



**MİKROALGLERİN İNCE TABAKA KURUMA DAVRANIŞI
VE KURUMA MODEL EŞİTLİĞİNİN BELİRLENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
Ethem Enes GÜZELER**

Anabilim Dalı: Biyomühendislik

Tez Danışmanı: Doç.Dr. Mehmet KALENDER

EKİM-2019

T.C
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MİKROALGLERİN İNCE TABAKA KURUMA DAVRANIŞI VE KURUMA
MODEL EŞİTLİĞİNİN BELİRLENMESİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ
ETHEM ENES GÜZELER
151132104

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih: 11.07.2019

Tezin Savunulduğu Tarih: 22.10.2019

Tez Danışmanı : Doç.Dr. Mehmet KALENDER

Diğer Jüri Üyeleri : Prof.Dr. Hakan KALENDER

Doç.Dr. Ayşegül Ülkü METİN



EKİM-2019

ÖNSÖZ

Bu tez çalışmasının gerçekleştirilmesinde, değerli bilgilerini benimle paylaşan, kendisine ne zaman danışsam bana değerli zamanını ayırıp sabırla ve ilgiyle bana faydalı olabilmek için elinden gelenin fazlasını yapan ne zaman sorun yaşasam yanına çekinmeden gidebildiğim, güler yüzünü ve samimiyetini benden asla esirgemeyen ve gelecekteki mesleki hayatımda da bana verdiği çok önemli ve değerli bilgilerden faydalanacağımı düşündüğüm kıymetli ve değerli danışman hocam Doç. Dr. Mehmet KALENDER'e sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Deneysel çalışmalarım sırasında bana manevi desteklerinden dolayı Dr. Öğr.Üyesi Aykut TOPDEMİR'e, bugünlere gelmemde üzerimde büyük pay sahibi olan aileme ve sevgili eşim Bilge GÜZELER'e teşekkürü bir borç bilirim.

Ethem Enes GÜZELER

Elâzığ-2019

İÇİNDEKİLER

Sayfa No:

ÖNSÖZ.....	I
İÇİNDEKİLER.....	II
ÖZET	V
SUMMARY	VII
ŞEKİLLER LİSTESİ	IX
TABLolar LİSTESİ	XI
SİMGELER LİSTESİ	XII
1. GİRİŞ	1
2. GENEL BİLGİ.....	3
2.1. Alglerin Sınıflandırılması.....	3
2.2. Alglerin Morfolojik ve Sitolojik Özellikleri	4
2.2.1. Hücre Çeperi.....	5
2.2.2. Stoplazma	5
2.2.3. Çekirdek	5
2.2.4. Hareket Organelleri	6
2.2.5. Plastidler	6
2.3. Mikroalg Gelişimine Etki Eden Faktörler	6
2.3.1. Işık	7
2.3.2. Sıcaklık	8
2.3.3. Karıştırma	8
2.3.4. pH	9
2.3.5. Besinler.....	10
2.3.6. Tuzluluk.....	10
2.4. Alglerin Kullanım Alanları	11
2.4.1. Alglerin Tıp ve Eczacılık Alanında Kullanımı.....	11
2.4.2. Alglerin Yem ve Gıda Alanında Kullanımı.....	13
2.4.3. Alglerin Tarımda Kullanımı	13
2.4.4. Alglerin Atık Su Arıtımında Kullanımları	14
2.4.5. Alglerin Yakıt Olarak Kullanılmaları.....	14
2.4.6. Alglerin Diğer Kullanım Alanları ve Elde Edilen Ürünler.....	16

2.5. Kurutma.....	18
2.5.1. Kurutmanın Genel Prensipleri	19
2.5.2. Nemlilik.....	20
2.5.3. Sıvı-Gaz Dengesi.....	21
2.6. Kuruma Hızları ve Su Transfer Mekanizması.....	23
2.6.1. Kuruma Hızları	24
2.6.2. Sabit Hız Periyodu.....	24
2.6.3. Azalan Hız Periyodu.....	25
2.6.4. Su Buharı Transfer Mekanizması	26
2.6.4.1. Difüzyon Teorisi	27
2.6.4.2. Kapiler Teori.....	28
2.7. Kurutucu Tipleri.....	29
2.7.1. İletim ile Kurutma	29
2.7.2. İnfrared (Kızılötesi) Radyant Kurutma.....	29
2.7.3. Kızıl Ötesi Işınımlı Kurutma	29
2.7.4. Dondurarak Kurutma.....	30
2.7.5. Vakumlu Döner Kurutma	30
2.7.6. Akışkanlaştırılmış Yatakta Kurutma	31
2.7.7. Püskürtmeli Kurutucular	31
2.7.8. Döner Kurutucular	32
2.7.9. Dielektrik Kurutma.....	33
2.7.10. Tepsili Kurutucular	33
2.7.11. Tünel Kurutucular.....	33
2.7.12. Mikrodalga Kurutma	35
3. MATERYAL VE METOT.....	36
3.1. Alg Temini ve Hazırlanışı	36
3.2. Tepsili Kurutucu Deneyleri	37
3.3. Karakterizasyon Testleri	38
3.3.1. Protein Analizi	38
3.3.2. Yağ Analizi (Soxhlet cihazı ve deneyin yapılışı)	38
4. SONUÇLAR VE TARTIŞMA.....	40
4.1. Mikroalg Örneklerine Ait Kuruma Eğrileri	40
4.2. Mikroalg Örneklerine Ait Kuruma Hızı Eğrileri.....	42

4.3. Karışık Mikroalg Biyokütlesinin (KMB) Kuruması İçi Etkin Difüzyon Katsayılarının Belirlenmesi.....	50
4.4. KMB Kuruma Olayının Modellenmesi.....	52
4.5. Üretilen KMB' lerinin Karakterizasyon Sonuçları	57
4.5.1. FTIR Sonuçları	57
4.5.2. SEM Sonuçları.....	59
KAYNAKLAR.....	62
ÖZGEÇMİŞ.....	67



ÖZET

Bu çalışmada, Porsuk çayına ait karışık kültür mikroalg örneklerinin çoğaltılarak kuruma davranışı ve kuruma model eşitliği belirlenmiştir. Bu amaçla, alg kültürü hava kaldırmalı bir fotobiyoreaktörde çoğaltılmıştır. Üretilen karışık mikroalg biyokütlesi (KMB) örneklerinin, bir tepsili kurutucuda kurutma deneyleri gerçekleştirilmiştir. 30 L hacim kapasiteli fotobiyoreaktör başlıca zaman ayarlı ışıklandırma ve havalandırma ekipmanlarından oluşmaktadır. KMB üretiminde literatürde de çok kullanılan Zarrouk besi yeri ortamı kullanılmıştır. Besi yeri hazır olan reaktöre aşılama ile ilave edilen karışık mikroalg kültürü 15 gün süre ile çoğaltılmıştır. Deney süresi sonunda reaktörlerden toplanan KMB örnekleri santrifüj edildikten sonra kurutma deneylerinde kullanılmak üzere +4 °C’de muhafaza edilmiştir. Kurutma deneyleri 0,5-1,5 m/s hava akış hız aralığı, 30-60 °C sıcaklık aralığı ve atmosferik şartlarda yürütülmüştür. Tipik bir kurutma deneyi, sıcaklık ve hava akış hızı ayarlanmış kurutucu haznesine yerleştirilen belirli bir miktar KMB’nin belirli zaman aralıklarında ağırlığının ölçülmesi şeklinde yapılmıştır. KMB örneklerinin ölçülen son iki ağırlık değeri yaklaşık aynı olunca deneyler sonlandırılmıştır. Süre ilerledikçe KMB nem içeriği değerlerinin çalışılan tüm sıcaklık değerlerinde azalarak sıfıra düştüğü gözlenmiştir. Kuruma eğrilerinden, 1,5 m/s akış hızı hariç, hava akış hızının sıcaklığa nazaran kuruma süresini belirgin şekilde etkilemediği sonucuna ulaşılmıştır. Düşük sıcaklıklarda (30 ve 40 °C) kuruma hızı eğrileri KMB örnekleri için tüm kurumanın iki ya da daha çok kademeli sabit hız periyodunda gerçekleştiğini göstermiştir. Bu durum kurumanın katı yüzeyinde meydana geldiğinin göstergesidir.

Yüksek sıcaklıklarda (50 °C ve özellikle 60 °C) KMB kuruma olayının azalan hız periyodunda olduğu görülmüştür. 50 ve 60 °C’de KMB kuruma verilerinden faydalanarak oluşturulan t-lnM grafikleri yardımıyla etkin difüzyon katsayıları da hesaplanmıştır. Etkin difüzyon katsayısı değerlerinin hava akış hızından pek fazla etkilenmediği, buna karşılık artan sıcaklık ile arttığı belirlenmiştir. Bu çalışmada kuruma deney verilerinin çeşitli kuruma model eşitlikleri ile istatistiksel olarak karşılaştırılması da yapılmıştır. İstatistiksel analiz sonucunda KMB örneklerinin kuruma olayını en iyi Modified Page eşitliğinin temsil ettiği saptanmıştır. Bu çalışmanın son aşamasında kurutulan KMB örneklerinin karakteristik analizleri gerçekleştirilmiştir. Protein, yağ, SEM, FTIR gibi analizler

sonucunda genel olarak literatürdeki mikroalg örneklerine benzer sonuçlar elde edildiği söylenebilir.

Anahtar Kelimeler: Karışık Kültür Mikroalg biyokütlesi; kurutma; Tepsili kurutucu; Modelleme



SUMMARY

Thin Layer Drying Behavior of Microalgae and Determination of Drying Model Equation

In this study, mixed culture microalgae samples of Porsuk streamlet were grown and their drying behaviour and drying model equation were determined. For this purpose, the growing experiments of the microalgae samples were carried out in an airlift photo bioreactor. The drying experiments of mixed microalgae biomass (MMB) harvested were performed by a tray drier. The photo bioreactor with a capacity of 30 L is mainly composed of timed lighting and ventilation equipment. Zarrouk broth medium which is widely used in literature was used in MMB growing. The mixed microalgae culture which was added by inoculation to the ready reactor was grown for 15 days. At the end of the growing experimental period, MMB samples harvested from the phot bioreactors were centrifuged and stored at +4 ° C for use in drying experiments. Drying experiments were conducted with various air flow rates (0.5-1.5 m/s), in the temperature range of 30-60 ° C and at atmospheric pressure. A typical drying test was done by measuring the weight of a certain quantity of MMB placed in the dryer chamber with temperature and air flow rate set at certain time intervals. The drying experiments were ended when the last two weight values of MMB samples were the same. In all studied temperature values, it was observed that moisture content values of MMB samples equal to zero by decreasing. From the drying curves, it was concluded that the air flow rate did not significantly affect the drying time compared to the temperature, except for a flow rate of 1.5 m/s. Drying rate curves at low temperatures (30 and 40 ° C) showed that the drying phenomena of MMB took place at a constant rate period with two or more stages due to surface drying. At high temperatures (50 °C and in particular 60 °C.), it was observed that MMB drying was carried out in the falling rate period. Effective diffusion coefficients at the temperatures of 50 and 60 °C were also calculated by using $t\text{-ln}M$ graphs obtained from MMB drying data. It was determined that the effective diffusivities were not affected much by air flow rate but increased with increasing temperature. Also, in this study, drying test data were compared statistically with various drying model equations. As a result of the statistical analysis, it was found that the drying phenomena of MMB samples represented the best Modified Page equation. In the last stage of this study, the characteristic analyses of MBM

samples dried were performed. It can be said that the characteristics test results such as protein, oil, SEM, and FTIR of MMB samples are similar to the properties of some microalgae samples existed in the literature.

