kaldırma Deneyleri.

Deney no	Fırın İç Sıcaklığı ($^\circ\text{C}$)	Sıcak Hava Akış Hızı (m/s)	Bant hızı (m/dk)	Kurutma Öncesi Viyol ilk ağırlığı (g)	Kurutma Öncesi Viyol Islak Ağırlığı (g)
1	140	1,08	0,21	73	290
2	140	4,70	0,21	73	290
3	140	16,07	0,21	73	290
4	140	1,08	0,33	73	290
5	140	4,70	0,33	73	290
6	140	16,07	0,33	73	290
7	140	1,08	0,49	73	290
8	140	4,70	0,49	73	290
9	140	16,07	0,49	73	290

3)Mikrodalga-fan destekli konveksiyon ısıtma ile kurutma (farklı sıcak hava akış hızlarında $V_h=1,08, 4,70, 16,07$ m/s ve $0,21, 0,33, 0,49$ m/dk farklı bant hızlarında)

- a. 600W MW çıkış gücünde, MW' da 5 dk bekleme süresi, fırın iç sıcaklığı 120°C, farklı sıcak hava akış hızları (1,08, 4,70, 16,07m/s) ve farklı bant hızlarında (0,21, 0,33, 0,49m/dk) yapılan nem kaldırma deneyleri(Tablo 3.5)

Tablo 3.5: 600W MW Çıkış Gücünde, MW' da 5 dk Bekletme Süresi, Fırın İç Sıcaklığı 120°C, Farklı Sıcak Hava Hızları (1,08, 4,70, 16,07m/s) ve Farklı Bant Hızlarında (0,21, 0,33, 0,49m/dk) Yapılan Nem Kaldırma Deneyleri.

Deney no	MW çıkış gücü (W)	MW Bekleme süresi (dk)	Fırın İç Sıcaklığı (°C)	Sıcak Hava Hızı (m/s)	Bant hızı (m/dk)	Kurutma Öncesi Viyol ilk ağırlığı (g)	Kurutma Öncesi Viyol Islak Ağırlığı (g)
1	600	5	120	1,08	0,21	73	290
2	600	5	120	4,70	0,21	73	290
3	600	5	120	16,07	0,21	73	290
4	600	5	120	1,08	0,33	73	290
5	600	5	120	4,70	0,33	73	290
6	600	5	120	16,07	0,33	73	290
7	600	5	120	1,08	0,49	73	290
8	600	5	120	4,70	0,49	73	290
9	600	5	120	16,07	0,49	73	290

- b. 600W MW çıkış gücünde, MW' da 5 dk bekleme süresi, fırın iç sıcaklığı 140°C, farklı sıcak hava akış hızları (1,08, 4,70, 16,07m/s) ve farklı bant hızlarında (0,21, 0,33, 0,49m/dk) yapılan nem kaldırma deneyleri(Tablo 3.6)

Tablo 3.6: 600W MW Çıkış Gücünde, MW' da 5 dk Bekletme Süresi, Fırın İç Sıcaklığı 140°C, Farklı Sıcak Hava Hızları (1,08, 4,70, 16,07m/s) ve Farklı Bant Hızlarında (0,21, 0,33, 0,49m/dk) Yapılan Nem Kaldırma Deneyleri.

Deney no	MW çıkış gücü (W)	MW Bekleme süresi (dk)	Fırın İç Sıcaklığı (°C)	Sıcak Hava Hızı (m/s)	Bant hızı (m/dk)	Kurutma Öncesi Viyol ilk ağırlığı (g)	Kurutma Öncesi Viyol Islak Ağırlığı (g)
1	600	5	140	1,08	0,21	73	290
2	600	5	140	4,70	0,21	73	290
3	600	5	140	16,07	0,21	73	290
4	600	5	140	1,08	0,33	73	290
5	600	5	140	4,70	0,33	73	290
6	600	5	140	16,07	0,33	73	290
7	600	5	140	1,08	0,49	73	290
8	600	5	140	4,70	0,49	73	290
9	600	5	140	16,07	0,49	73	290

- c. 600W MW çıkış gücünde, MW'da 10 dk bekleme süresi, fırın iç sıcaklığı 120°C, farklı sıcak hava akış hızları (1,08, 4,70, 16,07m/s) ve farklı bant hızlarında (0,21, 0,33, 0,49m/dk) yapılan nem kaldırma deneyleri(Tablo 3.7)

Tablo 3.7: 600W MW Çıkış Gücünde, MW'da 10 dk Bekletme Süresi, Fırın İç Sıcaklığı 120°C, Farklı Sıcak Hava Hızları (1,08, 4,70, 16,07m/s) ve Farklı Bant Hızlarında (0,21, 0,33, 0,49m/dk) Yapılan Nem Kaldırma Deneyleri.

Deney no	MW çıkış gücü (W)	MW Bekleme süresi (dk)	Fırın İç Sıcaklığı (°C)	Sıcak Hava Hızı (m/s)	Bant hızı (m/dk)	Kurutma Öncesi Viyol ilk ağırlığı (g)	Kurutma Öncesi Viyol Islak Ağırlığı (g)
1	600	10	120	1,08	0,21	73	290
2	600	10	120	4,70	0,21	73	290
3	600	10	120	16,07	0,21	73	290
4	600	10	120	1,08	0,33	73	290
5	600	10	120	4,70	0,33	73	290
6	600	10	120	16,07	0,33	73	290
7	600	10	120	1,08	0,49	73	290
8	600	10	120	4,70	0,49	73	290
9	600	10	120	16,07	0,49	73	290

d. 600W MW çıkış gücünde, MW' da 10 dk bekletme süresi, fırın iç sıcaklığı 140°C, farklı sıcak hava akış hızları (1,08, 4,70, 16,07m/s) ve farklı bant hızlarında (0,21, 0,33, 0,49m/dk) yapılan nem kaldırma deneyleri(Tablo 3.8)

Tablo 3.8: 600W MW Çıkış Gücünde, MW' da 10 dk Bekletme Süresi, Fırın İç Sıcaklığı 140°C, Farklı Sıcak Hava Hızları (1,08, 4,70, 16,07m/s) ve Farklı Bant Hızlarında (0,21, 0,33, 0,49m/dk) Yapılan Nem Kaldırma Deneyleri.

Deney no	MW çıkış gücü (W)	MW Bekleme süresi (dk)	Fırın İç Sıcaklığı (°C)	Sıcak Hava Hızı (m/s)	Bant hızı (m/dk)	Kurutma Öncesi Viyol ilk ağırlığı (g)	Kurutma Öncesi Viyol Islak Ağırlığı (g)
1	600	10	140	1,08	0,21	73	290
2	600	10	140	4,70	0,21	73	290
3	600	10	140	16,07	0,21	73	290
4	600	10	140	1,08	0,33	73	290
5	600	10	140	4,70	0,33	73	290
6	600	10	140	16,07	0,33	73	290
7	600	10	140	1,08	0,49	73	290
8	600	10	140	4,70	0,49	73	290
9	600	10	140	16,07	0,49	73	290

e. 800W MW çıkış gücünde, MW'da 5 dk bekletme süresi, fırın iç sıcaklığı 120°C, farklı sıcak hava akış hızları (1,08, 4,70, 16,07m/s) ve farklı bant hızlarında (0,21, 0,33, 0,49m/dk) yapılan nem kaldırma deneyleri(Tablo 3.9)

Tablo 3.9: 800W MW Çıkış Gücünde, MW' da 5 dk Bekletme Süresi, Fırın İç Sıcaklığı 120°C, Farklı Sıcak Hava Hızları (1,08, 4,70, 16,07m/s) ve Farklı Bant Hızlarında (0,21, 0,33, 0,49m/dk) Yapılan Nem Kaldırma Deneyleri.

Deney no	MW çıkış gücü (W)	MW Bekleme süresi (dk)	Fırın İç Sıcaklığı (°C)	Sıcak Hava Hızı (m/s)	Bant hızı (m/dk)	Kurutma Öncesi Viyol ilk ağırlığı (g)	Kurutma Öncesi Viyol Islak Ağırlığı (g)
1	800	5	120	1,08	0,21	73	290
2	800	5	120	4,70	0,21	73	290
3	800	5	120	16,07	0,21	73	290
4	800	5	120	1,08	0,33	73	290
5	800	5	120	4,70	0,33	73	290
6	800	5	120	16,07	0,33	73	290
7	800	5	120	1,08	0,49	73	290
8	800	5	120	4,70	0,49	73	290
9	800	5	120	16,07	0,49	73	290

f. 800W MW çıkış gücünde, MW'da 5 dk bekleme süresi, fırın iç sıcaklığı 140°C, farklı sıcak hava akış hızları (1,08, 4,70, 16,07m/s) ve farklı bant hızlarında (0,21, 0,33, 0,49m/dk) yapılan nem kaldırma deneyleri(Tablo 3.10)

Tablo 3.10: 800W MW Çıkış Gücünde, MW'da 5 dk Bekletme Süresi, Fırın İç Sıcaklığı 140°C, Farklı Sıcak Hava Hızları (1,08, 4,70, 16,07m/s) ve Farklı Bant Hızlarında (0,21, 0,33, 0,49m/dk) Yapılan Nem Kaldırma Deneyleri.

Deney no	MW çıkış gücü (W)	MW Bekleme süresi (dk)	Fırın İç Sıcaklığı (°C)	Sıcak Hava Hızı (m/s)	Bant hızı (m/dk)	Kurutma Öncesi Viyol ilk ağırlığı (g)	Kurutma Öncesi Viyol Islak Ağırlığı (g)
1	800	5	140	1,08	0,21	73	290
2	800	5	140	4,70	0,21	73	290
3	800	5	140	16,07	0,21	73	290
4	800	5	140	1,08	0,33	73	290
5	800	5	140	4,70	0,33	73	290
6	800	5	140	16,07	0,33	73	290
7	800	5	140	1,08	0,49	73	290
8	800	5	140	4,70	0,49	73	290
9	800	5	140	16,07	0,49	73	290

g. 800W MW çıkış gücünde, MW'da 10 dk bekleme süresi, fırın iç sıcaklığı 120°C, farklı sıcak hava akış hızları (1,08, 4,70, 16,07m/s) ve farklı bant hızlarında (0,21, 0,33, 0,49m/dk) yapılan nem kaldırma deneyleri(Tablo 3.11)

Tablo 3.11: 800W MW Çıkış Gücünde, MW'da 10 dk Bekletme Süresi, Fırın İç Sıcaklığı 120°C, Farklı Sıcak Hava Hızları (1,08, 4,70, 16,07m/s) ve Farklı Bant Hızlarında (0,21, 0,33, 0,49m/dk) Yapılan Nem Kaldırma Deneyleri.

Deney no	MW çıkış gücü (W)	MW Bekleme süresi (dk)	Fırın İç Sıcaklığı (°C)	Sıcak Hava Hızı (m/s)	Bant hızı (m/dk)	Kurutma Öncesi Viyol ilk ağırlığı (g)	Kurutma Öncesi Viyol Islak Ağırlığı (g)
1	800	10	120	1,08	0,21	73	290
2	800	10	120	4,70	0,21	73	290
3	800	10	120	16,07	0,21	73	290
4	800	10	120	1,08	0,33	73	290
5	800	10	120	4,70	0,33	73	290
6	800	10	120	16,07	0,33	73	290
7	800	10	120	1,08	0,49	73	290
8	800	10	120	4,70	0,49	73	290
9	800	10	120	16,07	0,49	73	290

h. 800W MW çıkış gücünde, MW'da 10 dk bekletme süresi, fırın iç sıcaklığı 140°C, farklı sıcak hava akış hızları (1,08, 4,70, 16,07m/s) ve farklı bant hızlarında (0,21, 0,33, 0,49m/dk) yapılan nem kaldırma deneyleri(Tablo 3.12)

Tablo 3.12: 800W MW Çıkış Gücünde, MW'da 10 dk Bekletme Süresi, Fırın İç Sıcaklığı 140°C, Farklı Sıcak Hava Hızları (1,08, 4,70, 16,07m/s) ve Farklı Bant Hızlarında (0,21, 0,33, 0,49m/dk) Yapılan Nem Kaldırma Deneyleri.

Deney no	MW çıkış gücü (W)	MW Bekleme süresi (dk)	Fırın İç Sıcaklığı (°C)	Sıcak Hava Hızı (m/s)	Bant hızı (m/dk)	Kurutma Öncesi Viyol ilk ağırlığı (g)	Kurutma Öncesi Viyol Islak Ağırlığı (g)
1	800	10	140	1,08	0,21	73	290
2	800	10	140	4,70	0,21	73	290
3	800	10	140	16,07	0,21	73	290
4	800	10	140	1,08	0,33	73	290
5	800	10	140	4,70	0,33	73	290
6	800	10	140	16,07	0,33	73	290
7	800	10	140	1,08	0,49	73	290
8	800	10	140	4,70	0,49	73	290
9	800	10	140	16,07	0,49	73	290

Deneylerde toplam 94 model oluşturulmuştur. Kurutma öncesi ve sonrasında viyolün ağırlığı ve %nem oranı tespit edilmiştir.

MW sistemde aynı teknik özelliklere sahip 1200W-2450 MHz frekanslı gücünde ve 0,67 verimle çalışan ev tipi MW magnetron kullanılmıştır.

Viyolün %75' lik nem oranını %6 seviyesine indirmek için farklı magnetron giriş güçlerinde (1200W ve 895W) ve farklı bant hızlarında (0,21m/dk, 0,33m/dk, 0,49m/dk), farklı fırın iç sıcaklıklarında (120°C, 140°C) ve farklı sıcak hava akış hızında (1,08m/s, 4,70m/s, 16,07m/s) kurutma çalışmaları yapılmıştır. Kurutma çalışmaları sisteme bağlı sıcaklık ölçer ile sistem sıcaklığı, hava ölçer ile hava hızının kontrol altında tutulması sağlanmıştır. Bu sıcaklık ölçer ile hava ölçeri sisteme bağlamak için 2 m. uzunlukta ısıya dayanıklı kablolar kullanılmıştır.