Keywords: Mixed Culture Microalgae biomass; Drying; Tray dryer; Modelling



ŞEKİLLER LİSTESİ

Sayfa No:

Şekil 2.1.	Alglerin renlere göre sınıflandırılması: a) Mavi-Yeşil Algler (<i>Cyanophyta</i>), b) Yeşil Algler (<i>Chlorophyta</i>), c), Kırmızı Algler (<i>Rhodophyta</i>), d) Kahverengi Algler (<i>Phaeophyta</i>).....	3
Şekil 2.2.	25 °C’de bulunan farklı katılara ait denge nemi eğrileri; 1. kâğıt (yeni baskı), 2. yün (örülmüş), 3. nitroselüloz, 4. ipek, 5. kösele (bitkisel dibağ), 6. kaolin, 7. tütün yaprağı, 8. sabun, 9. tutkal.	22
Şekil 2.3.	Tipik kuruma eğrileri.....	25
Şekil 2.4.	Sabit ve azalan hız periyodunda kuruma hızları.....	27
Şekil 2.5.	Gözenekli katılara ait tipik bir kuruma hızı eğrisi	28
Şekil 2.6.	Dondurarak kurutma sistemi.....	30
Şekil 2.7.	Vakum altında çalışan tek silindirli kurutucu: A, kurutma silindiri; B, kaplama; C, miller; D, döner bağlantı; E, besleme pompası; F, besleme akımı için giriş borusu; G, silindir besleme teknesi; H, yayıcı; J, kazıyıcı bıçak; K, kazıyıcı bıçağı ayarlayan çark; L, ürünü taşıyan konveyör; M, ürün tanklarına ait açıp kapama vanası; N, ürün depolama tankları; P, gözetleme pencereleri; Q, buhar çıkışı; R, bakım için giriş kapağı	31
Şekil 2.8.	Püskürtmeli kurutucu ünitesinin süreç şeması.....	32
Şekil 2.9.	Döner kurutucu: A, hava ısıtıcısı; B, sabit başlık; C, kurutucu gövdesi; D, sızdırmazlık halkası; E, sızdırmazlık halkası dayanağı; F, sızdırmazlık parçası; G, çemberler; H, dayanma silindirleri J, güvenlik (saplama) silindirleri; K, döndürme dişlileri; L, motor ve hız düzenleyici; M, hava çıkış başlığı; N, besleme oluğu; P boşaltma vantilatörü, Q, kanatlar.....	32
Şekil 2.10.	Yüksek frekans etkili ısı pompası.....	33
Şekil 2.11.	Kabinli Kurutucu Örneği	34
Şekil 2.12.	Tünel tip kurutucuda vagonlarda malzeme akışı, hava akışı ve tekrar dolaşım uygulaması.....	34
Şekil 2.13.	Mikrodalga destekli hava kurutma sistemi	35
Şekil 2.14.	Endüstriyel mikrodalga kurutma	35
Şekil 3.1.	Hava kaldırmalı fotobiyoreaktör.....	36
Şekil 3.2.	Tünel tipi kurutucu şekli.....	37

Şekil 3.3.	Tünel tipi kurutucu görüntüsü. (1-Fan 2-Rezistans bölgesi 3-Hidro dinamik geçiş bölgesi 4-Terazi Bölgesi 5-Terazi 6-Kontrol paneli 7- Dijital Termometre 8-Bilgisayar).....	38
Şekil 3.4	Soxhlet düzeneği.....	39
Şekil 4.1.	30°C’de farklı akış hızlarında yapılan kurutma işlemine ait kuruma eğrisi.....	40
Şekil 4.2.	40°C’de farklı akış hızlarında yapılan kurutma işlemine ait kuruma eğrisi.....	41
Şekil 4.3.	50°C’de farklı akış hızlarında yapılan kurutma işlemine ait kuruma eğrisi.....	41
Şekil 4.4.	60°C’de farklı akış hızlarında yapılan kurutma işlemine ait kuruma eğrisi.....	42
Şekil 4.5	Farklı sıcaklıklarda 1 m/s akış hızlarındaki kuruma eğrileri	43
Şekil 4.6.	30°C’de 0,5 m/s akış hızında kuruma hızı eğrisi	44
Şekil 4.7.	30°C’de 1 m/s akış hızında kuruma hızı eğrisi	44
Şekil 4.8.	30°C’de 1,5 m/s akış hızında kuruma hızı eğrisi	45
Şekil 4.9.	40°C’de 0,5 m/s akış hızında kuruma hızı eğrisi	45
Şekil 4.10.	40°C’de 1 m/s akış hızında kuruma hızı eğrisi	46
Şekil 4.11.	40°C’de 1,5 m/s akış hızında kuruma hızı eğrisi	46
Şekil 4.12.	50°C’de 0,5 m/s akış hızında kuruma hızı eğrisi	47
Şekil 4.13.	50°C’de 1 m/s akış hızında kuruma hızı eğrisi	47
Şekil 4.14.	50°C’de 1,5 m/s akış hızında kuruma hızı eğrisi	48
Şekil 4.15.	60°C’de 0,5 m/s akış hızında kuruma hızı eğrisi	48
Şekil 4.16.	60°C’de 1 m/s akış hızında kuruma hızı eğrisi	49
Şekil 4.17.	60°C’de 1,5 m/s akış hızında kuruma hızı eğrisi	49
Şekil 4.18.	KMB örneklerine ait 50 °C’de lnM-t grafiği	50
Şekil 4.19.	KMB örneklerine ait 60 °C’de lnM-t grafiği	51
Şekil 4.20.	RMSE ve RSS değişimleri	56
Şekil 4.21.	Ki-kare ve R değişimi.....	57
Şekil 4.22.	1,5 m/s hava akış hızında çalışılan sıcaklıklarda kurutulan KMB’ ya ait FTIR spektrumları	58
Şekil 4.23.	Mikroalg örneklerinin 50 °C’de çalışılan hava akış hızlarındaki FTIR spektrumları	58
Şekil 4.24.	30 °C 0,5 m/s akış hızı	59
Şekil 4.25.	40 °C 0,5 m/s akış hızı.....	60
Şekil 4.26.	50 °C 0,5 m/s akış hızı.....	60
Şekil 4.27.	60 °C 0,5 akış hızı.....	61

TABLÖLAR LİSTESİ

Sayfa No:

Tablo 2.1. Alg sınıflandırma sistemi.....	4
Tablo 2.2. Mikroalg üretiminde etkili olan parametreler.....	6
Tablo 3.1. Zarrouk besi ortamı içeriği	37
Tablo 4.1. 30-60 °C aralıklarındaki difüzyon kat sayılarının karşılaştırılması	51
Tablo 4.2. Bu çalışmada kullanılan türetilmiş kurutma model eşitlikleri.....	52
Tablo 4.3. Üretilen KMB kuruması için istatistiksel analiz sonucu elde edilen model sabitleri ve istatistiksel parametre değerleri	55

SİMGELER LİSTESİ

C	: Difüzlennen bileşen konsantrasyonu (kmol m^{-3})
D	: Difüzyon katsayısı ($\text{m}^2 \text{s}^{-1}$)
M	: Ayrılabilir nem oranı () (-)
MR	: İstatistiksel analizlerde kullanılan ayrılabilir nem oranı
L	: Katı içerisinde difüzyonun gerçekleştiği boyutun kalınlığı (m)
T	: Zaman (dak.)
T	: Sıcaklık ($^{\circ}\text{C}$)
W	: Katının t anındaki nem içeriği (kg nem/kg kuru madde)
wo	: Katının başlangıç nem içeriği (kg nem/kg kuru madde)
we	: Katının denge nem içeriği (kg nem/kg kuru madde)
x	: Katı içerisinde difüzyonun gerçekleştiği konum (m)

1. GİRİŞ

Algler veya bir diğer adıyla yosunlar; genellikle fotosentetik canlılar olmasına rağmen, bitkiler alemine yakın akraba değildirler. Bitkilere benzeyen sucul canlılar olarak da tanımlanabilirler. Fotosentez sonucu oluşan ürünlerini nişasta olarak depo etmezler. Kloroplast alglerde sitoplazma içinde serbest olarak değil, granüler endoplazmik retikulum üzerinde bulunur. Bitkilerde olmayan farklı bir pigment bulundurlar ve klorofil-c taşırlar. Farklı renkleri bu pigment sayesinde oluşur.

Değerli bir besin kaynağı olan algler, besin zincirinin önemli bir kısmını oluştururlar. Farklı biyolojik ve kimyasal bileşenleri üretebilme özelliğine sahip olan algler, bu özellikleri nedeniyle günümüzde ticari amaçla kullanılmaktadır. Alglerin üretebildiği bileşenler; proteinler, mineraller, polisakkaritler ve lipidler gibi önemli bileşenlerdir. Algler günümüzde balık yetiştiriciliği dışında ilaç, kozmetik ve gıda gibi birçok alanda kullanılmaktadır (Gezici, 2012). Algler, güneş enerjisinin yardımı ile biyokütle oluşturabilen en ekonomik ve en etkili deniz canlılarıdır. Su yosunu olarakta bilinen algler, dünyanın ihtiyacı olan fotosentetik karbon ihtiyacının büyük çoğunluğunu karşılamakta ve deniz canlılarının da besin ihtiyacını gidermektedir (Özdemir ve Erkmen, 2013).