4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

MW-fan destekli konveksiyon ile kurutma deney ve düzeneği ile yumurta kolisinin kurutma işlemi 600W ve 800W mikrodalga çıkış güçleri, 120°C ve 140°C fırın iç sıcaklıkları, farklı bant hızlarında (0,21, 0,33 ve 0,49 m/dk) ve farklı sıcak hava akış hızında (1,08, 4,70, 16,07m/s) gerçekleşmiştir. Kurutma işlemi 3 farklı tipte yapılmıştır. Deneyler sırasında aynı özellikte viyoller kullanılmış olup, ıslanma havuzlarında bekletilerek eşit ağırlıklara getirilip (290 g), kurutma deneyleri yapılmıştır.

Deneyler farklı magnetron çıkış güçleri ile farklı zaman aralıklarında mikrodalgada bekletilerek kurutma deneyleri yapılmıştır. 600W çıkış gücü, 5 ve 10 dk zaman aralıklarında yapılan deneyler Tablo 4.1'de verilmiştir. 800W çıkış gücü, 5 ve 10 dk zaman aralıkları Tablo 4.2'de verilmiştir.

Farklı fırın iç sıcaklıklarında (120°C ve 140°C), farklı sıcak hava akış hızları (1,08, 4,70, 16,07m/s) ve farklı bant hızlarında (0,21, 0,33 ve 0,49 m/dk) yapılan kurutma deneyleri Tablo 4.3 ve Tablo 4.4'te verilmiştir.

MW-fan destekli konveksiyon ısıtma ile yapılan kombine kurutmalar (farklı MW çıkış güçlerinde 600W ve 800W, farklı fırın iç sıcaklıklarında 120°C ve 140°C, farklı hava hızlarında $V_h=1,08, 4,70, 16,07$ m/s ve 0,21, 0,33, 0,49 m/dk farklı bant hızlarında) Tablo 4.5, Tablo 4.6, Tablo 4.7, Tablo 4.8, Tablo 4.9, Tablo 4.10, Tablo 4.11, Tablo 4.12'de verilmiştir.

Tablo 4.1: 600W MW Çıkış Gücünde Farklı Bekleme Sürelerinde (5 ve 10 dk) Yapılan Nem Kaldırma Deneyleri.

Deney no	MW Çıkış Gücü (W)	MW'de Bekleme Süresi (dk)	Kurutma İçin Harcanan Toplam Enerji (kW.h)	Kurutma Öncesi Viyol ilk ağırlığı (g)	Kurutma Öncesi Viyol Islak Ağırlığı (g)	Kurutma Sonrası Viyol Ağırlığı (g)	Kaldırılan Nem Miktarı (g)	Kaldırılan % Nem
1	600	5	0,074	73	290	244	46	15,86
2	600	10	0,149	73	290	187	103	35,52

Tablo 4.2: 800W MW Çıkış Gücü ve MW İçinde Farklı Bekleme Sürelerinde (5 ve 10 dk) Yapılan Nem Kaldırma Deneyleri.

Deney no	MW Çıkış Gücü (W)	MW'de Bekleme Süresi (dk)	Kurutma İçin Harcanan Toplam Enerji (kW.h)	Kurutma Öncesi Viyol ilk ağırlığı (g)	Kurutma Öncesi Viyol Islak Ağırlığı (g)	Kurutma Sonrası Viyol Ağırlığı (g)	Kaldırılan Nem Miktarı (g)	Kaldırılan % Nem
1	800	5	0,100	73	290	231	59	20,34
2	800	10	0,200	73	290	165	125	43,10

Tablo 4.3: 120 °C Fırın İç Sıcaklığı, Farklı Sıcak Hava Hızları (1,08-4,70-16,07m/s) ve Farklı Bant Hızlarında (0,21-0,33, 0,49m/dk) Yapılan Nem Kaldırma DeneYleri.

Deney no	Fırın İç Sıcaklığı (°C)	Sıcak Hava Akış Hızı (m/s)	Bant hızı (m/dk)	Kurutma İçin Harcanan Toplam Enerji (kW.h)	Kurutma Öncesi Viyol ilk ağırlığı (g)	Kurutma Öncesi Viyol Islak Ağırlığı (g)	Kurutulma Sonrası Viyol Ağırlığı (g)	Kaldırılan Nem Miktarı (g)	Kaldırılan % Nem
1	120	1,08	0,21	0,495	73	290	199	91	31,38
2	120	4,70	0,21	0,712	73	290	142	148	51,03
3	120	16,07	0,21	0,947	73	290	102	188	64,83
4	120	1,08	0,33	0,286	73	290	234	56	19,31
5	120	4,70	0,33	0,403	73	290	206	84	28,97
6	120	16,07	0,33	0,674	73	290	154	136	46,90
7	120	1,08	0,49	0,232	73	290	248	42	14,48
8	120	4,70	0,49	0,313	73	290	229	61	21,03
9	120	16,07	0,49	0,446	73	290	193	97	33,45

Tablo 4.4: 140 °C Fırın İç Sıcaklığı, Farklı Sıcak Hava Hızları (1,08-4,70-16,07m/s) ve Farklı Bant Hızlarında (0,21-0,33, 0,49m/dk) Yapılan Nem Kaldırma DeneYleri

Deney no	Fırın İç Sıcaklığı (°C)	Sıcak Hava Hızı (m/s)	Bant hızı (m/dk)	Kurutma İçin Harcanan Toplam Enerji (kW.h)	Kurutma Öncesi Viyol ilk ağırlığı (g)	Kurutma Öncesi Viyol Islak Ağırlığı (g)	Kurutma Sonrası Viyol Ağırlığı (g)	Kaldırılan Nem Miktarı (g)	Kaldırılan % Nem
1	140	1,08	0,21	0,588	73	290	182	108	37,24
2	140	4,70	0,21	0,860	73	290	103	187	64,48
3	140	16,07	0,21	1,115	73	290	78	212	73,10
4	140	1,08	0,33	0,342	73	290	227	63	21,72
5	140	4,70	0,33	0,472	73	290	189	101	34,83
6	140	16,07	0,33	0,797	73	290	119	171	58,97
7	140	1,08	0,49	0,253	73	290	238	52	17,93
8	140	4,70	0,49	0,355	73	290	211	79	27,24
9	140	16,07	0,49	0,547	73	290	170	120	41,38

Tablo 4.5: 600W MW Çıkış Gücünde, MW'da 5 dk Bekletme Süresi, Fırın İç Sıcaklığı 120 °C, Farklı Sıcak Hava Hızları (1,08, 4,70, 16,07m/s) ve Farklı Bant Hızlarında (0,21, 0,33, 0,49m/dk) Yapılan Nem Kaldırma DeneYleri

Deney no	MW çıkış gücü (W)	MW Bekleme süresi (dk)	Fırın İç Sıcaklığı (°C)	Sıcak Hava Hızı (m/s)	Bant hızı (m/dk)	Kurutma İçin Harcanan Toplam Enerji (kW.h)	Kurutma Öncesi Viyol ilk ağırlığı (g)	Kurutma Öncesi Viyol Islak Ağırlığı (g)	Kurutma Sonrası Viyol Ağırlığı (g)	Kaldırılan Nem Miktarı (g)	Kaldırılan % Nem
1	600	5	120	1,08	0,21	0,565	73	290	158	132	45,52
2	600	5	120	4,70	0,21	0,785	73	290	98	192	66,21
3	600	5	120	16,07	0,21	1,010	73	290	76	214	73,79
4	600	5	120	1,08	0,33	0,359	73	290	189	101	34,83
5	600	5	120	4,70	0,33	0,456	73	290	163	127	43,79
6	600	5	120	16,07	0,33	0,705	73	290	112	178	61,38
7	600	5	120	1,08	0,49	0,299	73	290	200	90	31,03
8	600	5	120	4,70	0,49	0,348	73	290	184	106	36,55
9	600	5	120	16,07	0,49	0,517	73	290	146	144	49,66

Tablo 4.6: 600W MW Çıkış Gücünde, MW'da 5 dk Bekletme Süresi, Fırın İç Sıcaklığı 140 °C, Farklı Sıcak Hava Hızları (1,08, 4,70, 16,07m/s) ve Farklı Bant Hızlarında (0,21, 0,33, 0,49m/dk) Yapılan Nem Kaldırma DeneYleri

Deney no	MW çıkış gücü (W)	MW Bekleme süresi (dk)	Fırın İç Sıcaklığı (°C)	Sıcak Hava Hızı (m/s)	Bant hızı (m/dk)	Kurutma İçin Harcanan Toplam Enerji (kW.h)	Kurutma Öncesi Viyol ilk ağırlığı (g)	Kurutma Öncesi Viyol Islak Ağırlığı (g)	Kurutma Sonrası Viyol Ağırlığı (g)	Kaldırılan Nem Miktarı (g)	Kaldırılan % Nem
1	600	5	140	1,08	0,21	0,601	73	290	136	154	53,10
2	600	5	140	4,70	0,21	0,912	73	290	76	214	73,79
3	600	5	140	16,07	0,21	1,161	73	290	68	222	76,55
4	600	5	140	1,08	0,33	0,401	73	290	174	116	40,00
5	600	5	140	4,70	0,33	0,539	73	290	140	150	51,72
6	600	5	140	16,07	0,33	0,807	73	290	89	201	69,31
7	600	5	140	1,08	0,49	0,334	73	290	187	103	35,52
8	600	5	140	4,70	0,49	0,415	73	290	160	130	44,83
9	600	5	140	16,07	0,49	0,603	73	290	124	166	57,24

Tablo 4.7: 600W MW Çıkış Gücünde, MW'da 10 dk Bekletme Süresi, Fırın İç Sıcaklığı 120 °C, Farklı Sıcak Hava Hızları (1,08, 4,70, 16,07m/s) ve Farklı Bant Hızlarında (0,21, 0,33, 0,49m/dk) Yapılan Nem Kaldırma Deneyleri.

Deney no	MW çıkış gücü (W)	MW Bekleme süresi (dk)	Fırın İç Sıcaklığı (°C)	Sıcak Hava Hızı (m/s)	Bant hızı (m/dk)	Kurutma İçin Harcanan Toplam Enerji (kW.h)	Kurutma Öncesi Viyol ilk ağırlığı (g)	Kurutma Öncesi Viyol Islak Ağırlığı (g)	Kurutma Sonrası Viyol Ağırlığı (g)	Kaldırılan Nem Miktarı (g)	Kaldırılan % Nem
1	600	10	120	1,08	0,21	0,629	73	290	108	182	62,76
2	600	10	120	4,70	0,21	0,853	73	290	72	218	75,17
3	600	10	120	16,07	0,21	1,071	73	290	64	226	77,93
4	600	10	120	1,08	0,33	0,437	73	290	138	152	52,41
5	600	10	120	4,70	0,33	0,552	73	290	112	178	61,38
6	600	10	120	16,07	0,33	0,793	73	290	80	210	72,41
7	600	10	120	1,08	0,49	0,378	73	290	148	142	48,97
8	600	10	120	4,70	0,49	0,434	73	290	127	163	56,21
9	600	10	120	16,07	0,49	0,588	73	290	103	187	64,48

Tablo 4.8: 600W MW Çıkış Gücünde, MW'da 10 dk Bekletme Süresi, Fırın İç Sıcaklığı 140 °C, Farklı Sıcak Hava Hızları (1,08, 4,70, 16,07m/s) ve Farklı Bant Hızlarında (0,21, 0,33, 0,49m/dk) Yapılan Nem Kaldırma Deneyleri.

Deney no	MW çıkış gücü (W)	MW Bekleme süresi (dk)	Fırın İç Sıcaklığı (°C)	Sıcak Hava Hızı (m/s)	Bant hızı (m/dk)	Kurutma İçin Harcanan Toplam Enerji (kW.h)	Kurutma Öncesi Viyol ilk ağırlığı (g)	Kurutma Öncesi Viyol Islak Ağırlığı (g)	Kurutma Sonrası Viyol Ağırlığı (g)	Kaldırılan Nem Miktarı (g)	Kaldırılan % Nem
1	600	10	140	1,08	0,21	0,694	73	290	92	198	68,28
2	600	10	140	4,70	0,21	0,998	73	290	67	223	76,90
3	600	10	140	16,07	0,21	1,229	73	290	66	224	77,24
4	600	10	140	1,08	0,33	0,489	73	290	114	176	60,69
5	600	10	140	4,70	0,33	0,600	73	290	94	196	67,59
6	600	10	140	16,07	0,33	0,898	73	290	70	220	75,86
7	600	10	140	1,08	0,49	0,413	73	290	139	151	52,07
8	600	10	140	4,70	0,49	0,519	73	290	114	176	60,69
9	600	10	140	16,07	0,49	0,684	73	290	87	203	70,00

Tablo 4.9: 800W MW Çıkış Gücünde, MW'da 5 dk Bekletme Süresi, Fırın İç Sıcaklığı 120 °C, Farklı Sıcak Hava Hızları (1,08, 4,70, 16,07m/s) ve Farklı Bant Hızlarında (0,21, 0,33, 0,49m/dk) Yapılan Nem Kaldırma Deneyleri.

Deney no	MW çıkış gücü (W)	MW Bekleme süresi (dk)	Fırın İç Sıcaklığı (°C)	Sıcak Hava Hızı (m/s)	Bant hızı (m/dk)	Kurutma İçin Harcanan Toplam Enerji (kW.h)	Kurutma Öncesi Viyol ilk ağırlığı (g)	Kurutma Öncesi Viyol Islak Ağırlığı (g)	Kurutma Sonrası Viyol Ağırlığı (g)	Kaldırılan Nem Miktarı (g)	Kaldırılan % Nem
1	800	5	120	1,08	0,21	0,522	73	290	140	150	51,72
2	800	5	120	4,70	0,21	0,774	73	290	88	202	69,66
3	800	5	120	16,07	0,21	0,998	73	290	73	217	74,83
4	800	5	120	1,08	0,33	0,351	73	290	174	116	40,00
5	800	5	120	4,70	0,33	0,467	73	290	145	145	50,00
6	800	5	120	16,07	0,33	0,710	73	290	107	183	63,10
7	800	5	120	1,08	0,49	0,286	73	290	195	95	32,76
8	800	5	120	4,70	0,49	0,369	73	290	168	122	42,07
9	800	5	120	16,07	0,49	0,523	73	290	132	158	54,48

Tablo 4.10: 800W MW Çıkış Gücünde, MW'da 5 dk Bekletme Süresi, Fırın İç Sıcaklığı 140 °C, Farklı Sıcak Hava Hızları (1,08, 4,70, 16,07m/s) ve Farklı Bant Hızlarında (0,21, 0,33, 0,49m/dk) Yapılan Nem Kaldırma Deneyleri.

Deney no	MW çıkış gücü (W)	MW Bekleme süresi (dk)	Fırın İç Sıcaklığı (°C)	Sıcak Hava Hızı (m/s)	Bant hızı (m/dk)	Kurutma İçin Harcanan Toplam Enerji (kW.h)	Kurutma Öncesi Viyol ilk ağırlığı (g)	Kurutma Öncesi Viyol Islak Ağırlığı (g)	Kurutma Sonrası Viyol Ağırlığı (g)	Kaldırılan Nem Miktarı (g)	Kaldırılan % Nem
1	800	5	140	1,08	0,21	0,588	73	290	129	161	55,52
2	800	5	140	4,70	0,21	0,951	73	290	70	220	75,86
3	800	5	140	16,07	0,21	1,139	73	290	66	224	77,24
4	800	5	140	1,08	0,33	0,426	73	290	158	132	45,52
5	800	5	140	4,70	0,33	0,541	73	290	125	165	56,90
6	800	5	140	16,07	0,33	0,827	73	290	87	203	70,00
7	800	5	140	1,08	0,49	0,316	73	290	181	109	37,59
8	800	5	140	4,70	0,49	0,453	73	290	151	139	47,93
9	800	5	140	16,07	0,49	0,644	73	290	112	178	61,38

Tablo 4.11: 800W MW Çıkış Gücünde, MW'da 10 dk Bekletme Süresi, Fırın İç Sıcaklığı 120 °C, Farklı Sıcak Hava Hızları (1,08, 4,70, 16,07m/s) ve Farklı Bant Hızlarında (0,21, 0,33, 0,49m/dk) Yapılan Nem Kaldırma Deneyleri.

Deney no	MW çıkış gücü (W)	MW Bekleme süresi (dk)	Fırın İç Sıcaklığı (°C)	Sıcak Hava Hızı (m/s)	Bant hızı (m/dk)	Kurutma İçin Harcanan Toplam Enerji (kW.h)	Kurutma Öncesi Viyol ilk ağırlığı (g)	Kurutma Öncesi Viyol Islak Ağırlığı (g)	Kurutma Sonrası Viyol Ağırlığı (g)	Kaldırılan Nem Miktarı (g)	Kaldırılan % Nem
1	800	10	120	1,08	0,21	0,653	73	290	89	201	69,31
2	800	10	120	4,70	0,21	0,894	73	290	68	222	76,55
3	800	10	120	16,07	0,21	1,073	73	290	66	224	77,24
4	800	10	120	1,08	0,33	0,449	73	290	114	176	60,69
5	800	10	120	4,70	0,33	0,588	73	290	90	200	68,97
6	800	10	120	16,07	0,33	0,828	73	290	72	218	75,17
7	800	10	120	1,08	0,49	0,301	73	290	130	160	55,17
8	800	10	120	4,70	0,49	0,493	73	290	100	190	65,52
9	800	10	120	16,07	0,49	0,651	73	290	85	205	70,69

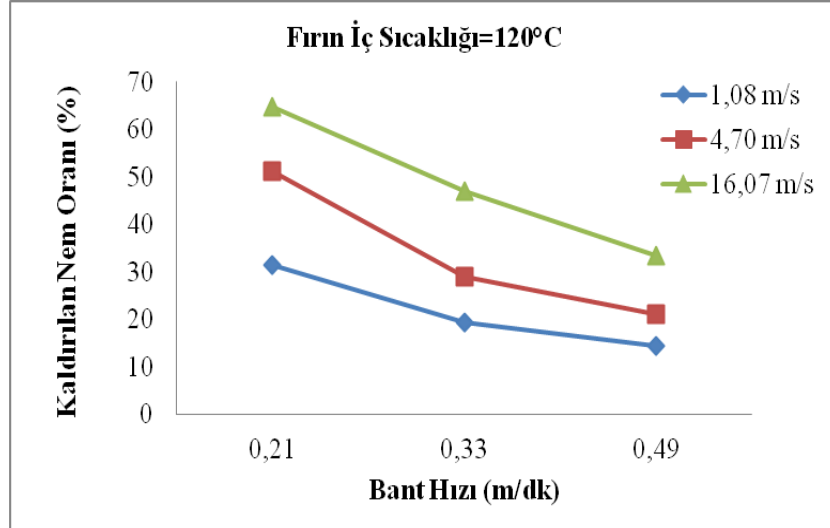
Tablo 4.12: 800W MW Çıkış Gücünde, MW'da 10 dk Bekletme Süresi, Fırın İç Sıcaklığı 140 °C, Farklı Sıcak Hava Hızları (1,08, 4,70, 16,07m/s) ve Farklı Bant Hızlarında (0,21, 0,33, 0,49m/dk) Yapılan Nem Kaldırma Deneyleri.

Deney no	MW çıkış gücü (W)	MW Bekleme süresi (dk)	Fırın İç Sıcaklığı (°C)	Sıcak Hava Hızı (m/s)	Bant hızı (m/dk)	Kurutma İçin Harcanan Toplam Enerji (kW.h)	Kurutma Öncesi Viyol ilk ağırlığı (g)	Kurutma Öncesi Viyol Islak Ağırlığı (g)	Kurutma Sonrası Viyol Ağırlığı (g)	Kaldırılan Nem Miktarı (g)	Kaldırılan % Nem
1	800	10	140	1,08	0,21	0,629	73	290	83	207	71,38
2	800	10	140	4,70	0,21	1,022	73	290	66	224	77,24
3	800	10	140	16,07	0,21	1,233	73	290	66	224	77,24
4	800	10	140	1,08	0,33	0,475	73	290	101	189	65,17
5	800	10	140	4,70	0,33	0,663	73	290	80	210	72,41
6	800	10	140	16,07	0,33	0,959	73	290	67	223	76,90
7	800	10	140	1,08	0,49	0,424	73	290	115	175	60,34
8	800	10	140	4,70	0,49	0,534	73	290	95	195	67,24
9	800	10	140	16,07	0,49	0,714	73	290	75	215	74,14

4.1 Mikrodalga İle Viyol Kuruma Eğrileri

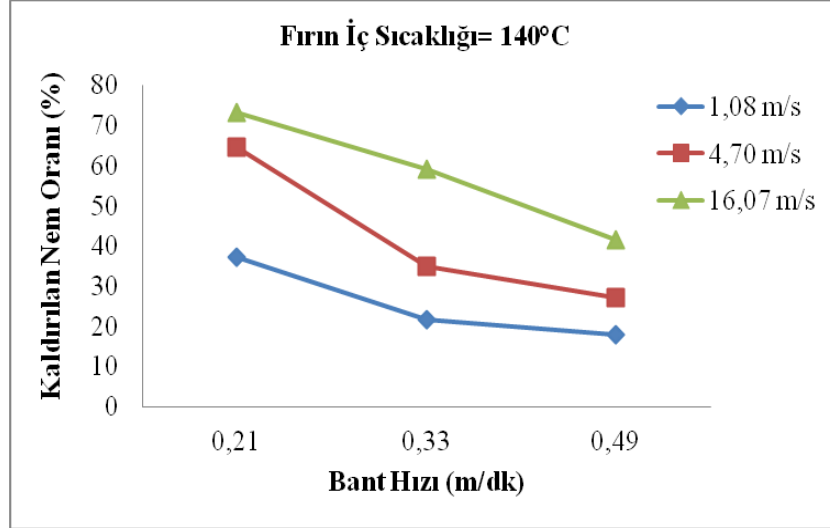
MW-fan destekli konveksiyon ısıtma ile kurutma sistemlerinde magnetron gücü, bant hızı, sıcak hava üfleme hızı, rezistans sıcaklığı, ürünün mikrodalgaya maruz kalma süreleri, ürünün başlangıç nem oranı kurutma kalitesi üzerine etki eden önemli faktörlerdendir.

Bu çalışmada; yumurta viyolünün kurutulması üzerine çalışmalar yapılmış olup, deneylerde aynı tip viyoller kullanılmıştır (kuru halde 73 g, ıslak halde 290 g). Deneylerde farklı bant hızları, farklı sıcak hava hızı, MW çıkış gücü ve fırın iç sıcaklıklarına bağlı olarak viyol üzerinden kaldırılan sıvı miktarlarının değişimi grafiksel şekillerde gösterilmiştir.



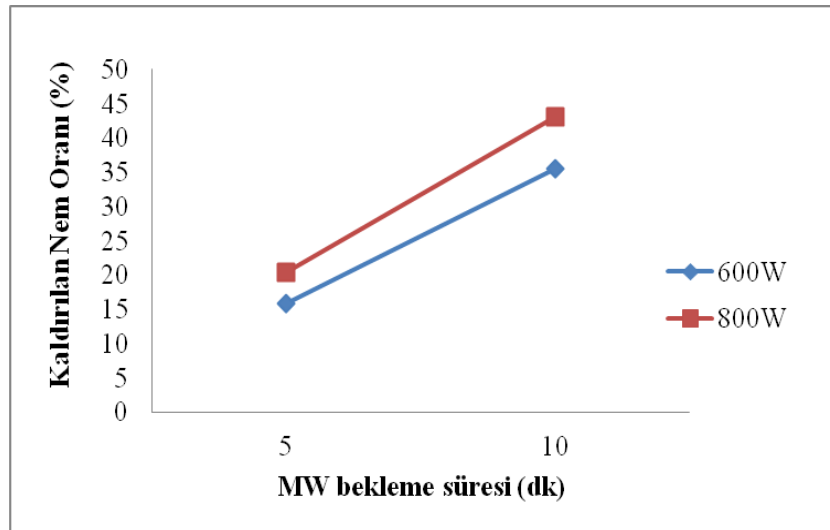
Şekil. 4.1: Farklı bant ve farklı sıcak hava akış hızlarına göre kaldırılan nem oranının değişimi. (Fırın iç sıcaklığı= 120°C)

Şekil 4.1’de fırın iç sıcaklığı 120°C iken, farklı sıcak hava akış hızı ve bant hızlarına göre kaldırılan nem miktarı verilmektedir. Şekil 4.1’den görüleceği üzere, minimum kaldırılan nem oranı 1,08 sıcak hava akış hızında ve 0,49 bant hızında %14,48 (42 g) olarak elde edilirken, maksimum kaldırılan nem oranı 16,07 sıcak hava akış hızında ve 0,21 bant hızında %64,83 (188 g) olarak elde edilmiştir. Burada minimum düzeyde nem kaldırmak için harcanan toplam elektrik enerjisi 0,232 kW.h, maksimum düzeyde nem kaldırmak için harcanan toplam elektrik enerjisi ise 0,947 kW.h’dir.



Şekil. 4.2: Farklı bant ve farklı sıcak hava akış hızlarına göre kaldırılan nem oranının değişimi. (Fırın iç sıcaklığı= 140°C)

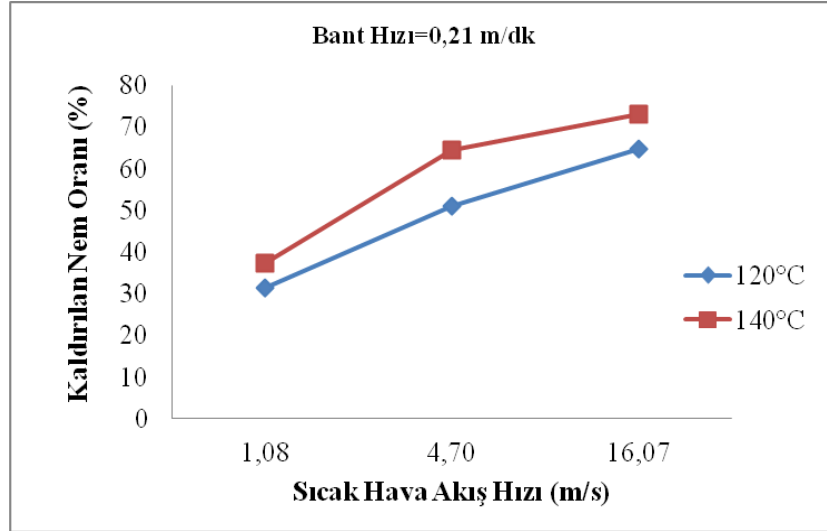
Şekil 4.2’de fırın iç sıcaklığı 140°C iken, farklı sıcak hava akış hızı ve bant hızlarına göre kaldırılan nem miktarı verilmektedir. Şekil 4.2’den görüleceği üzere, minimum kaldırılan nem oranı 1,08 sıcak hava akış hızında ve 0,49 bant hızında %17,93 (52 g) olarak elde edilirken, maksimum kaldırılan nem oranı 16,07 sıcak hava akış hızında ve 0,21 bant hızında %73,10 (212 g) olarak elde edilmiştir. Burada minimum düzeyde nem kaldırmak için harcanan toplam elektrik enerjisi 0,253 kW.h, maksimum düzeyde nem kaldırmak için harcanan toplam elektrik enerjisi ise 1,115 kW.h’dir.