Ekilebilir alanın kısıtlı, nüfusun ise fazla olduğu ülkelerde, algler 17.yy'dan beri önemli bir gıda kaynağıdır. ABD ve Batı Avrupa ülkelerinde algler teknolojik araştırmalarda kullanılmıştır. Denizde doğal üreyen alglerden faydalanılarak alg endüstrisinin kaynak sorununun önüne geçilmeye çalışılmıştır. Ülkemizde de bileşen yönünden önem taşıyan türler üzerinde yapılan çalışmalarda alglerden karragen, vitamin B₁₂, agar ve selüloz elde edilmiştir. Alglerin endüstriyel alandaki kullanımları makro ve mikro düzeyde farklıdır. Mikroalg üretiminde kontaminasyon riski yüksektir. Bu yüzden endüstriyel hammadde üretiminde daha çok deniz algleri (*Gracilaria*, *Laminaria* gibi) seçilmektedir. (Aktar ve Cebe, 2010). Japonya'da kültürü yapılan su ürünlerinin oranının incelendiği araştırmalara bakıldığında, %58,3'lük bir oranla en yüksek payı algler alırken, kabuklu deniz hayvanları ve deniz balıkları ise daha sonralarda yer almaktadır (Kocataş, 2005). Ekonomik öneme sahip deniz alglerini 3 başlık altında toplayabiliriz: Kırmızı Algler (*Rhodophyceae*), Yeşil algler (*Chlorophyceae*), Kahverengi algler (*Phaeophyceae*). Uzak doğuda üretilen ilk kırmızı alg ürünü agardır ve sonrasında

Avrupa’da tanınmıştır. Avrupa’da marmelatları katılaştırıcı olarak kullanılmıştır (Oğur, 2016). Yapılan araştırmalarda 30 farklı alg türünün bağışıklık sistemi üzerindeki düzenleyici etkisi saptanmıştır. Bu araştırmalardaki en önemli unsur ise, her türün birçok patojene karşı olan antiviral özelliğidir. Araştırmacılara göre; bu algler bakteri, mantar ve viral patojeniteye karşı direnç sağlamaktadır (Meenakshi ve ark., 2012). Son yıllarda algleri kullanarak yenilebilir enerji üretimi üzerinde yoğun araştırmalar yapılmaktadır. Alglerden; yağ, biyodizel ve biyogaz üretimi üzerine birçok çalışma yapılmıştır. Son yıllarda da alglerden biyoetanol üretme konusunda çalışmalar mevcuttur (Amouzgar ve ark., 2010; Aziz ve ark., 2013; Khedkar ve ark., 2017; Sumprasit ve ark., 2017).

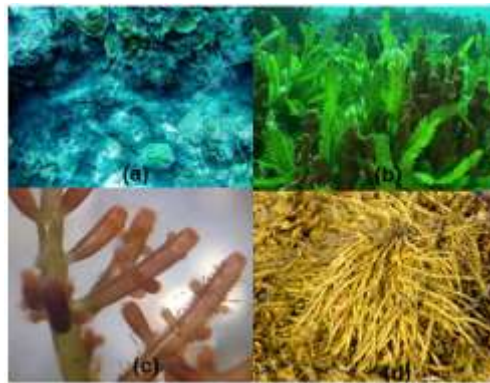
Alglerin gerek gıda gerek enerji sektörü başta olmak üzere hemen hemen tüm üretim prosesleri incelendiğinde, kurutma birincil öneme sahip bir ön işlem olarak görülebilir. Diğer birçok endüstriyel üretimde de sıklıkla karşılaşılan kurutma prosesi kimya, gıda ve biyomühendislikte de önemli bir temel işlemdir. Katı yapısındaki nemin uzaklaştırılması olarak tanımlanabilecek kurutma endüstriyel birçok teknikle gerçekleştirilebilir. Doğal güneş ortamı gibi ilkel kurutma yönteminin yanında sıcak hava akımlarının kullanıldığı ince tabaka kurutucuları, infrared ve mikrodalga gibi daha yeni kurutma teknikleri ile gıdaların kurutulmasının yanında endüstriyel birçok ürünün üretime hazırlanması ya da son ürünün oluşumları aşamasında kurutma işlemi yapılabilmektedir.

Bu çalışmada, karışık mikroalg kültürü fotobiyoreaktörde üretildikten sonra kuruma karakteristiği tepsili kurutucuda ve hava kaldırmalı kurutucuda incelenerek kuruma mekanizması belirlenmiştir. Kuruma verileri literatürdeki bazı model eşitlikleriyle non-lineer regrasyonla analiz edilerek kuruma olayını temsil eden model eşitliği geliştirilmiştir. Son olarak kurutulan alg örneklerinin bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri analiz edilmiştir.

2. GENEL BİLGİ

2.1. Alglerin Sınıflandırılması

Algler, genel olarak sucul veya yarı sucul ortamlarda yaşayabilen, selüloz çeperi bulunduran, basit yapılı, ototrof ve fotosentez yapabilme özelliği bulunan ökaryotik canlılardır. Alglerin farklı grupları birbirleri arasında karşılaştırıldığında morfolojik, biyokimyasal ve sitolojik özellikleri, hayat döngüleri ve üreme şekilleri bakımından farklılıklar gösterdiği görülmektedir. Algleri yapı bakımından sıralayacak olursak; makroalg (ökaryotik) ve mikroalg (prokaryodik) şeklinde iki ana gruba ayırabiliriz. Makroalgler kamçı taşımalarına ve pigmentasyon şekillerine göre; *Flagellata* (Kamçılı Algler), *Chrysophyta* (Diyotomeler), *Rhodophyta* (Kırmızı Algler), *Chlorophyta* (Yeşil Algler) ve *Phaeophyta* (Kahverengi Algler) şeklinde sınıflandırılabilir (Aktar ve Cebe, 2010). Genel olarak alglerde renklere göre bir sınıflandırma yapılmaktadır. Günümüzde alg sınıflandırılması hücre duvarı bileşenlerine, depo ürünlerin kimyasal yapısına ve pigment türüne göre yapılmaktadır. Bununla birlikte sitolojik ve morfolojik özellikler de göz önünde bulundurulmaktadır. Örnek olarak, hücresinde kamçı oluşumu, kamçının yapısı, çekirdek ve hücre bölünme şekli, kloroplast etrafında endoplazmik retikulum kılıf varlığı, çekirdek zarı ile endoplazmik retikulum arasında bağlantı varlığı gösterilebilir (Daşdemir, 2012). Alglerin sınıflandırılmasına ilişkin bilgiler Tablo 2.1’ de verilmiştir, alglerin renklerine göre sınıflandırılması ise Şekil 2.1’ de gösterilmiştir (Lee, 1989).



Şekil 2.1. Alglerin renklere göre sınıflandırılması: a) Mavi-Yeşil Algler (*Cyanophyta*), b) Yeşil Algler (*Chlorophyta*), c), Kırmızı Algler (*Rhodophyta*), d) Kahverengi Algler (*Phaeophyta*)

Tablo 2.1. Alg sınıflandırma sistemi

Yaygın Kullanım	Nükleer Karakteristik	Klorofil Tipi	Fikobiliprotein	Depo Ürünü
Mavi-Yeşil alg	Prokaryot	a	Var	Glikojen
Kırmızı Alg	Ökaryot	a d	Var	Glikojen
Yeşil Alg	Mezokaryot	a b	Yok	Amiloz
Euglenoids	Mezokaryot	a b	Yok	Paramilon
Dinoflagellates	Ökaryot	a c2	Yok	Amiloz
Cyptophytes	Ökaryot	a c2	Var	Amiloz
Altın algler	Ökaryot	a c1, c2	Yok	Chrysolaminarin, yağ
Haptophytes	Ökaryot	a c1, c2	Yok	Chrysolaminarin
Diatoms	Ökaryot	a c1, c2	Yok	Chrysolaminarin, yağ
Sarı-Yeşil algler	Ökaryot	a c	Yok	Chrysolaminarin
Chromonads	Ökaryot	a c	Yok	Yağ
Kahverengi algler	Ökaryot	a c1, c2	Yok	Laminarin

2.2. Alglerin Morfolojik ve Sitolojik Özellikleri

Algler klorofil içeren, basit yapılı organizmalardır. Tek veya çok hücreli olarak bulunabilirler veya koloniler oluşturabilirler. Genellikle boyları 3-10 μ ' dan 70 cm uzunluğa kadar uzayabilmektedir. Bir günde 50 cm uzayabildikleri bilinmektedir. Üreme şekilleri olarak; eşeyli, eşeysiz ve vejetatif üreme olarak üç farklı şekilde sınıflandırılırlar. Genellikle en yaygın olanı vejetatif üremedir. Bazı türlerde hücreler büyüyerek koloniler oluştururlar ve büyümenin bir sonucu olarak bölünürler, bazı türlerde ise vejetatif üreme ana bitkinin veya tallusun büyümesiyle oluşur. En basit türlerde vejetatif üreme birbirlerine benzerlik gösterir. Her hücre ikiye bölünerek çoğalabilir sporosit veya gametosite dönüşerek gamet ve spor verir. Bu yapılar “ilkel tallus” ya da “arketallus” olarak isimlendirilir. Bölünme sonunda meydana gelen hücreler bir arada kalırsa arketallus oluşur. Fakat oluşan hücreler birbirinden ayrılır ise “ayrışmış arketallus” meydana gelir.

Bölünmeden sonra oluşan hücreler bir jel ile çevrili ise palmelloid (yığın) arketallus” olarak isimlendirilir. Bölünmeler çok yönlü değil de aynı yönde gerçekleşirse tek bir hücre sırasından oluşan “ipliksi tallus” meydana gelir. Bu şekil “trikoid” olarak isimlendirilir. Oluşan hücreler kamçı yardımı ile hareket ediyorsa “monadoid” olarak adlandırılırlar (Aktar ve Cebe, 2010).

2.2.1. Hücre Çeperi

Kırmızı veya yeşil algler mikroskop yardımı ile incelendiğinde her hücrede kendine has çeper olduğu görülür. Hücrelerin arasında dolgu malzemesinin yer aldığı, dış kısımda ise zar benzeri bir kütikula bulunur. Alglerin tek hücreli bazı türlerinde ise hücreyi sadece kütikula çevrelemektedir. Bazı ameboid türlerde ise çeper yoktur. Alglerin hücre çeperlerinde çeşitli oranlarda selüloz yer almaktadır. Dolgu maddeleri kırmızı alglerde genellikle agar-agar ve karragen, yeşil alglerde ksilan, mannan ve esmer alglerde ise aljinik asittir. Hücrelerin arasındaki iletişim çeper üzerindeki yapılar aracılığı ile gerçekleşir (Aktar ve Cebe, 2010).