Şekil. 4.3: Farklı MW gücüne (600, 800W) göre kaldırılan nem oranının MW’ da bekleme süresine (5, 10dk) göre değişimi.

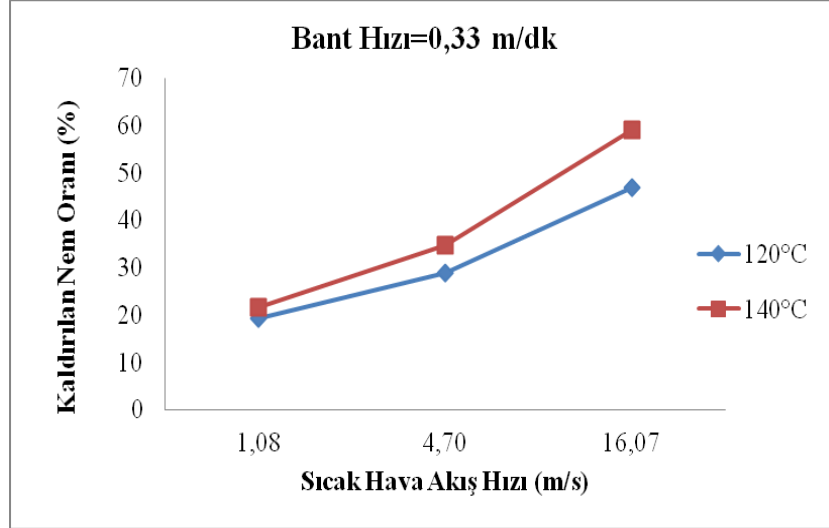
Şekil 4.3’de minimum kaldırılan nem oranı, MW çıkış gücü 600W’ ta 5 dk da %15,86 (46 g) elde edilirken, maksimum kaldırılan nem oranı, MW çıkış gücü 800W

ve 10 dk bekleme süresinde %43,10 (125 g) olarak elde edilmiştir. Burada minimum düzeyde nem kaldırmak için harcanan toplam elektrik enerjisi 0,074 kW.h, maksimum düzeyde nem kaldırmak için harcanan toplam elektrik enerjisi ise 0,200 kW.h'dir.



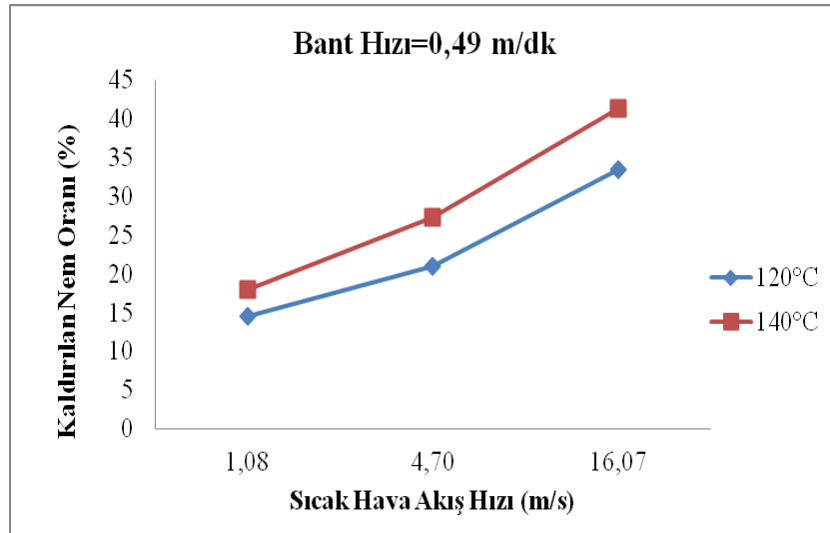
Şekil. 4.4: Farklı fırın iç sıcaklığı ve hava akış hızlarının 0,21 m/dk sabit bant hızına göre kaldırılan nem oranının değişimi.

Şekil 4.4'te 0.21 m/dk sabit bant hızı 1.08 m/s fan hızı ve 120°C fırın iç sıcaklığında minimum kaldırılan nem oranı %31,38 (91 g), 16.07 m/s sıcak hava akış hızı ve 140°C fırın iç sıcaklığında maksimum kaldırılan nem oranı ise %73,10 (212 g) olarak elde edilmiştir. Burada minimum düzeyde nem kaldırmak için harcanan toplam elektrik enerjisi 0,495 kW.h, maksimum düzeyde nem kaldırmak için harcanan toplam elektrik enerjisi ise 1,115 kW.h'dir.



Şekil. 4.5: Farklı fırın iç sıcaklığı ve sıcak hava hızlarının 0,33 m/dk sabit bant hızına göre kaldırılan nem oranının değişimi.

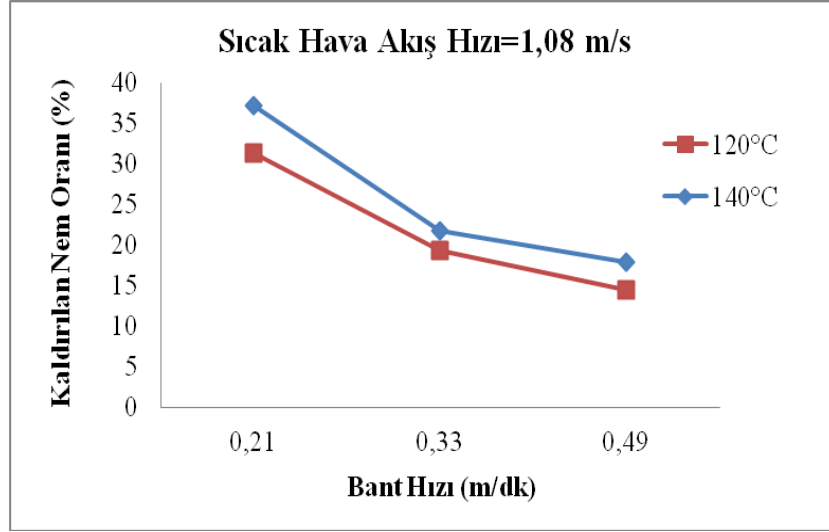
Şekil 4.5’de 0.33 m/dk sabit bant hızı 1.08 m/s sıcak hava akış hızı ve 120°C fırın iç sıcaklığında minimum kaldırılan nem oranı %19,3 (56 g), maksimum nem oranı ise 16,07 m/s sıcak hava akış hızı ve 140°C fırın iç sıcaklığında %58,97 (171 g) olarak elde edilmiştir. Burada minimum düzeyde nem kaldırmak için harcanan toplam elektrik enerjisi 0,286 kW.h, maksimum düzeyde nem kaldırmak için harcanan toplam elektrik enerjisi ise 0,797 kW.h’dir.



Şekil. 4.6: Farklı fırın iç sıcaklığı ve farklı sıcak hava akış hızlarının 0.49 m/dk sabit bant hızına göre kaldırılan nem oranının değişimi.

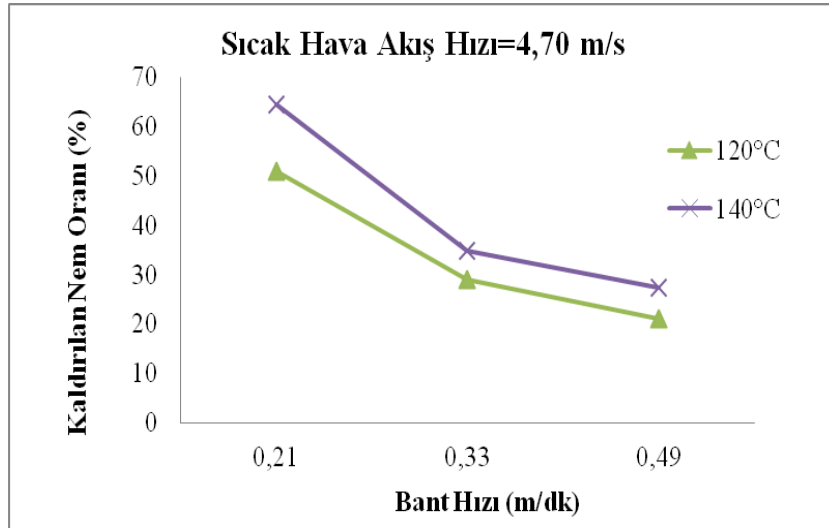
Şekil 4.6’de 0.49 m/dk sabit bant hızı 1.08 m/s sıcak hava akış hızı ve 120°C fırın iç sıcaklığında minimum kaldırılan nem oranı %14,48 (42 g), max nem oranı ise 16,07 m/s sıcak hava hızı ve 140°C fırın iç sıcaklığında %41,38 (120 g) olarak elde edilmiştir. Burada minimum düzeyde nem kaldırmak için harcanan toplam elektrik

enerjisi 0,232 kW.h, maksimum düzeyde nem kaldırmak için harcanan toplam elektrik enerjisi ise 0,547 kW.h'dir.



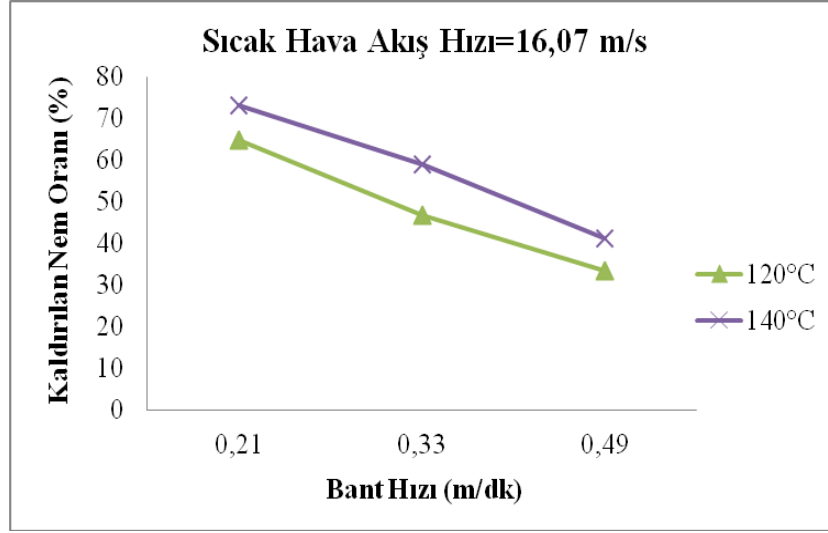
Şekil. 4.7: Farklı bant hızları ve farklı fırın iç sıcaklıklarına göre kaldırılan nem oranının sabit 1.08m/s fan hızına göre nem oranının değişimi.

Şekil 4.7'de 1.08m/s sabit sıcak hava akış hızında, 120°C fırın iç sıcaklığı ve 0.49m/dk bant hızında minimum kaldırılan nem oranı %14,48 (42 g) ve 0.21m/dk bant hızı ve 140°C fırın iç sıcaklığı, 0,21m/dk bant hızında max nem kaldırma oranı %37,24 (108 g) olarak elde edilmiştir. Burada minimum düzeyde nem kaldırmak için harcanan toplam elektrik enerjisi 0,232 kW.h, maksimum düzeyde nem kaldırmak için harcanan toplam elektrik enerjisi ise 0,588 kW.h'dir.



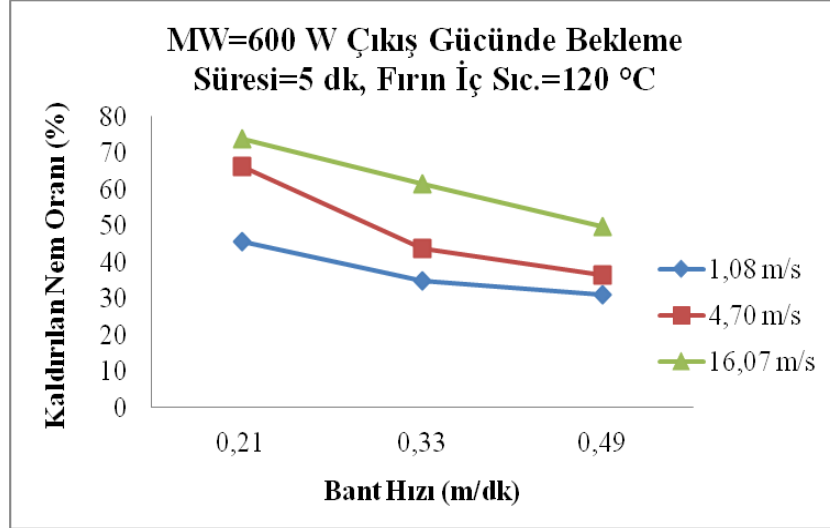
Şekil. 4.8: Farklı bant hızları ve farklı fırın iç sıcaklıklarına göre kaldırılan nem oranının sabit 4,70 m/s sıcak hava akış hızına göre nem oranının değişimi.

Şekil 4.8’da 4,70m/s sabit sıcak hava akış hızında, 120°C fırın iç sıcaklığı ve 0,49m/dk bant hızında minimum kaldırılan nem oranı %21,03 (61 g) ve 0,21m/dk bant hızı ve 140°C fırın iç sıcaklığında max nem kaldırma oranı %64,48 (187 g) olarak elde edilmiştir. Burada minimum düzeyde nem kaldırmak için harcanan toplam elektrik enerjisi 0,313 kW.h, maksimum düzeyde nem kaldırmak için harcanan toplam elektrik enerjisi ise 0,860 kW.h’dir.



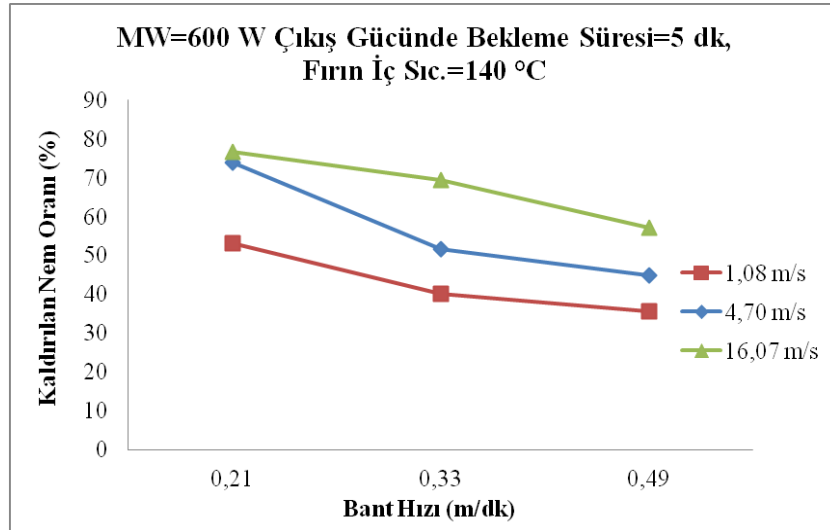
Şekil. 4.9: Farklı bant hızları ve farklı fırın iç sıcaklıklarına göre kaldırılan nem oranının sabit 16,07 m/s sıcak hava akış hızına göre nem oranının değişimi.

Şekil 4.9’da şekilde görüldüğü üzere sabit 16,07 m/s sıcak hava akış hızında, 120°C fırın iç sıcaklığı ve 0,49 m/dk bant hızında minimum kaldırılan nem oranı %33,45 (97 g) ve 0,21 m/dk bant hızı ve 140°C fırın iç sıcaklığında max nem kaldırma oranı %73,10 (212 g) olarak elde edilmiştir. Burada minimum düzeyde nem kaldırmak için harcanan toplam elektrik enerjisi 0,446 kW.h, maksimum düzeyde nem kaldırmak için harcanan toplam elektrik enerjisi ise 1,115 kW.h’dir.



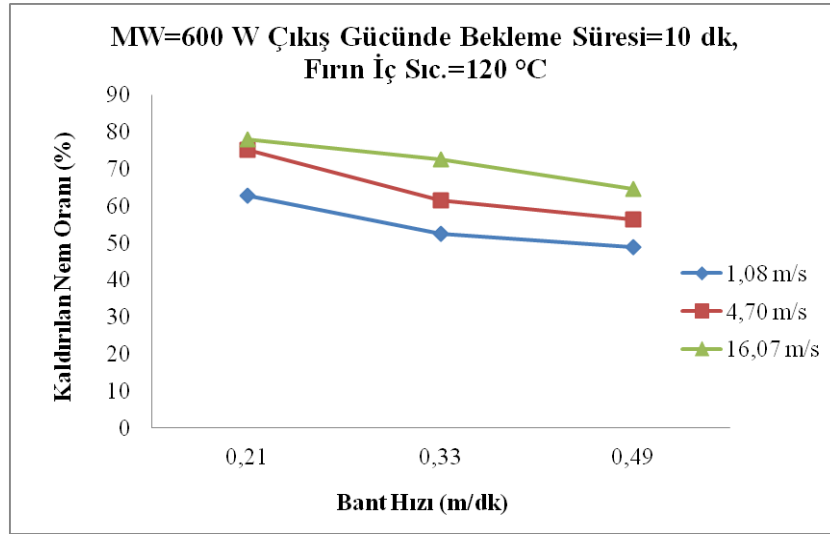
Şekil. 4.10: Farklı bant ve farklı sıcak hava akış hızlarına göre kaldırılan nem oranının değişimi. (MW=600W çıkış gücü, MW bekleme süresi=5 dk, fırın iç sıcaklığı = 120°C)

Şekil 4.10'da, MW=600W çıkış gücünde, MW' de bekleme süresi=5 dk ve fırın iç sıcaklığı=120°C' de gerçekleştirilen kurutma işleminde, farklı bant ve sıcak hava akış hızlarına göre kaldırılan nem oranının değişimi gösterilmektedir. Şekil 4.10'da görüldüğü üzere minimum kaldırılan nem oranı %31,03 (90 g) elde edilirken, maksimum kaldırılan nem oranı ise %73,79 (214 g) olarak elde edilmiştir. Burada minimum düzeyde nem kaldırmak için harcanan toplam elektrik enerjisi 0,299 kW.h, maksimum düzeyde nem kaldırmak için harcanan toplam elektrik enerjisi ise 1,010 kW.h' dir.



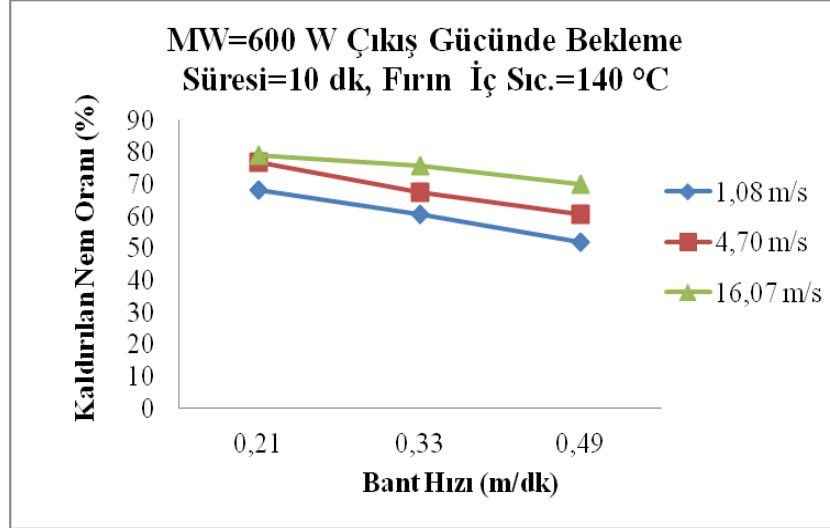
Şekil. 4.11: Farklı bant ve farklı sıcak hava akış hızlarına göre kaldırılan nem oranının değişimi. (MW=600W çıkış gücü, MW' de bekleme süresi=5 dk, fırın iç sıcaklığı= 140°C)

Şekil 4.11’de, MW=600W çıkış gücünde, MW’ de bekleme süresi=5 dk ve fırın iç sıcaklığı=140 °C’de gerçekleştirilen kurutma işleminde, farklı bant ve sıcak hava hızlarına göre kaldırılan nem oranının değişimi gösterilmektedir. Şekil 4.11’de görüldüğü üzere minimum kaldırılan nem oranı %35,52 (103 g) elde edilirken, maksimum kaldırılan nem oranı ise %76,5 (222 g) olarak elde edilmiştir. Burada minimum düzeyde nem kaldırmak için harcanan toplam elektrik enerjisi 0,334 kW.h, maksimum düzeyde nem kaldırmak için harcanan toplam elektrik enerjisi ise 1,161 kW.h’dir.



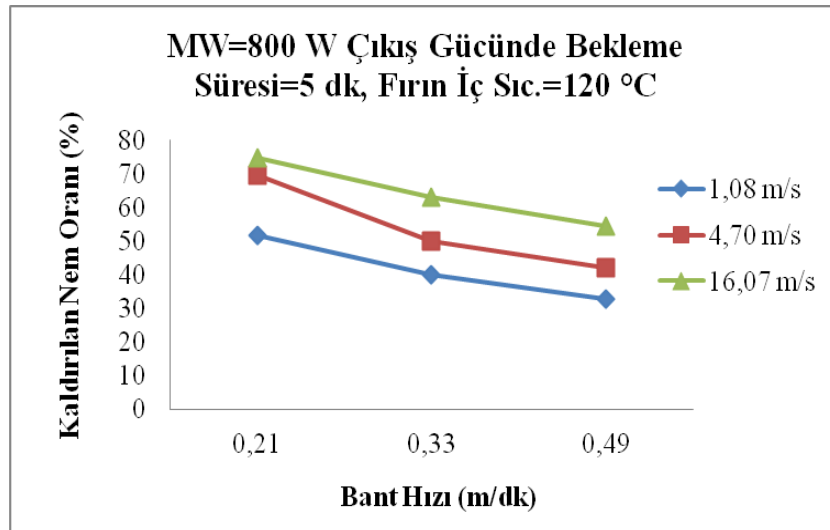
Şekil. 4.12: Farklı bant ve farklı hava akış hızlarına göre kaldırılan nem oranının değişimi. (MW=600W çıkış gücü, MW’ de bekleme süresi=10 dk, fırın iç sıcaklığı=120°C)

Şekil 4.12’de, MW=600W çıkış gücünde, MW’ de bekleme süresi=10 dk ve fırın iç sıcaklığı=120 C’de gerçekleştirilen kurutma işleminde, farklı bant ve sıcak hava akış hızlarına göre kaldırılan nem oranının değişimi gösterilmektedir. Şekil 4.12’de görüldüğü üzere minimum kaldırılan nem oranı %48,97 (142 g) elde edilirken, maksimum kaldırılan nem oranı ise %77,93 (226 g) olarak elde edilmiştir. Burada minimum düzeyde nem kaldırmak için harcanan toplam elektrik enerjisi 0,378 kW.h, maksimum düzeyde nem kaldırmak için harcanan toplam elektrik enerjisi ise 1,071 kW.h’dir.



Şekil. 4.13: Farklı bant ve farklı fan hızlarına göre kaldırılan nem oranının değişimi. (MW=600W çıkış gücü, MW' de bekleme süresi=10 dk, fırın iç sıcaklığı= 140°C)

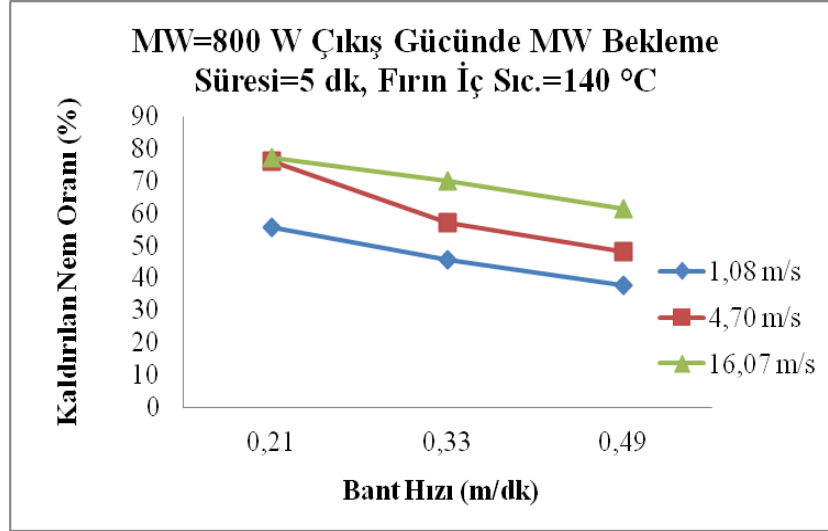
Şekil 4.13'te, MW=600W çıkış gücünde, MW' de bekleme süresi=10 dk ve fırın iç sıcaklığı=140 °C' de gerçekleştirilen kurutma işleminde, farklı bant ve hava akış hızlarına göre kaldırılan nem oranının değişimi gösterilmektedir. Şekil 4.13'te görüldüğü üzere minimum kaldırılan nem oranı %77,24 (226 g) elde edilirken, minimum kaldırılan nem oranı ise %52,07 (146 g) olarak elde edilmiştir. Burada minimum düzeyde nem kaldırmak için harcanan toplam elektrik enerjisi 0,413 kW.h, maksimum düzeyde nem kaldırmak için harcanan toplam elektrik enerjisi ise 1,229 kW.h'dir.



Şekil. 4.14: Farklı bant ve hava akış hızlarına göre kaldırılan nem oranının değişimi. (MW=800W çıkış gücü, MW bekleme süresi=5 dk, fırın iç sıcaklığı= 120°C)

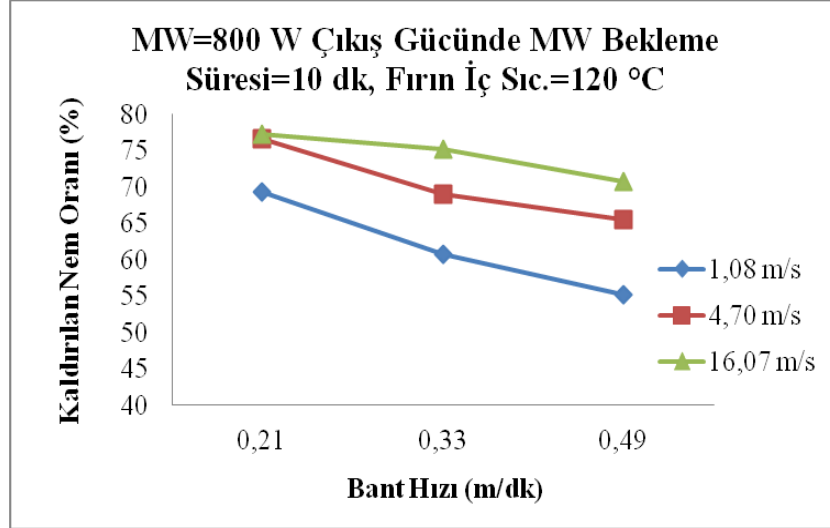
Şekil 4.14'te, MW=800W çıkış gücünde, MW' de bekleme süresi=5 dk ve fırın iç sıcaklığı=120 °C'de gerçekleştirilen kurutma işleminde, farklı bant ve sıcak hava

akış hızlarına göre kaldırılan nem oranının değişimi gösterilmektedir. Şekil 4.14'te görüldüğü üzere minimum kaldırılan nem oranı %32,76 (95 g) elde edilirken, maksimum kaldırılan nem oranı ise %74,83 (217 g) olarak elde edilmiştir. Burada minimum düzeyde nem kaldırmak için harcanan toplam elektrik enerjisi 0,286 kW.h, maksimum düzeyde nem kaldırmak için harcanan toplam elektrik enerjisi ise 0,998 kW.h'dir.