2.2.2. Stoplazma

Alglerde stoplazma, homojen olmayıp endoplazmik retikulumdan oluşmuştur. “Plazmalemma” isminde bir membran ile çevrilidir. Viskoz bir yapısı bulunan stoplazma içerisinde protein ve lipit bulunur (Aktar ve Cebe, 2010).

2.2.3. Çekirdek

“*Cyanophyceae*” dışındaki tüm alglerde çekirdek mevcuttur. “*Cyanophyceae*” ‘de ise çekirdek materyali stoplazmanın içerisinde olduğu son yıllardaki çalışmalar doğrultusunda saptanmıştır. Çekirdeğin sabit bir yeri yoktur. Her zaman stoplazma ile çevrenmiştir. Konumu hücrenin metabolizması ve genel durumu ile ilgili olarak farklılık gösterebilir. Genellikle şekli; yuvarlak, mercimek şekilli, yumurtamsı veya amip şeklinde olabilir. Hücredeki sayıları değişkenlik gösterebilmektedir. Genel olarak tektir ama iki ya da daha fazla olduğu durumlar da mevcuttur (Aktar ve Cebe, 2010).

2.2.4. Hareket Organelleri

Alg gruplarına göre “Flajel” ismi verilen kamçının hücredeki yeri ve morfolojisi farklılık gösterebilir. Kamçılar genellikle morfolojik olarak eşit uzunlukta ise “izokonte”, farklı uzunlukta ise “heterokonte”, hücrenin tepe noktasından birçok kamçı çıkıyor ise “stefanokonte” olarak adlandırılır.

2.2.5. Plastidler

Plastidler; kloroplast, kromoplast ve lökoplast olarak 3 gruba ayrılırlar ve fotosentez olayında önemli rol oynarlar. Fotosentez için gerekli olan kloroplastlar; renk maddesi, protein, lipid ve inorganik madde içerirler. Kuru ağırlığın %9’u klorofil, %30-35’ini protein, %20-30’unu ise lipidler oluşturmaktadır. Klorofilin %75’i klorofil a, geri kalan %25’i ise klorofil b’dir. Esmer alglerde klorofil a ve c, kırmızı alglerde ise klorofil a ve d bulunmaktadır. Kloroplast içinde bulunan diğer renk maddeleri ise karotenoitlerdir. Kuru ağırlığın %4’ünü oluşturur. Karotenoitlerin %75’i karotendir (Aktar ve Cebe, 2010).

2.3. Mikroalg Gelişimine Etki Eden Faktörler

Mikroalgler yaşadıkları çevre ile etkileşim halindedirler. Mikroalg gelişimini etkileyen önemli parametreler arasında pH, besin ortamının tuzluluğu, sıcaklık, ışık sıralanabilmektedir. Mikroalg üretiminde en iyi verim alabilmek için bu parametreler belirli bir seviyede tutulmalıdır. Mikroalg üretiminde etkili olan parametrelerin optimum şartları Tablo 2.2’de verilmiştir (Richmond, 2004).

Tablo 2.2. Mikroalg üretiminde etkili olan parametreler

Parametreler	Aralık	Optimal Şartlar
Sıcaklık (°C)	16-40	18-24
Tuzluluk (g/l)	12-40	20-24
Işık yoğunluğu (lux)	1000-10000	2500-5000
Işıklanma süresi	-	16:8min
(Güzdüz:gece h)	-	24:0maks
pH	7-9	8,2-8,7

2.3.1. Işık

Işık, fotosentez esnasında, mikroalg gelişimindeki en önemli unsurdur. Fotosenteze etki eden 3 çeşit ışık değişkeni mevcuttur; ışık kısıtlaması, ışık şiddeti ve ışık periyodu (Marsh, 2008). Işık istenilen bir faktördür fakat fazlası kültür ortamı için tehdit oluşturur. Fotosentez için gerekli olan aktif ışınımın güneş ışınımı spektrumunun görünür bölgesini oluşturan 400 ile 700 nm dalga boyundaki ışınımlardır. İnsan gözünün görebildiği ışınım, güneş ışığı spektrumunun toplam enerjisinin %43'üne denk gelmektedir. Işık, belirli bir seviyeye kadar arttıkça mikroalg gelişimini de artırır. Bu seviyeye doyma seviyesi denilir (Marsh, 2008; Carvalho ve ark., 2011, Park ve Lee, 2001).

Doyma seviyesinin üstünde gelen ışık şiddetinin, mikroalg gelişimine herhangi bir etkisi olmamaktadır. Hatta belirli bir noktadan sonra gelen şiddetin ardından ışık mikroalg gelişimini yavaşlatır. Buna inhibisyon şiddeti denilmektedir. İnhibisyon ve doyma şiddetleri CO₂, sıcaklık ve besin seviyesi gibi faktörlere bağlıdır. Işık periyodu, büyük ölçekli üretim aşamalarında incelenmesi gereken bir ölçüdür. Hücrelerin ne kadar süre ışık aldığı dikkate alınması gerekmektedir. Suni ışıklandırma sayesinde, ışık kaynağını kontrol etmek mümkündür. Işığın kapanıp tekrar açılmasına flaş denir. Yüksek yoğunluktaki mikroalg kültürlerinde, spesifik oksijen üretim oranlarına dikkat edildiğinde sürekli ışıklandırmaya oranla flaş ışıklandırma daha başarılıdır. Hatta yüksek şiddetli ışıklar için kısa flaşlar arasında gerçekleşen karanlık periyotların oluşması fotosentezin verimliliğini artırmaktadır (Park ve Lee, 2001).

Doğal ışığın (güneş) kullanıldığı sistemlerde flaş ışıklandırmaya gerek yoktur. Bu gibi sistemlerde ışık periyodları gündüz ve gece süreleri olarak değerlendirilebilmektedir. Eduardo Jacob-Lopes ve arkadaşlarının yapmış olduğu çalışmada, ışıklandırma süresinin azalmasıyla birlikte biyokütle üretimindeki azalma arasında 12:12 ışıklandırma periyodu hariç doğrusal bir ilişki saptanmıştır. Bakıldığında yine aynı çalışmada ise günde 24 saat aydınlatma ile 22 saat aydınlatma arasında biyokütle üretimi açısından kayda değer bir farka rastlanmamıştır. Işığın kısıtlandırılması, ışığın hücreye ulaşmaması ile alakalıdır. Kültür yüzeyindeki mikroalgler ışık görmekte, alt kısımlara doğru gidildikçe algler ışık görmemeye başlamaktadır. Üstteki alglerin, alt kısımdaki algleri gölgelemesi ile oluşan bir durumdur (Suh ve Lee, 2003).

Optik derinlik, difüze olan ışınımın oranı demektir ve mikroalg yetiştirme ortamı tasarımlarında dikkate alınması gereken bir faktördür. Işık kısıtlamasını yok etmenin en

basit yolu ise kültür ortamının derinliğini azaltmaktır. Eğer mikroalgler fotobiyoreaktörlerde üretilecekse, kullanılan malzemelerin geçirgenliği ve sistemin yüzey-hacim oranı ışığın yakalanmasında etkili birer unsurdur. Açık havuz yetiştirme sistemlerinde sığ havuzlar tercih edilerek ışık kısıtlamasını birazda olsa engellemek mümkündür (Kumar ve ark., 2010).

2.3.2. Sıcaklık

Sıcaklık, ışık etkisinden sonra kapalı ve açık sistemlerdeki en önemli kısıtlayıcı unsurdur. Her mikroalg türü için belirli bir sıcaklık değeri mevcuttur. Mikroalgler yaşayabildikleri sıcaklık değerlerine göre 3 kısımda incelenmektedirler: Psikrofilikler, 0 °C'nin altındaki sıcaklıklarda, termofiller 75 °C gibi yüksek sıcaklıklarda yaşayabilirler ve mezofilikler ise bu iki sıcaklık değerinin arasında yaşayabilirler. Mikroalgler en uygun sıcaklık değerinin 15 °C altına kadar tolerans gösterebilirken, ideal sıcaklığın en fazla 2 ila 4 °C üzerinde biyokütle kaybetmeye başlarlar. Endüstriyel açıdan bakıldığında ise en ideal sıcaklık değeri 25 °C'dir (Mata ve ark., 2010).

Sıcaklık ve ışık faktörlerinin mikroalg kültürleri üzerindeki etkileri birbirlerinden bağımsız şekilde incelenemezler. En ideal ışık değeri, sıcaklığa bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Verimli bir yıllık üretim sağlamak için yetiştirilen mikroalg türüne ait sıcaklık-ışık ilişkisi tam olarak bilinmelidir. Sıcaklık, kültür üzerinden olumsuz etkiler oluşturabileceği için kontrol altında olmalıdır. Kapalı sistem olarak adlandırılan fotobiyoreaktörlerde sıcaklık değeri çevre sıcaklığının 10 ila 30 °C'nin üzerine çıkabilmektedir. Sıcak iklimlerdeki kültür ortamlarında sıcaklık artışı müdahale edilmesi gereken bir unsurdur. Soğuk iklimlerin egemen olduğu kültür ortamlarında, kış aylarında ortam sıcaklığı optimal sıcaklığın altına inebilmektedir. Termik santrallerin baca gazlarının atık ısıları yardımı ile bu sıkıntı giderilebilmektedir. CO₂ azaltımı amacı ile baca gazının hem atık ısısından hem de içeriğinden faydalanılarak yetiştirilecek mikroalg türleri eğer termofilik seçilirse soğutma maliyetleri bakımından fayda sağlanmış olur (Wang ve ark., 2012).

2.3.3. Karıştırma

Mikroalgler doğal ortamlarında yaklaşık olarak 10³ hücre/ml yoğunluğunda yaşarlar ve hücreler arasında ki uzaklık 1000 µm değerinden daha fazla olmaktadır. Ancak yüksek yoğunlukta bulunan mikroalg kültürlerinde hücre yoğunluğu 10⁹ hücre/ml değerine

gelmektedir. Bu yüksek yoğunluk ışık iletimini azaltırken, çözünmüş CO₂ tüketimini, kültür sıcaklığını ve çözünmüş oksijen birikimini arttırmaktadır. Karıştırma işlemi sağladığı etkilerden dolayı mikroalg gelişiminde önemli bir yere sahiptir (Wang ve ark., 2012). Bu etkiler:

- Kültür ile hava arasındaki gaz değişimini geliştirir
- Isı transferine olanak sağlayıp termal tabakalaşmayı engeller
- Ortamdaki her hücrenin ışık ve besin öğeleri ile buluşmasını sağlar
- Mikroalg hücrelerinin çökmesini engeller

Besinsel büyüme ihtiyaçları ve çevresel faktörlerin sınırlayıcılığı ortadan kalktıktan sonra karıştırma, kritik bir unsur olmaktadır. Mikroalg yetiştiriciliği üzerinde karıştırma önemli bir unsurdur. Işığın ve besinin yeteri kadar bulunmadığı ortamlarda karıştırma hızı zayıf olursa durgun bölgeler oluşur ve üretkenlik düştüğü için anaerobik/anoksik şartlar etkili olur. Yüksek derişimli mikroalg kültürlerinde, en üstte ince bir tabaka oluşturan algler tarafından ışığın hemen hemen hepsi emilir. Karıştırma işlemi bu tabaka ile diğer tabakaların karışmasına neden olur (Kumar ve ark., 2010).