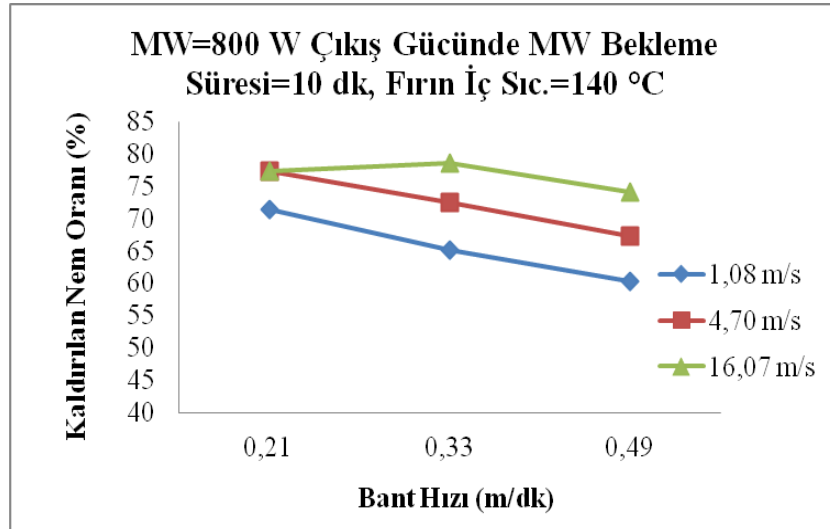
Şekil. 4.15: Farklı bant ve sıcak hava akış hızlarına göre kaldırılan nem oranının değişimi. (MW=800W çıkış gücü, MW' de bekleme süresi=5 dk, fırın iç sıcaklığı=140°C)

Şekil 4.15'te, MW=800W çıkış gücünde, MW'de bekleme süresi=5 dk ve fırın iç sıcaklığı=140 °C'de gerçekleştirilen kurutma işleminde, farklı bant ve sıcak hava akış hızlarına göre kaldırılan nem oranının değişimi gösterilmektedir. Şekil 4.15'te görüldüğü üzere minimum kaldırılan nem oranı %37,59 (109 g) elde edilirken, maksimum kaldırılan nem oranı ise %77,24 (224 g) olarak elde edilmiştir. Burada minimum düzeyde nem kaldırmak için harcanan toplam elektrik enerjisi 0,316 kW.h, maksimum düzeyde nem kaldırmak için harcanan toplam elektrik enerjisi ise 1,139 kW.h'dir.



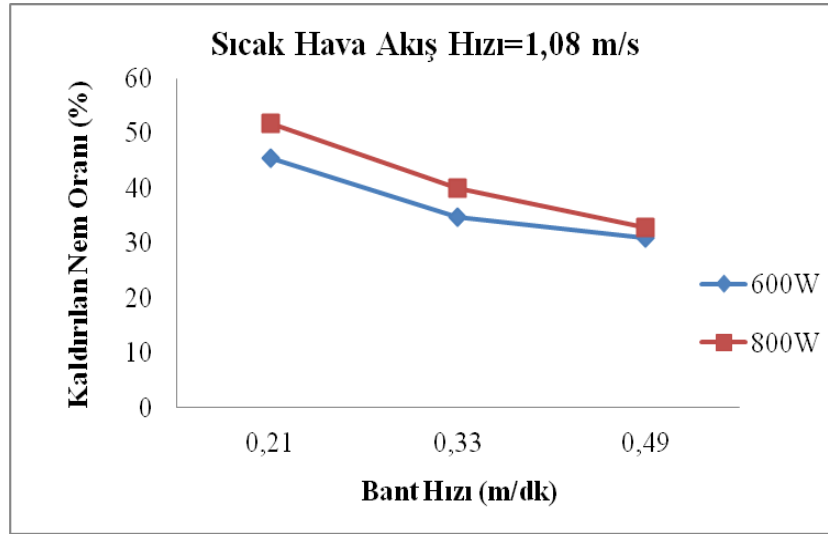
Şekil. 4.16: Farklı bant ve sıcak hava akış hızlarına göre kaldırılan nem oranının değişimi. (MW=800W çıkış gücü, MW' de bekleme süresi=10 dk, fırın iç sıcaklığı=120°C)

Şekil 4.16'de, MW=800W çıkış gücünde, MW' de bekleme süresi=10 dk ve fırın iç sıcaklığı=120 °C'de gerçekleştirilen kurutma işleminde, farklı bant ve hava akış hızlarına göre kaldırılan nem oranının değişimi gösterilmektedir. Şekil 4.16'te görüldüğü üzere minimum kaldırılan nem oranı %55,17 (160 g) elde edilirken, maksimum kaldırılan nem oranı ise %77,24 (224 g) olarak elde edilmiştir. Burada minimum düzeyde nem kaldırmak için harcanan toplam elektrik enerjisi 0,301 kW.h, maksimum düzeyde nem kaldırmak için harcanan toplam elektrik enerjisi ise 1,073 kW.h'tır.



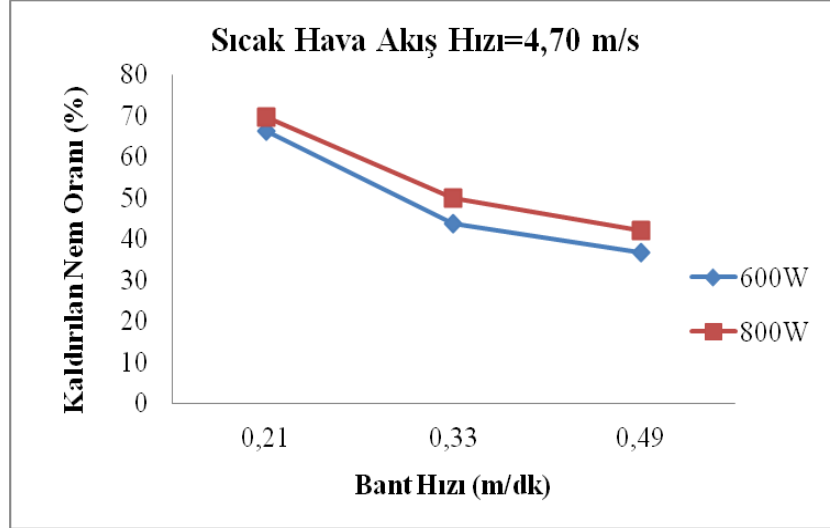
Şekil. 4.17: Farklı bant ve sıcak hava akış hızlarına göre kaldırılan nem oranının değişimi. (MW=800W çıkış gücü, MW' de bekleme süresi=10 dk, fırın iç sıcaklığı=140°C)

Şekil 4.17’de, MW=800W çıkış gücünde, MW’ de bekleme süresi=10 dk ve fırın iç sıcaklığı=140 °C’de gerçekleştirilen kurutma işleminde, farklı bant ve sıcak hava akış hızlarına göre kaldırılan nem oranının değişimi gösterilmektedir. Şekil 4.17’te görüldüğü üzere minimum kaldırılan nem oranı %60,34 (175 g) elde edilirken, maksimum kaldırılan nem oranı ise %77,24 (224 g) olarak elde edilmiştir. Burada minimum düzeyde nem kaldırmak için harcanan toplam elektrik enerjisi 0,424 kW.h, maksimum düzeyde nem kaldırmak için harcanan toplam elektrik enerjisi ise 1,233 kW.h’ dir.



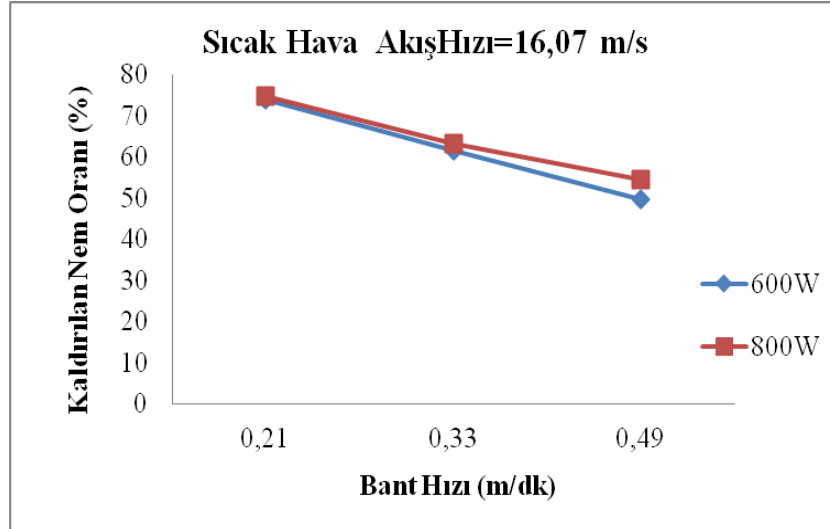
Şekil. 4.18: Farklı bant hızları ve farklı MW çıkış güçlerine göre kaldırılan nem oranının sabit 1,08m/s sıcak hava akış hızına göre nem oranının değişimi. (Viyolün MW’ de bekleme süresi:5 dk, fırın iç sıcaklığı 120°C)

Şekil 4.18’de 1.08m/s sabit sıcak hava akış hızında, 600W MW çıkış gücü ve 0.49m/dk bant hızında minimum kaldırılan nem oranı %31,03 (90 g) ve 0,21m/dk bant hızı ve 800W MW çıkış gücünde maksimum nem kaldırma oranı %51,72 (150 g) olarak elde edilmiştir. Burada minimum düzeyde nem kaldırmak için harcanan toplam elektrik enerjisi 0,299 kW.h, maksimum düzeyde nem kaldırmak için harcanan toplam elektrik enerjisi ise 0,522 kW.h’ dir.



Şekil. 4.19: Farklı bant hızları ve farklı MW çıkış güçlerine göre kaldırılan nem oranının sabit 4,70m/s sıcak hava akış hızına göre nem oranının değişimi. (Viylün MW’de bekleme süresi:5 dk, fırın iç sıcaklığı 120°C)

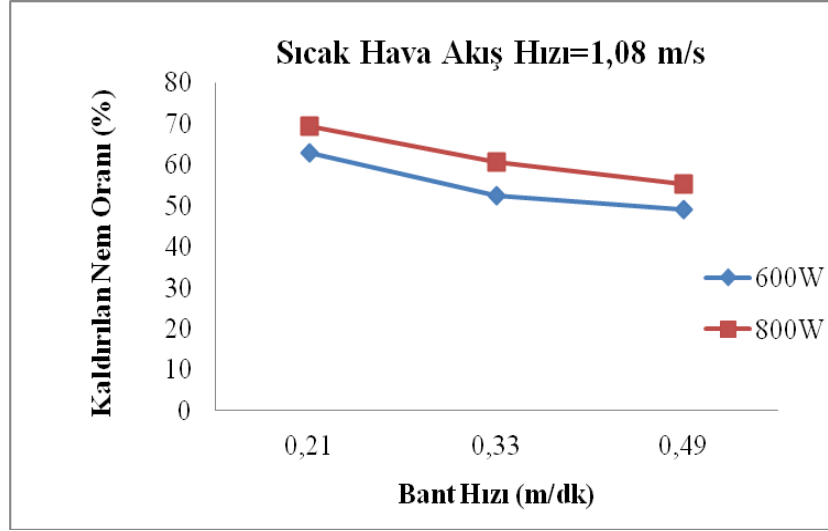
Şekil 4.19’de 4.70m/s sabit sıcak hava akış hızında, 600W MW çıkış gücü ve 0.49m/dk bant hızında minimum kaldırılan nem oranı %36,55 (106 g) ve 0,21m/dk bant hızı ve 800W MW çıkış gücünde maksimum nem kaldırma oranı %69,66 olarak elde edilmiştir. Burada minimum düzeyde nem kaldırmak için harcanan toplam elektrik enerjisi 0,348 kW.h, maksimum düzeyde nem kaldırmak için harcanan toplam elektrik enerjisi ise 0,774 kW.h’ dir.



Şekil. 4.20: Farklı bant hızları ve farklı MW çıkış güçlerine göre kaldırılan nem oranının sabit 16,07m/s sıcak hava akış hızına göre nem oranının değişimi. (Viylün MW’de bekleme süresi:5 dk, fırın iç sıcaklığı 120°C)

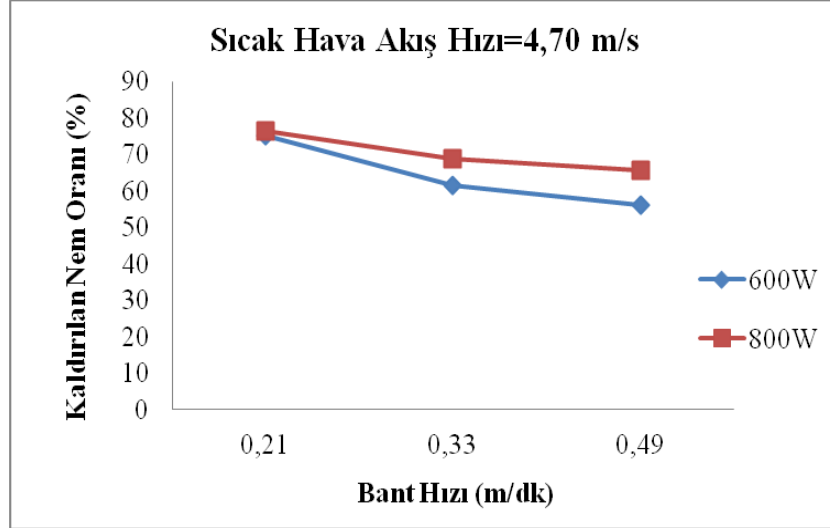
Şekil 4.20’de 16.07m/s sabit sıcak hava akış hızında, 600W MW çıkış gücü ve 0.49m/dk bant hızında minimum kaldırılan nem oranı %49,66 (144 g) ve 0,21m/dk

bant hızı ve 800W MW çıkış gücünde max nem kaldırma oranı %74,83 (217 g) olarak elde edilmiştir. Burada minimum düzeyde nem kaldırmak için harcanan toplam elektrik enerjisi 0,517 kW.h, maksimum düzeyde nem kaldırmak için harcanan toplam elektrik enerjisi ise 0,998 kW.h' dir.