Yetiştirmenin gerçekleşeceği sistemin ölçeğine ve türüne göre farklı karıştırma yöntemleri kullanılabilir. Genellikle en yaygın karıştırma yöntemleri pompalama, gaz püskürtme (injection) ve mekanik karıştırma (stirring)'dir. Kuvvetli karıştırma yöntemlerine karşı mikroalg kültürlerinin toleransının olmadığı bilinir.

Fotobiyoreaktörlerde oluşan yüksek sıvı hızı ve yüksek türbülans kesme stresi mikroalgler zarar verebilir. Farklı mikroalglerin kesme stresine karşı farklı hassasiyet göstermelerinden dolayı, tüm mikroalg türleri için optimal bir karıştırma sistemi bulmak neredeyse imkansızdır. Gaz ile karıştırma sistemleri, mekanik pompalama sistemlerine göre, hassas mikroalg türleri üzerinde daha az hasar oluşturmaktadırlar. Hava kabarcıklarının oluşumu, gaz ile karıştırma yöntemi kullanılan fotobiyoreaktörlerde hücre ölümlerinin temel sebebi olarak bilinir ve bu reaktörlerde gaz giriş hızı hücre hasarlarının ne kadar olacağı yönünde bir ölçü olarak kullanılabilir. Su kanallı havuz sistemleri kullanılarak yetiştirilen mikroalg sistemlerinde ise karıştırma olarak çarklar tercih edilir (Sayaner, 2013).

2.3.4. pH

Yetiştirilen mikroalg türleri için en uygun pH değerleri genellikle 7-9 aralığında yer alır. Bazı türler için optimum pH değerleri daha asidik ya da daha bazik alanlarda

bulunabilmektedir. Mikroalgler fotosentez sırasında CO₂ kullanarak ortamdaki azotu uzaklaştırırlar. Bundan dolayı ortamdaki pH karbon dioksitin azalmasıyla yükselmektedir (Suh ve Lee, 2003).

En iyi verime ulaşmak isteniyorsa optimum pH değeri kullanılmalıdır. Mikroalg gelişimi için en uygun pH değerinin sürekliliği için ticari olarak kullanılan kontrol cihazlarına ihtiyaç duyulmaktadır. Yüksek pH değerlerinde, hücresel işlemler bozulduğundan dolayı, kültür ortamının tümden çökme tehlikesinden dolayı kültürün pH değerini optimal aralıkta tutmak çok büyük önem taşımaktadır. Yetiştirme sistemi de pH değeri üzerinde etkilidir. Aynı kaynaktan beslenen, neredeyse aynı miktarda biyokütle üretimi sağlayan su kanallı havuz ve fotobiyoreaktör ortamlarında pH değerleri ortalama olarak sırasıyla 8 ve 10 olmuştur (Wang ve ark., 2012).

2.3.5. Besinler

Mikroalg kültürlerinin en önemli besinleri fosfor ve azottur. Potasyum, magnezyum, kükürt, çinko, kalsiyum, demir, molibden, kobalt, selenyum ve nikel az miktarda veya eser miktarda gerekli olan besinlerdendir. Mikroalg türleri farklı azot kaynaklarını kullanmakla birlikte en çok amonyak, üre ve nitratı kullanmaktadırlar. Azotun ideal formu, göreceli maliyetlerine ve türlerin özel biyolojilerine bağlıdır. Atık sular büyük miktarda farklı azot kaynaklarını içermektedir ve ucuz bir azot kaynağı olarak değerlendirilebilir. Ortama ilave edilen fosfatların metal iyonlarıyla bileşik olmasından dolayı, her fosfor kaynağı biyolojik olarak kullanılabilir değildir ve bu durum fosforun aşırı miktarda ihtiyaç duyulması anlamına gelmektedir. Kükürt, kükürt dioksit olarak kömürlü termik santrallerin baca gazından temin edilebilir. Besinlerin tedarik edilmesi ve yetiştirme ekonomisi, besin seviyelerinin kontrolü, üretkenlik ve sürdürülebilirlik konuları için son derece önemlidir. Besin kontrolü sayesinde mikroalg gelişimi istenilen seviyeye çekilebilmektedir (Sayaner, 2013).

2.3.6. Tuzluluk

Deniz alglerinin tuzluluk değişimlerine karşı olan toleransı iyidir. Birçok tür, doğal ortamdaki tuzluluğa göre daha düşük tuzlulukta iyi bir büyüme gösterirler. Minimum %12-44 ppt aralığında olması gerekmektedir, optimum değer ise %20-24 ppt tuzluluktur. Örnek olarak; *Tetraselmis suecica* 25-35 ppt tuzlulukta yaşarken, *Spirulina platensis* %1 tuzlulukta gelişme göstermektedir (Genç, 2016).

2.4. Alglerin Kullanım Alanları

Denizlerin en önemli canlı kaynaklarından biri olan algler tıp, gıda, tarım ve endüstri, eczacılık ve kozmetik alanlarında faydalanılmaktadır. Algler nüfusun fazla ekilebilir alanın az olduğu uzak doğu ülkelerinde 17.yy'dan beri önemli bir gıda kaynağı olarak kullanılmaktadırlar. Bugüne kadar Batı Avrupa ülkeleri ve Amerika Birleşik Devletleri'nde algler direkt gıda kaynağı olarak tüketilmemiştir. Teknolojik ve biyokimyasal araştırmaların ortaya koyduğu yeni imkanlarla birlikte birçok alanda kullanılmıştır. Bunun sonucunda birçok ülkede alglere dayalı bir endüstri oluşmuştur (Hoppe Heinz, 1979).

Algler biyoteknolojide önemli bir yere sahiptirler. Atık sularda bulunan fazla besinleri emerek akarsular ve göllerdeki kirliliği azaltırlar. Endüstriyel bakımdan algler, faydalı biyomolekül üreterek karides ve diğer suda yaşayan canlıların su ürünleri yetiştiriciliğini desteklerler. Algler, fotosentez ve daha geniş ölçüde önem taşıyan diğer biyokimyasal, moleküler ve hücresel düzeydeki olguların incelenmesi açısından model sistemleriyle bilime katkı sağlamışlardır. Bu duruma en güzel örnek; Melvin Calvin'in yapmış olduğu yeşil alg *Chlorella*'daki ışıktan bağımsız ("karanlık") fotosentez reaksiyonlarını açıklamasıdır (Zeybek ve ark., 2003).

Algler iki yöntemle yetiştirilir; fotosentetik (fotosentez yapabilen) veya heterotrofik (dıştan beslenen) yöntemler. Okyanusa yakın bulunan denizlerde, besin yoğunluğunun az olduğu sularda, gün ışığının ulaşabileceği en derin bölgelerde, 100 m yüzey sularına kadar yayılım gösterdikleri için, en pratik endüstriyel üretimi şekli, bol miktarda güneş alabilen göl veya havuzlarda gerçekleştirilir. Alg endüstrisinde herhangi bir kaynak sorunu ile karşılaşmaması adına denizlerde doğal yollardan üreyebilen alglerden faydalanabilmenin yanı sıra bu alglerin kültürlerinden de yararlanılma yoluna başvurulmuştur. Ülkemizde bulunan alg türlerinden agar, karragen, B12, aljinik asit, selüloz ve bazı organik asitler elde edilmiştir ve hayvan yemi üretilebilecek, kozmetikte kullanılabilecek türlerinde ülkemiz kıyılarında var olduğu saptanmıştır (Cirik ve Cirik, 2011).

2.4.1. Alglerin Tıp ve Eczacılık Alanında Kullanımı

Algler; ağır metal zehirlenmeleri, bağışıklık sistemi sorunları, yaralanmalar, yüksek ateş, damar tıkanıklığı, kolesterol düşürme gibi alanlarda kullanılmaktadırlar (İvanova ve ark., 1994). Yapılan çalışmaların sonucunda 30 alg türünün bağışıklık sisteminde

düzenleyici rol oynadığı sonucuna varılmıştır. Bu çalışmalardaki en etkili unsur; her türde bulunan farklı patojenlere karşı bulunan antiviral özelliştir. Araştırmacılara göre; bu algler viral, mantar ve bakteri patojenitesine karşı direnç sağlamaktadır. Bazı toplumlarda zengin lif, protein, mineral, düşük yağ ve sindirilebilen karbonhidrat içeriğinden dolayı *Ulva* türü, düşük kaloriye sahip bir diyet ürünü olarak zayıflama yöntemi olarak kullanılmaktadır. Denize kıyısı olan ülkelerde çeşitli böbrek rahatsızlıkları, guatr tedavilerinde ve antihelmintik olarak kullanıldığına dair bilgiler mevcuttur.

Alglerin bazı türlerinden olan *Spirulina* ve *Chlorella*'dan elde edilen tabletler vücut direncini arttırıcı olarak kullanılmaktadır. *Chlorella* üzerinde yapılan araştırmaların sonucunda, bu mikroalgin karaciğer üzerinde çok büyük etkilere sahip olduğu ortaya çıkmıştır. Yağ alımı gibi karaciğer metabolizmasıyla bağlantılı olan işlemlerde, kan kolesterolü ve trigliseritlerin düzeylerinde düşüşe neden olduğu görülmektedir. *Chlorella*'nın, kolon sağlığını yükseltici etkisi olan *Lactobacillus* bakterisinin büyümesine hız kattığı Japon bilim adamlarının yaptığı çalışmalar sonucunda kanıtlanmıştır. *Chlorella*, vücuttaki zehrin uzaklaştırılmasında etkilidir. *Chlorella*, savunma sisteminin yeniden canlandırılmasına ve yapılandırılmasına imkân sağlar. Yara iyileştirici özelliği sayesinde ülser tedavilerinde kullanılmaktadırlar (Meenakshi ve ark., 2012).

Spirulina, obezite tedavisinde, pomat veya krem olarak yaraların kabuk bağlamasını hızlandırmada ve cilt metabolizmasının gelişiminde kullanılabilir. Linolenik asit, insanlarda ve hayvanlarda salgılanamayan bir asittir ve *Spirulina* tarafından salgılanabilir. Büyümeyi teşvik edici pigmentler ihtiva eder. *Dunaliella sp.* gliserol ve β -karoten üreticisi olarak bilinmektedir. β -karoten, A vitamininin öncü maddesidir ve eksikliğinde körlüğe kadar giden göz rahatsızlıkları oluşabilir (Meenakshi ve ark., 2012).

Haematococcus sp., Parkinson ve Alzheimer hastalıklarının tedavi edilmesinde, omurilik zedelenmeleri ve sinir sistemi incinmelerinde kullanılır. Bağışıklık sistemi güçlendirilmesinde etkilidir ve kanser ajanı olarak kullanılabilir. *Scenedesmus sp.*'den üretilen merhemlerin kullanımı sonucunda, iyileşmeyen yara, çıban ve varislerde %90 oranında düzelme olduğu saptanmıştır.

Fucus serratus türünden antimikrobiyal etkili maddeler elde edilmiştir. Bunun yanı sıra içerdiği yüksek miktardaki iyot nedeni ile, guatr hastalığına ve bunun sonucunda oluşan obeziteye karşı kullanılmaktadır. *Macrocystis pyrifera*, B12 vitamini açısından zengin bir türdür ve kansızlıkta kullanılmaktadır (Kuda ve ark., 2005).

Algler, fikokolloidler sebebiyle eczacılıkta kullanılmaktadırlar. Polisakkarit yapısında bulunan fikokolloidler higroskopik özellikleri nedeniyle farklı etkilere sahiptirler. Bunları sıralayacak olursak; emülsifiye edici, jelleştirici, stabilize edici, süspande edici ve kalınlaştırıcı etki olarak sıralayabiliriz. Karadeniz yöresinde bulunan *Phyllophora nervosa* eczacılık ve tıp alanında fikokolloid kaynağı olarak kullanılmaktadır (Brownlee ve ark., 2005).

2.4.2. Alglerin Yem ve Gıda Alanında Kullanımı

Mikroalgler genellikle gıda olarak kullanılmaktadırlar. Salata şeklinde tüketilebileceği gibi yemeği ve çorbası da yapılmaktadır. Kırmızı alglerde karbonhidrat, protein ve yağ asitlerinin bulunduğu saptanmıştır. Alglerin içerisinde canlılar için gerekli olan birçok amino asit bulunmaktadır (Zeybek ve ark., 2003).

Kıyılarımızda bulunan alg türleri bu amaç için kullanılmaktadırlar. Bu alg türleri; *Ulva*, *Porphyra*, *Gelidium*, *Rhodymedia*, *Laurencia* ve *Polysiphonia* gibi türlerdir. Son zamanlarda alglere karşı olan ilgi artmıştır. Uzakdoğu ülkelerinin mutfaklarında genellikle alglerden elde edilen, “jelatan” olarak da isimlendirilebilen karragen aljinat, karragen gibi maddeler daha çok kullanım alanı bulmuştur. Alglerden elde edilen bu maddelerin jelleştirici, yoğunlaştırıcı, süspanse edici özellikleri sayesinde reçel, marmelat, pasta ve dondurma yapımında kullanılmaktadır (Zeybek ve ark., 2003).

Mikroalgler, bazı hayvanların beslenmesinde yem katkı maddesi olarak kullanılmaktadırlar. Böcekler, kümes hayvanları ve domuzlar bu hayvanlara örnek olarak verilebilmektedir. Hollanda’da süt üretimi ve sütteki A vitamini oranı, alg unu karıştırılmış yemlerle çoğaltılmış, kuzulardan elde edilen yün ve et miktarları da %20 gibi bir artış göstermiştir. Kanada’da inek sütündeki yağ miktarı ve Norveç’te yumurta sarısı yine alg içeren yemler kullanılarak artırılmıştır. Bunun sebepleri arasında alglerin besin değerlerinin yüksek olması gösterilmektedir. Bu amaçla kullanılan algler, kuru ağırlıklarının %20’si kadar protein ihtiva ederler (Nwosu ve ark., 2011).

2.4.3. Alglerin Tarımda Kullanımı

Algler; nem tutucu ve toprağı havalandırıcı olmaları, azot yönünden çiftlik gübresi kadar zengin olmaları ve iz elementleri bünyelerinde ihtiva etmeleri sebebiyle pek çok ülkede gübre olarak değerlendirilmektedir. Özellikle patates üretilen, potasyum açısından zayıf topraklarda süper fosfat ile birlikte alg gübresi kullanımı iyi sonuçlar vermektedir.

Cystoseira, *Enteromorpha*, *Ulva* türlerinden bu amaçla yararlanılabilir. Dünyanın pek çok sahil bölgesinde bulunan yosunlar, potasyum, fosfor ve bazı iz elementlerin varlığından dolayı gübre olarak kullanılırlar. Erozyonu engelleyici, toprağı havalandırıcı, su hareketini kolaylaştırarak kök gelişimine fayda sağlayıcı gibi birçok faydalı özellikleri vardır (Gümüş, 2006).

2.4.4. Alglerin Atık Su Arıtımında Kullanımları

Algler atık su alanında; evsel ve endüstriyel kaynaklardan gelen atık, çözünmüş ya da askıda, organik veya inorganik bileşiklerin arıtımında kullanılırlar. Bu atıklar oksijen bulunan bir ortamda gerçekleşir ve bazı algler bu iş için kullanılır. Temizlenmesi güç olan fosfor ve azot gibi bileşikler alglerin bulunduğu tanklara alınarak alglere besin kaynağı olmaları sağlanır ve bu sayede ortamdan uzaklaştırılmış olurlar.

2.4.5. Alglerin Yakıt Olarak Kullanılmaları

Algler, fotosentezin yardımıyla güneş ışığı ve CO₂'yi çok etkin bir şekilde kullanarak enerjiye dönüştürebilen ve bu süreçte de yağ üretebilen küçük birer biyolojik fabrikalardır. Öyle ki bir gün içerisinde ağırlıklarını 3-4 katına kadar çıkarabilirler. Alglerden elde edilen yağ, tıpkı soya yağına benzer bir şekilde, biyodizel üretiminde kullanılabilirler.

Fosil yakıtlarda oluşan kıtlıklar farklı enerji üretim yollarının aranmasına neden olmuştur. Biyokütle kullanılarak enerji üretilmesi de bunlardan birisidir. Biyoyakıtlar olarak da adlandırılan bu grup biyoetanol ve biyodizel olarak ikiye ayrılabilir. Yenilenebilir enerji kaynağı olarak bilinen biyoetanolün yakıt olarak kullanılması her geçen gün artmaktadır. Biyoetanol genel olarak birinci (şeker ve nişasta esaslı maddeler), ikinci (Lignoselülozik materyaller) jenerasyon olmak üzere iki şekilde üretilir. Son yıllarda yapılan çalışmalarda üçüncü nesil olarak adlandırılabilen alglerin hammadde kaynağı olarak kullanılabileceğı gösterilmiştir (Chen ve ark, 2015).

Günümüzdeki çalışmalarda, mikroorganizmanın içerdiği yağlardan (lipidlerden) enerji elde edilmesi ve dizel yakıtlarının yerine kullanılması üzerine yoğunlaşmaktadır. Alglerin yapısında bulunan hidrokarbon ve yağlar; hücre içinde farklı organellerin zar bileşenleri, hücre dışı yapısına katılan bileşenler ve sitoplazmada depo ürün parçacığı olmak üzere üç farklı şekilde organizmada bulunabilirler. Yapılan çalışmalar sonucunda alglerden elde edilen bazı kuru yağ ağırlıklarının, algin toplam vücut ağırlığına oranları şu

şekildedir: *Chlorella* %14-22, *Dunaliella* %6-8, *Botryococcus* %90, *Synechococcus* %11 ve *Scenedesmus* %12-40. En yüksek değerlere sahip olan *Botryococcus*'un potansiyel yakıtlarda kullanılması sonucunda, diğer alternatif yakıtlardan daha fazla oranda yenilenebilen likit yakıtlar elde edilebileceği ortaya çıkmaktadır. Elde edilen bu fazladan enerjiye sebep olan faktör, algin çeşitli miktarlarda hidrokarbon içermesidir. *Chlorophyceae* ve *Cyanobacteria*'lar da kuru materyal ağırlığının %5'inden bile daha az bir miktarına denk gelen oran, *Botryococcus braunii*'de %90'a kadar ulaşabilmektedir. Buda demek oluyor ki çeşitli çevresel şartlarda biriken yağ oranı da değişilmektedir. Özetleyecek olursak; algler petrol uygulama potansiyelleri ve içerdikleri geniş spektrumlu yağ molekülleri sayesinde oldukça değerli kaynaklardır (Chisti, 2007; Becker, 1995). Alglerin ticari uygulamaları ile ilgili bilgiler Tablo 2.3'de verilmiştir.

Tablo 2.3. Alg ürünlerinin ticari uygulamaları (Chisti, 2007; Becker, 1995)

1-Gıda	Yetersiz beslenen çocuk ve yetişkinlerin beslenmesinde protein ilavesi olarak
2-Yem	Kümes, inek, domuz, balık ve bivallerin beslenmesinde protein ve vitamin ilavesi olarak
3-Sağlıklı Beslenme Ürünleri	Sağlıklı besin ürünlerinde algal biyokütlenin katkı ve destek amacıyla kullanımı
4-Terapötik	Deri kanseri tedavisinde β -karoten kullanılmaktadır. Algal antibiyotikler tedavide, hidroksilazitler deri metabolizmasını yükseltmekte ve prostagladin γ -linoleik asidi stimüle etmektedir. İzotropik bileşikler kolesterol sentezini düzenlemektedir.
5-Pigmentler	B-karoten (Provitamin A) gıda renklendiricisi olarak gıdalara ilave edilmektedir. Ksantofiller tavuk ve balık beslenmesinde, fikobilinler ise gıda renklendirici, tanı kiti, kozmetik ve analitik ayıraç olarak kullanılmaktadır.
6-Kimyasal Kaynak Olarak	Gliserol gıdalarda, farmasötiklerde, kozmetiklerde, meşrubatlarda kullanılmaktadır. Yağ asitleri, lipidler, vakslar, steroller, hidrokarbonlar, aminoasitler, enzimler, vitamin E ve C, polisakkaritler, yapıştırıcı ve iyon değiştirici olarak kullanılmaktadır.
7-Yakıtlar	Uzun zincirli hidrokarbonlar ve esansiyel yağlar, yanabilir yağlar, hidrojen ve biyogaz
8-Hormonlar	Oksinler, Giberellinler ve sitokinler
9-Diğerleri	Organik gübreler, toprak iyileştiriciler, atık arıtımı

2.4.6. Alglerin Diğer Kullanım Alanları ve Elde Edilen Ürünler

Alkol alanında bira ve şarapları berraklaştırıcı olarak kullanılmakla birlikte kokteyllerde çökmeyi engelleme maksadıyla stabilizatör olarak da kullanılırlar. Algler kauçuk ve kâğıt sanayisinde, kağıtların yüzeylerini cilalamak, su sızdırma ve mürekkep dağılımını engellemek için, dolgu malzemesi olarak kullanılırlar. Doğal kauçuğa eklenerek kauçuğa akıcılık ve yumuşaklık kazandırılırlar. Boya ve tekstil alanında, emülsiyonu sabitleştirmek maksadıyla kullanılırken fazla akıcılığı önlemek ve pigmentlerin fazla zarar görmesini engellemek maksadıyla da kullanılabilirler. Ayrıca çözücü ve boya zenginleştirici olarakta kullanımları mevcuttur.