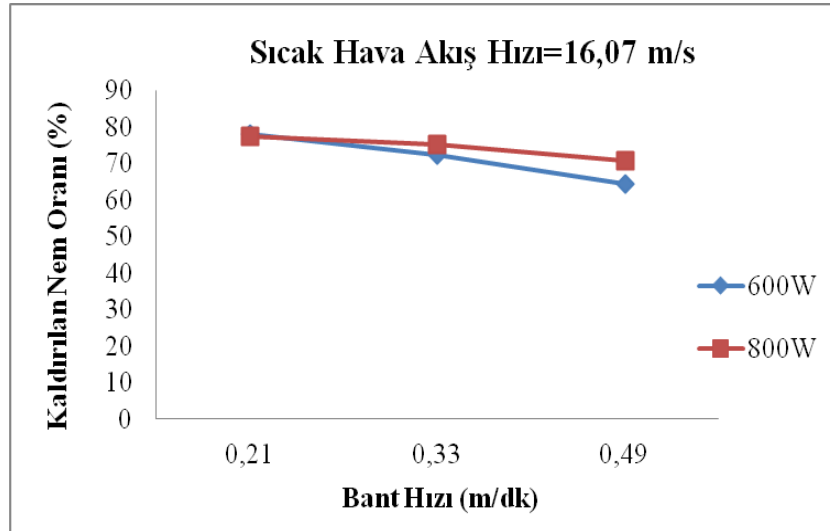
Şekil. 4.21: Farklı bant hızları ve farklı MW çıkış güçlerine göre kaldırılan nem oranının sabit 1,08m/s hava akış hızına hızına göre nem oranının değişimi. (Viyolün MW'de bekleme süresi:10 dk, fırın iç sıcaklığı 120°C)

Şekil 4.21'de 1.08m/s sabit sıcak hava akış hızında, 600W MW çıkış gücü ve 0,49m/dk bant hızında minimum kaldırılan nem oranı %48,97 (142 g) ve 0,21m/dk bant hızı ve 800W MW çıkış gücünde max nem kaldırma oranı %69,31 (201 g) olarak elde edilmiştir. Burada minimum düzeyde nem kaldırmak için harcanan toplam elektrik enerjisi 0,378 kW.h, maksimum düzeyde nem kaldırmak için harcanan toplam elektrik enerjisi ise 0,653 kW.h' dir.



Şekil. 4.22: Farklı bant hızları ve farklı MW çıkış güçlerine göre kaldırılan nem oranının sabit 4,70m/s sıcak hava akış hızına göre nem oranının değişimi. (Viylün MW’de bekleme süresi:10 dk, fırın iç sıcaklığı 120°C)

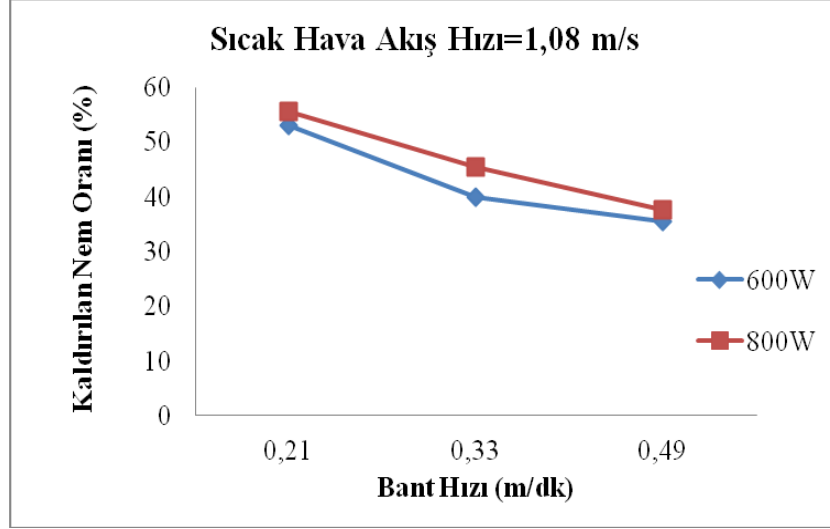
Şekil 4.22’de 4.70m/s sabit sıcak hava akış hızında, 600W MW çıkış gücü ve 0,49m/dk bant hızında minimum kaldırılan nem oranı %56,21 (163 g) ve 0,21m/dk bant hızı ve 800W MW çıkış gücünde max nem kaldırma oranı %76,55 (222 g) olarak elde edilmiştir. Burada minimum düzeyde nem kaldırmak için harcanan toplam elektrik enerjisi 0,434 kW.h, maksimum düzeyde nem kaldırmak için harcanan toplam elektrik enerjisi ise 0,894 kW.h’ dir.



Şekil. 4.23: Farklı bant hızları ve farklı MW çıkış güçlerine göre kaldırılan nem oranının sabit 16,07m/s sıcak hava akış hızına göre nem oranının değişimi. (Viylün MW’de bekleme süresi:10 dk, fırın iç sıcaklığı 120°C)

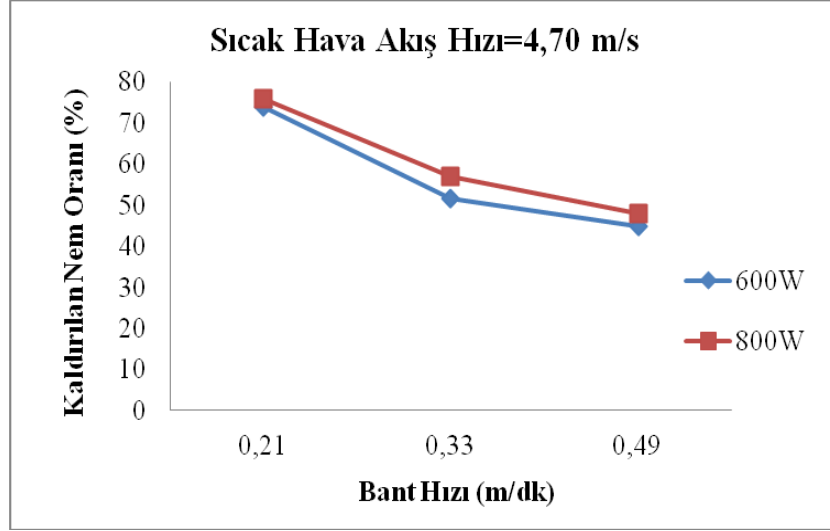
Şekil 4.23’te 16,07m/s sabit fan hızında, 600W MW çıkış gücü ve 0,49m/dk bant hızında minimum kaldırılan nem oranı %64,48 (187 g) ve 0,21m/dk bant hızı ve

800W MW çıkış gücünde max nem kaldırma oranı %77,24 (224 g) olarak elde edilmiştir. Burada minimum düzeyde nem kaldırmak için harcanan toplam elektrik enerjisi 0,588 kW.h, maksimum düzeyde nem kaldırmak için harcanan toplam elektrik enerjisi ise 1,073 kW.h' dir.



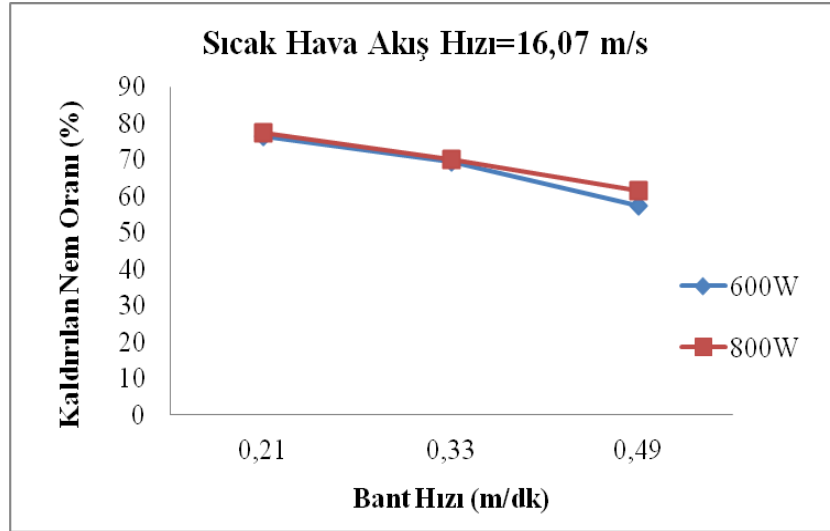
Şekil. 4.24: Farklı bant hızları ve farklı MW çıkış güçlerine göre kaldırılan nem oranının sabit 1,08m/s sıcak hava akış hızına göre nem oranının değişimi. (Viyolün MW'de bekleme süresi:5 dk, fırın iç sıcaklığı 140°C)

Şekil 4.24'te 1,08m/s sabit sıcak hava akış hızında, 600W MW çıkış gücü ve 0,49m/dk bant hızında minimum kaldırılan nem oranı %35,52 (153 g) ve 0,21m/dk bant hızı ve 800W MW çıkış gücünde max nem kaldırma oranı %55,52 (161 g) olarak elde edilmiştir. Burada minimum düzeyde nem kaldırmak için harcanan toplam elektrik enerjisi 0,334 kW.h, maksimum düzeyde nem kaldırmak için harcanan toplam elektirik enerjisi ise 0,588 kW.h' dir.



Şekil. 4.25: Farklı bant hızları ve farklı MW çıkış güçlerine göre kaldırılan nem oranının sabit 4,70m/s sıcak hava akış hızına göre nem oranının değişimi. (Viylün MW’de bekleme süresi:5 dk, fırın iç sıcaklığı 140°C)

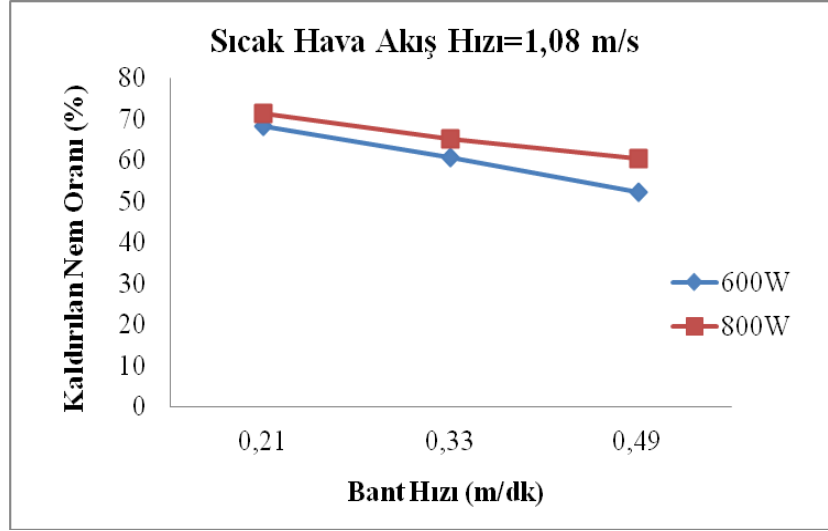
Şekil 4.25’te 4.70m/s sabit sıcak hava akış hızında, 600W MW çıkış gücü ve 0,49m/dk bant hızında minimum kaldırılan nem oranı %44,83 (130 g) ve 0,21m/dk bant hızı ve 800W MW çıkış gücünde max nem kaldırma oranı %75,86 (220 g) olarak elde edilmiştir. Burada minimum düzeyde nem kaldırmak için harcanan toplam elektrik enerjisi 0,415 kW.h, maksimum düzeyde nem kaldırmak için harcanan toplam elektrik enerjisi ise 0,951 kW.h’ dir.



Şekil. 4.26: Farklı bant hızları ve farklı MW çıkış güçlerine göre kaldırılan nem oranının sabit 16,07m/s sıcak hava akış hızına göre nem oranının değişimi. (Viylün MW’de bekleme süresi:5 dk, fırın iç sıcaklığı 140°C)

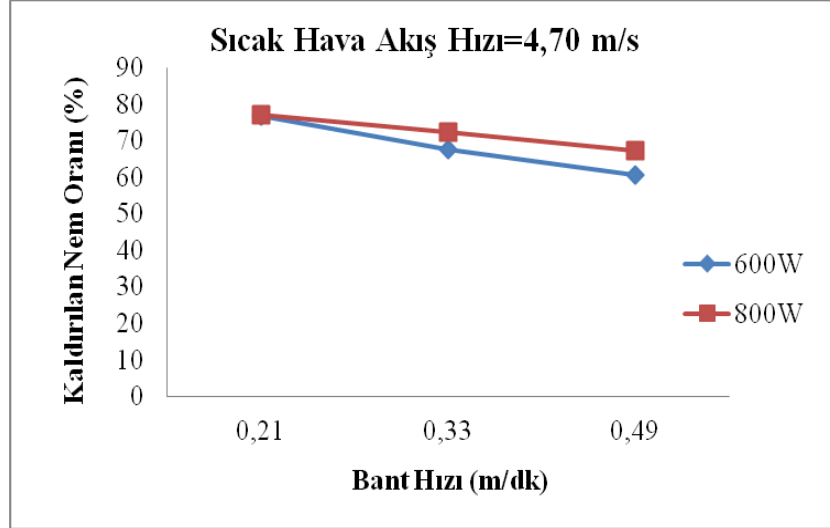
Şekil 4.26’da 16,07m/s sabit fan hızında, 600W MW çıkış gücü ve 0,49m/dk bant hızında minimum kaldırılan nem oranı %57,24 (166 g) ve 0,21m/dk bant hızı ve

800W MW çıkış gücünde max nem kaldırma oranı %77,24 (224 g) olarak elde edilmiştir. Burada minimum düzeyde nem kaldırmak için harcanan toplam elektrik enerjisi 0,603 kW.h, maksimum düzeyde nem kaldırmak için harcanan toplam elektrik enerjisi ise 1,139 kW.h' dir.