Desen işlemesi yapılmadan önce katılaştırıcı olarak kullanılırlar. Özel püskürtme metoduyla ipeğe benzeyen bir yapay iplik üretiminde kullanılırlar. Kozmetik sanayisinde ise, cilt temizleme maddeleri, losyonlar, saç spreyi, cilt kremleri ve boyalarında ana madde olarak kullanılırlar. Diş macununda macundaki tebeşirin giderilmesi için kullanılırlarken, sabunlarda köpük arttırıcı olarak kullanılırlar. İlaç sanayisinde, mum ve yağların çözeltilerine akıcılık kazandırmak maksadıyla kullanılırlarken, tabletlerde dolgu maddesi ve ayrıştırma maddesi olarak kullanılırlar. Algler, tablet yapımında tabletlerin üzerini kaplama amacıyla kullanılırlar. Vitamin, antibiyotik ve hormon gibi maddelerde ise bunları içilebilir hale getirebilmek için kullanılır (Pabuçcu ve Altuner, 1998; Pabuçcu ve ark., 1999).

Algler, bazı kimyasal maddelerin üretilmesinde önemli bir rol oynamaktadırlar. *Phaeophyceae* ve *Phodophyceae* besin maddesi olarak 100'den fazla tür içerdikleri karbonhidrat, protein, mineral ve vitaminlerden dolayı dünyanın birçok yerinde insanlar tarafından kullanılırlar (Çakmakçı ve ark., 1994). Alglerden üretilen maddeler;

- Aljinik Asit
- Diatomit
- Agar
- Karragen

Aljinik asit, *Phaeophyceae* sınıfına dahil *Laminaria digitata* ve diğer kahverengi alg türlerinde hücre duvarının yapısında rol alan L-gulopiranosilüronik asit (G) ve D-mannopiranosilüronik asit (M) ünitelerinden oluşan polisakkarit yapısına sahip bir poliüronik asittir. Bunlar *Laminaria*, *Ascophyllum*, *Macrocystis*, *Ecklonia*, *Eisenia* gibi

Phaeophyta'dan elde edilmektedirler. Bu alglerin orta lamelinde ve ana duvarlarında alginik asit, ikinci duvarlarda ise selüloz bulunur. Yapısı selüloz ve pektik asit ile çok benzerlik gösterir. Esmer alglerden elde edilen aljinat, bileşiminde yer alan Mg^{++} , K^+ ve Na^+ tuzları ve bunun yanı sıra suda çözünmeyen ağır metaller sebebiyle plastik madde oluşturma eğilimindeki bir karakterdedir. Isıtıldığı zaman yumuşak bir yapıda, kurutulduğu zaman ise sertleşen bir yapıda olan aljinat soğukta jel haline ulaşmaz, sıcakta ise koagülasyona uğramaz (Çakmakçı ve ark., 1994).

Aljinatın kullanım alanlarını sıralayacak olursak eğer;

- Diş izlenimi veren tozlar,
- Tekstil endüstrisi (baskı macunları olarak)
- Gıda endüstrisi (sosis durumunda alginat film olarak)
- Kâğıt endüstrisi (yüzey filmleri olarak)
- Kozmetik (örneğin el kremi)
- Emülsiyon yapıcılar (örneğin dondurma, sentetik krem, işlenmiş peynir, farmasötik emülsiyonlar, parlaticılar, emülsiyon boyaları)
- Lateks üretiminde lastik endüstrisi

Diatomit, diatomların hücre duvarını oluşturan materyaldir. Diatom kabuklarının üst üste birikmesi sayesinde geniş yüzey alanları oluşturmaktadırlar. Üçüncü ve dördüncü çağlarda bazı bölgelerde diatomit üretimi o denli fazladır ki, büyük tortular oluşmuştur. Silisli hücre duvarları nispeten çözünmezler ve bundan dolayı bu tortullar deniz ve tatlı su havzalarında birikirler. Doğal tortular yüksek miktarlarda silis içermektedir. İşlendiği zaman ise inerttir. Kâğıt ürünleri, cilalar ve boyalar da dolgu materyali olarak yüksek sıcaklıklarda kullanılmak üzere filtreleme yardımcısı rolünde kullanılırlar. Diatomitler birçok endüstriyel proseslerde, şeker rafinerisinde, bira sanayisinde, ısı yalıtımında, kimyasalların geri kazanımı ve su ıslah çalışmalarında kullanılmaktadır (Çakmakçı ve ark., 1994).

Agar, özellikle kırmızı alglerden (*Gelidium japonicum* ve *Gelidium corneum*) elde edilmektedir. Agar; şekilsiz, kuru, kaynatma yardımı ile akıcı hale geçebilen, soğutulduğu zaman ise jel haline gelebilen bir karbonhidrattır. Japonlar sayesinde şans eseri keşfedilen agar, Çinliler tarafından 19. yy 'da Avrupa ve Amerika'ya tanıtılarak çeşitli tatlıların yapımında jelatin yerine kullanılmaya başlanmıştır. Bazı algler ve bakterilerle ve birçok fungus'un kültürü için laboratuvar da hazırlanan farklı kültür ortamlarında temel bileşen şeklinde kullanılırlar. Mobilyacılıkta yapıştırıcı, dericilikte parlaklık ve sağlamlık verici,

önceden hazırlanmış yiyeceklerin paketlenmesi, kabızlığın tedavisi, deri, tekstil ve film endüstrisinde kullanılan agar sanayisinde gelişmiş ülkeler; İspanya, A.B.D. İtalya, Portekiz ve Kore diyebiliriz. Ülkemizde üretimi sınırlıdır (Çakmakçı ve ark., 1994).

Karragen, kırmızı alglerin hücre duvarlarından elde edilebilen bir başka polisakkarittir. Kimyasal yapısının agar-agara çok benzemesi nedeniyle, kırmızı alglerden filtrasyon, ağartma ve kurutma yoluyla elde edilir. Karragen bir polisakkarit olup; bira endüstrisinde renk açıcı madde olarak kullanılır. Bu madde kozmetik, mayalama, boya, tekstil endüstrilerinde ve tıp alanında kan pıhtılaştırıcı olarak kullanılmaktadır. Kırmızı alglerin türlerinden olan *Phyllophoranervosa*, külünde %1,2 iyot içerdiğinden dolayı Rusya'da iyot kaynağı olarak kullanılmaktadır. Japonya' da dünyadaki iyot üretiminin %7'sini bu alglerden karşılamaktadır. Karragen, temizlenmesi güç olan fosfor ve azot gibi bileşikler alglerin içinde bulunduğu tanklara konularak, algler tarafından besin kaynağı göreviyle kullanılmaları sayesinde ortamdan uzaklaştırılabilmektedir (Çakmakçı ve ark., 1994).

2.5. Kurutma

Kurutma, gıda, kimya endüstrileri ile Biyoteknoloji alanında kullanılan ve birçok ürüne uygulanan seri operasyonların bir ya da birden fazla aşamasında yer alan önemli bir ayırma işlemidir. Kurutma genel olarak kristalizasyon, filtrasyon ve buharlaştırma gibi işlemlerinin ardından yapılıp ve kurutmadan çıkan ürün depolamaya veya paketlemeye hazır hale gelmiş olur. Bazı durumlarda hammadde ya da yardımcı maddeler proseslere verilmeden önce kurutmaya tabi tutulabilir.

Buharlaştırma ve kurutma işlemlerini birbirinden ayırmak nerdeyse mümkün değildir. Kurutma terimi genellikle katı hale yakın veya katı durumdaki maddelerden suyun uzaklaştırılmasını belirtmek için kullanılırken; buharlaştırma terimi ise çözeltilerde bulunan bol miktardaki suyun uzaklaştırılmasını belirten durumlar için kullanılır. Kısacası buharlaştırma ve kurutma arasındaki tek fark katı maddedir.

Genel olarak bir katıya kurutma işleminin uygulanması demek, katı madde içerisinde bulunan su veya diğer sıvıların katı madde içerisinden daha önceden belirtilen bir miktardaki sıvı oranına ulaşınca kadar uzaklaştırılması olarak tanımlanmaktadır. Katı maddelerden su ya da sıvıları uzaklaştırmak için mekanik (pres veya santrifüj) veya termal yöntemler kullanılır. Genel olarak kurutma işlemi endüstriyel proseslerde kurutma işlemi şu nedenlerden dolayı yapılır;

- Yemelik tuz gibi katı maddelere serbest akıcılık özelliği kazandırmak
- Sabun tozu, toz boya ve gübre gibi katı maddeleri daha kullanışlı hale getirmek
- Transport proseslerinde oluşabilecek korozyonu engellemek
- Transport masraflarını minimize etmek

Kurutma, genel olarak katı içerisindeki sıvı oranının belirli bir başlangıç değerinden makul bir son değere düşmesi olayına verilen isimdir. Bu da demek oluyor ki kuru bir maddenin içerdiği sıvı miktarı üründen ürüne farklılıklar gösterebilmektedir. Genel olarak birçok katı maddenin içeriğinde su mevcuttur. Örnek olarak; kuru sofra tuzunda yaklaşık olarak %5, kuru kömür içerisinde yaklaşık olarak %4 ve kuru kazeinde ise yaklaşık olarak %8 oranında su bulunmaktadır. Kuru madde ise; tamamen su içermeyen maddelere verilen isimdir. Kurutulacak katılar çok değişik şekillerde bulunabilirler. Örnek olarak; çok ince taneler, kristal, toz, yassı tabaka veya sürekli tabaka. Buharlaştırılacak sıvılar farklı bölgelerde bulunabilmektedirler. Şeker veya tuz kristallerinde görüldüğü gibi sıvılar katının yüzeyinde olabilir, kısmen yüzeyde ya da kısmen iç bölgelerde olmak üzere tamamen katının bünyesinde de bulunabilirler. Bazı kurutuculara kullanılan besleme katının partikül şeklinde asılı bulunduğu ya da çözelti formunda bulunduğu bir sıvı şeklindedir. Kurutucudan çıkan ürünün sıcaklığı elle tutulabilecek sıcaklıkta olabileceği gibi çok fazla sıcak da olabilir (McCabe ve ark., 1993; Coulson ve Richardson, 1991).