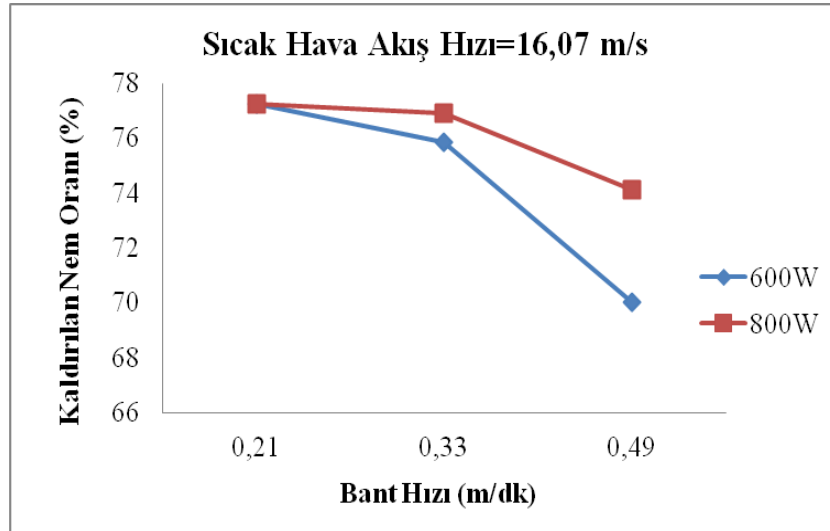
Şekil. 4.27: Farklı bant hızları ve farklı MW çıkış güçlerine göre kaldırılan nem oranının sabit 1,08m/s sıcak hava akış hızına göre nem oranının değişimi. (Viyolün MW'de bekleme süresi:10 dk, fırın iç sıcaklığı 140°C)

Şekil 4.27'da 1,08m/s sabit sıcak hava akış hızında, 600W MW çıkış gücü ve 0,49m/dk bant hızında minimum kaldırılan nem oranı %52,07 (151 g) ve 0,21m/dk bant hızı ve 800W MW çıkış gücünde max nem kaldırma oranı %71,38 (207 g) olarak elde edilmiştir. Burada minimum düzeyde nem kaldırmak için harcanan toplam elektrik enerjisi 0,413 kW.h, maksimum düzeyde nem kaldırmak için harcanan toplam elektrik enerjisi ise 0,629 kW.h' dir.



Şekil. 4.28: Farklı bant hızları ve farklı MW çıkış güçlerine göre kaldırılan nem oranının sabit 4,70m/s sıcak hava akış hızına göre nem oranının değişimi. (Viölün MW’de bekleme süresi:10 dk, fırın iç sıcaklığı 140°C)

Şekil 4.28’de 4,70m/s sabit sıcak hava akış hızında, 600W MW çıkış gücü ve 0,49m/dk bant hızında minimum kaldırılan nem oranı %60,69 (176 g) ve 0,21m/dk bant hızı ve 800W MW çıkış gücünde max nem kaldırma oranı %77,24 (224 g) olarak elde edilmiştir. Burada minimum düzeyde nem kaldırmak için harcanan toplam elektrik enerjisi 0,519 kW.h, maksimum düzeyde nem kaldırmak için harcanan toplam elektrik enerjisi ise 1,022 kW.h’ dir.



Şekil. 4.29: Farklı bant hızları ve farklı MW çıkış güçlerine göre kaldırılan nem oranının sabit 16,07m/s sıcak hava akış hızına göre nem oranının değişimi. (Viölün MW’de bekleme süresi:10 dk, fırın iç sıcaklığı 140°C)

Şekil 4.29’de 16,07m/s sabit sıcak hava akış hızında, 600W MW çıkış gücü ve 0,49m/dk bant hızında minimum kaldırılan nem oranı %70 (203 g) ve 0,21m/dk bant

hızı ve 800W MW çıkış gücünde max nem kaldırma oranı %77,24 (224 g) olarak elde edilmiştir.

Burada minimum düzeyde nem kaldırmak için harcanan toplam elektrik enerjisi 0,684 kW.h, maksimum düzeyde nem kaldırmak için harcanan toplam elektrik enerjisi ise 1,233 kW.h' dir.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Deneylei yapabilmek için prototip konveyörlü MW-fan destekli rezistanslı fırın sistemi özel olarak tasarlanıp imal edilmiştir. Sistem üzerinde 1200W-2450Mhz frekans gücüne sahip ev tipi mikrodalga ve 10kW.h güce sahip rezistanslı fırından oluşmaktadır. Bant hızları ve sıcak hava akış hızları yapılan otomasyon sayesinde ayarlanabilmektedir. Deneylede kullanılan viyoller; farklı magnetron güçlerinde (600W, 800W), mikrodalgada farklı bekleme sürelerinde (5, 10dk), farklı bant hızlarında (0,21 m/dk, 0,33 m/dk, 0,49 m/dk) , farklı sıcak hava akış hızında (1,08 m/s, 4,70 m/s, 16,07 m/s) ve farklı fırın iç sıcaklıklarında (120°C, 140°C) gerçekleştirilmiştir. Deneylede kullanılan viyoller aynı boyut ve aynı özelliklere sahip olup kurutma öncesi ağırlığı 290 g'dır.

Kurutma deneylelerinde 3 aşama izlenmiş olup; farklı magnetron çıkış güçleri ve viyolün MW'da bekletilme süreleri bakımından 4, farklı fırın iç sıcaklıkları, bant hızları ve sıcak hava akış hızlarında 18, MW-fan destekli konveksiyon ile kurutmada 72 adet deney olmak üzere toplam 94 model oluşturulmuştur.

- 1.Aşamada; viyoller 600W ve 800W magnetron çıkış güçlerinde, 5 dk ve 10 dk bekletilerek viyolden çıkan nem oranı hesaplanmıştır.
- 2.Aşamada; fırın iç sıcaklığı 120°C ve 140°C de, farklı bant hızları ve farklı sıcak hava akış hızları uygulanarak, viyolden çıkan nem oranları hesap edilmiştir.
- 3.Aşamada; MW-fan destekli konveksiyon ile kurutmada farklı bant hızları (0,21 m/dk, 0,33 m/dk, 0,49 m/dk), farklı sıcak hava akış hızları (1,08 m/s, 4,70 m/s, 16,07 m/s), farklı fırın iç sıcaklığı (120°C, 140°C) ve farklı magnetron çıkış güçlerinde (600W-800W) farklı sürelerde tutularak (5dk, 10 dk) kurutma deneyleleri yapılmıştır.

Deneylelerden sonra viyolün ağırlığı hassas terazide tartılarak kaldırılan nem miktarları ayrı ayrı hesaplanmıştır.

Yapılan kurutma deneylelerinde, en iyi kurutma özelliği belirlenmeye çalışılmıştır. Sadece MW ile kurutma; kurutmanın zamanını arttırdığı, sadece konveksiyon ısıtma ile kurutma yapmakta tüketilen enerji sarfiyatını arttırdığı görülmüştür. Mikrodalga ve konveksiyon ısıtma yapılan kombine kurutmada uygun kurutmanın olduğu görülmüştür. Kombine kurutmada mikrodalga süresinin uzun olması ve fırın sıcaklığının düşürülmesi, tüketilen enerji miktarını da azalttığı tespit edilmiştir.

Sıcak hava akış hızı ve konveyör bant hızının kurutmada etkili olduğu, yapılan deneylerde görülmüştür. Sıcak hava akış hızının kurutmada etkili olduğu, akış hızının artmasıyla kurutma süresinin azaldığı, buna ters orantılı olarak bant hızı arttıkça ise kurutma süresinin arttığı yapılan deneylerde görülmüştür. MW ve konveksiyon ile yapılan kurutmada görülen en uygun kurutma 800W mikrodalga çıkış gücünde 5 dk bekletilerek, 120°C fırın iç sıcaklığında, 16,07m/s sıcak hava akış hızı ve 0,21 m/dk bant hızında yapılan kurutmada 290 g olan ıslak viyolün ağırlığı 73 g' a düştüğü (kaldırılan nem oranı %74,83, tüketilen enerji 0,998 kW.h), buna en yakın diğer 2 deney ise; 800W mikrodalga çıkış gücünde 10 dk bekletilerek, 120°C fırın iç sıcaklığında, 16,07 m/s sıcak hava akış hızı ve 0,33 m/dk bant hızında yapılan kurutmada 290 g olan ıslak viyolün ağırlığı 72 g' a düştüğü (kaldırılan nem oranı %75,17, tüketilen enerji 0,823 kW.h) ve 600W mikrodalga çıkış gücünde 10 dk bekletilerek, 120°C fırın iç sıcaklığında, 4,70 m/s sıcak hava akış hızı ve 0,21 m/dk bant hızında yapılan kurutmada 290 g olan ıslak viyolün ağırlığı 72 g' a düştüğü (kaldırılan nem oranı %75,17, tüketilen enerji 0,853 kW.h) görülmüştür.

6. KAYNAKÇA

- [1] **Silva, F.A., Marsaioli, J.A., Maximo, G.J., Silva, M.A.A.P., and Gonçalves, L.A.G.,** 2006. Microwave Assisted Drying of Macadamia Nuts. *Journal of Food Engineering*, (77): 550-558.
- [2] **Sharma, G.P. and Prasad, S.,** 2006. Optimization of Process Parameters For Microwave Drying of Garlic Cloves, *Journal of Food Engineering*, 75(4): 441-446.
- [3] **Tunçer, İ.K.,** 1990. Characterization and Drying of Vegetables By Hot Air And Microwave Energy, In *Proceedings of The 4th International Congress On Mechanization And Energy In Agriculture*, 472-480, Adana, Turkey (In Turkish).
- [4] **Tunçer, I.K.,** 2006. Mikrowellen Bandtrockner Für Die Trocknung Von Gewürzpaprika, *Deutsch Türkische Agrarforschung*, 8.Symposium vom 04. Oktober-08. Oktober 2005 an der Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft(FAL) in Braunschweig, 209-214, Cuvillier Verlag-Göttingen.
- [5] **Eren, Ö., Soysal, Y., Öztekin, S., ve Doğantan, Z.S.,** (2005). Mikrodalga Sistemi ile Donatılmış Bir Bantlı Kurutucuda Maydanoz Kurutulması, III. Tarımsal Ürünleri Kurutma Tekniği Çalıştayı, Antalya.
- [6] **Özkan, İ.A., Işık, E.,** (2001). Domatesin Mikrodalga Işınlarla Kurutulmasındaki Kurutma Parametreleri, *Tarımsal Mekanizasyon 20. Ulusal Kongresi*, 418-422, Şanlıurfa.
- [7] **HOLME, I., and Metaxas, A.C.,** (1979). Microwave Drying Of Nylon Tufted Carpets, 3. Field Trials, *Journal of Microwave Power*, 14(4): 367-382.
- [8] **GOERZE, D., and Jolly, J.,** (1967). The Economic Advantages of Microwave Drying in Paper Industry, *Journal of Microwave Power*, 2'87-94.
- [9] **ROUSSY, G., and Thiebaut, J.,** (1988). A Kinetic Model for Microwave Drying of Paper, *Journal of Microwave Power and Electromagnetic Energy*, 23: 29-37.
- [10] **KUMAR, P.,** (1991). Effect of Microwave Drying on Paper Properties, (Master of Engineering), *Chemical Engineering Mcgill University*, Canada.
- [11] **Erdem, T.,** 2007. Ozonlu Su İle Yıkanan Kırmızı Pul Biberin Mikrodalga Enerjisi İle Kurutulması. *Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Adana.
- [12] **Erarslan, D., Heperkan, D.,** 2006. Fındıkta Mikrodalga ile Kurutmanın Küfler Üzerine Etkisinin incelenmesi, *Türkiye 9. Gıda Kongresi*, 24-26 Mayıs, Bolu.
- [13] **Url-1**<http://www.gurmas.com/haberler/yeni-bir-is-viol-yapimi.html>, 07.05.2013.
- [14] **Meredith, R.,** (1998). *Engineers' Handbook of Industrial Microwave Heating*, Johns, A.T., Warne, D.F., Vol:25, The Institution of Electrical Engineers, London.
- [15] **MEHZİDAZEH, M.,** (2010). *Microwave/RF Applicators and Probes*, Vol:1, Pp: 99, U.S.A.

- [16] **Torgovnikov, G.I.**, 1993. Dielectric Properties of Wood and Wood-Based Materials, Springer-Verlag, Berlin.
- [17] **Konak, Ü.İ., ve Certel, M., Helhel, S.**, 2009. Gıda Teknolojileri ve Elektronik Dergisi,cilt 4 no:3 (20/31).
- [18] **Url-2** <http://www.mikrodry.com/hizmetler/mikrodalga-teknolojisi> 07.05.2013
- [19] **Karaaslan, S.**, 2008. Sebze ve Endüstri Bitkilerinin Mikrodalgayla Kurutulması Üzerine Çalışmalar, Çukurova Üniversitesi, fen bilimleri enstitüsü, Tarım makinaları anabilim dalı, Adana.

ÖZGEÇMİŞ



Ad Soyad :Sadettin EKİN
Doğum Yeri ve Tarihi :Midyat / 1980
Adres :Konak / İZMİR
Lisans Üniversite :Kocaeli Üniversitesi Makine Eğitim Bölümü
Otomotiv Öğretmenliği A.B.D.