Tahıl ürünlerinin kurutulması esnasında yüksek sıcaklıklarda uzun süre çalışmak kurutulacak maddenin biyolojik yapısı üzerinde bozulmalara sebep olabilir. Son ürünün kalitesi üzerindeki bu negatif etkiyi önlemek amacıyla kurutma ya düşük sıcaklıklarda ya da vakum altında yapılmalıdır. Kurutma yöntemleri; havada asılı ortamda kurutma (gölge ortamda), güneşte kurutma ve spesifik üretilmiş fırınlarda kurutma olmak üzere üç ana başlık altında toplanabilir. (Brennand, 1994). Özel fırınlar sıcak hava, infrared enerjisi ya da mikrodalga enerjisi ile çalışacak şekilde tasarlanabilirler (Chua ve Chou, 2005; Parabhanjan vd., 1995; Ginzburg, 1996).

2.5.1. Kurutmanın Genel Prensipleri

Katı içerisinde bulunan su genellikle ya katı yüzeyinde absorbanmış ya da katı içerisinde bulunan kapilerde hapsedilmiş şekilde bulunur. Bu iki şekilde bulunan suyun toplamı katıdaki toplam nem miktarıdır. Katı madde içerisinde bulunan nem; katı yapısına, sıcaklığa bağlı olarak değişebilmektedir. Buharlaşma yöntemiyle uzaklaştırılan sıvı genel olarak sıcak gazlar veya hava yardımıyla taşınır. Bu gazlarda bulunan sıvı alma özelliği

sayesinde gazların nemlilikleri tayin edilmektedir (McCabe ve ark., 1993; Coulson ve Richardson, 1991).

2.5.2. Nemlilik

Genellikle buharlaştırma prosesinde buharlaştırılacak materyal su, taşımaya yardımcı gaz da havadır. Bu nedenle hava kullanılan kurutucuların tasarımında, su-hava prosesinin özelliklerinin çok iyi bir şekilde bilinmesi gerekmektedir.

Nemlilik kuru havanın birim kütlesi başına suyun kütlesi olarak tanımlanmaktadır. Bu neme, havanın mutlak nemi de denilmektedir. Toplam sabit basınçta havanın nemi, karışımdaki su buharının kısmi basıncına bağlı olarak Denklem 2.1’de verilmiştir:

$$H = \frac{18P_s}{29(P_t - P_s)} \quad (2.1)$$

Bu denklikte; H, nemlilik miktarını, P_t toplam basıncı ve P_s ise suyun kısmi basıncını belirtmektedir. Nemliliğin, mol fraksiyonuna (y) göre değişimi ise Denklem 2.2’de verilmiştir;

$$y = \frac{H/18}{\frac{1}{29} + \frac{H}{18}} \quad (2.2)$$

Aynı sıcaklıkta bulunan ve sıvının gazda bulunan buharı ile denge halinde bulunduğu duruma doygun gaz denilmektedir. Doygun gazda bulunan buharın kısmi basıncı aynı sıcaklıkta bulunan suyun buhar basıncına eşittir. Bu neme ise doygunluk nemi adı verilir ve Denklem 2.3’deki gibi gösterilir;

$$H_s = \frac{18P_s^0}{29(P_t - P_s^0)} \quad (2.3)$$

H_s doygunluk nemini, P_s^0 ise suyun buhar basıncını göstermektedir. % nemlilik oranını tanımlayacak olursak eğer mutlak nemin doygunluk nemine oranı olarak belirtilebilir ve Denklem 2.4’deki gibi gösterilir;

$$\%H = \frac{H}{H_s} 100 \quad (2.4)$$

Relatif nemlilik ise; buharın kısmi basıncının aynı sıcaklıktaki suyun buhar basıncına oranıdır ve % olarak Denklem 2.5’de verilmiştir;

$$H_R = \frac{P_s}{P_s^0} 100 \quad (2.5)$$

Mutlak nem, herhangi bir sıcaklıktaki kuru havanın birim kütlesindeki su buharı miktarını ifade ettiği için havanın sıcaklık derecesine bağlı değildir. Bu sebeple nemli bir havanın ısıtılıp soğutulması ile mutlak nem değişmez. Buna karşın havanın bağıl (relatif) nemi havanın basıncına ve sıcaklığına bağlı olarak değişmektedir. Hava ısıtılırsa bağıl nem azalır, soğutulursa artar. Eğer havanın bağıl nemi 0 ise; bu hava tamamen kurudur hiçbir şekilde sıvı içermemektedir. Bağıl nem %100 ise buda demektir ki hava su buharı ile doymuş durumdadır.

Çiğlenme noktası; nemli havanın soğutulması ile su buharının yoğunlaşmaya başladığı ilk sıcaklık noktasıdır. Fakat bu soğutma işleminde ki şart; havanın bileşim ve basıncının sabit kalmasıdır. Havanın soğutulması ile birlikte bağıl nem miktarı doyma noktasına erişmektedir. Nemli havanın içeriğindeki su miktarına bağlı olarak, bu havanın hangi sıcaklık derecesinde doyma noktasına ulaşacağı değişiklik gösterir.

Nemli bir hava su yüzeyi ile temas ettiği sırada suyun sıcaklığı çiğlenme noktasının üzerinde bir derece ise buharlaşma meydana gelmektedir. Bu esnada suyun sıcaklığı düşer ve havadan suya doğru bir ısı transferi gerçekleşir. Bu ikisi arasında oluşan denge sıcaklığının ardından suyun ulaştığı sıcaklığa yaş termometre sıcaklığı denilir.

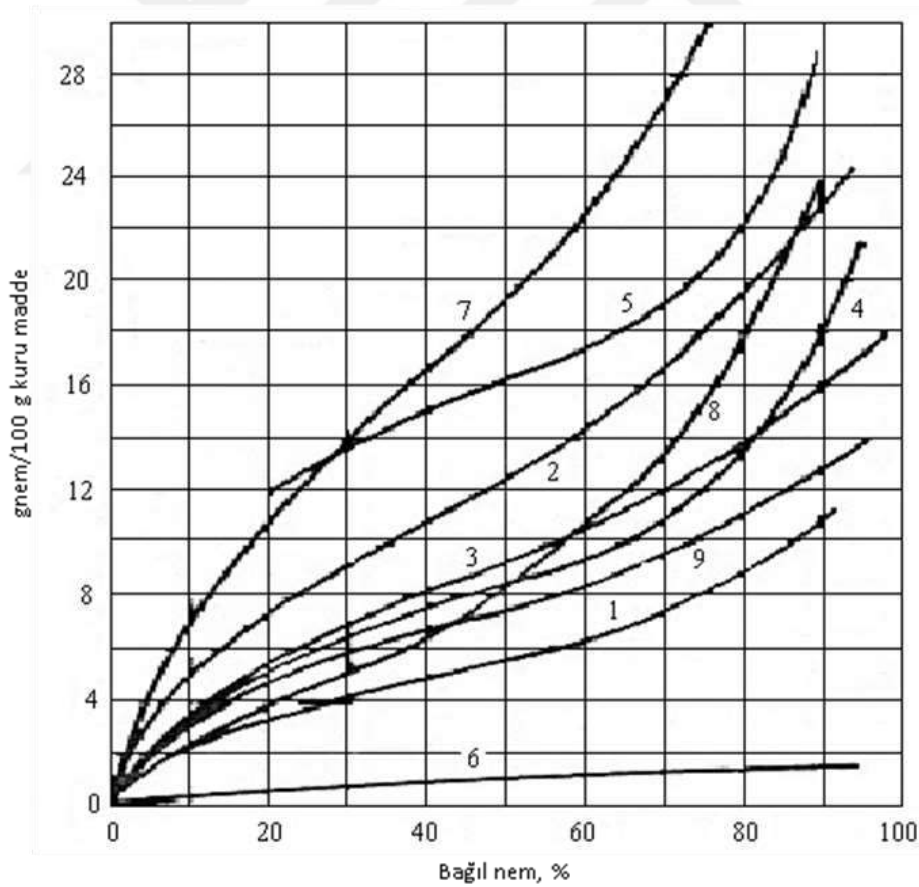
Kuru termometre sıcaklığı ve yaş termometre sıcaklığı yardımıyla hava-su sistemi için hazırlanan nem diyagramından havanın farklı sıcaklıklardaki mutlak nem, bağıl nem veya diğer özellikleri bulunabilmektedir (McCabe ve ark., 1993; Treybal, 1981; Coulson ve Richardson, 1991).

2.5.3. Sıvı-Gaz Dengesi

Katı madde içerisinde bulunan nem, sıcaklık yardımıyla katının ve nemin yapısına bağlı olarak sistem üzerinde buhar basıncı oluşturmaktadır. Eğer nem ihtiva eden katı belli bir oranda nem ve sıcaklık içeren hava ortamına maruz kalırsa, katının yüzeyinde bulunan sıvının kısmi basıncı ile gazın ki birbirine eşit oluncaya kadar ya gazdan nem absorblanır ya da katı madde nem kaybına uğrar. Hava, sabit sıcaklık ve nemlilikte olduğu için hava akımının özellikleri değişmez ve sistemin dengeye gelmesi için yeterli temas süresi çok uzun olur. Bu şartlar altında katı madde belirli bir miktarda nemlenir ve katının hava ile daha fazla temas etmesi bu duruma etki etmez. Katı ile gaz arasında bir denge kurulur ve bu durumdaki katı içerisinde bulunan neme ise denge nemi adı verilir.

Katı maddeler için denge neminin miktarı katının dengeye nasıl yaklaştığına göre değişir. Desorpsiyon (nemli katı maddenin kuruması) ve sorpsiyon (kuru maddenin su toplaması)’a göre veriler değişmektedir. Kurutma hesaplamalarında genellikle desorpsiyon değeri dikkate alınır. Katı madde içinde denge neminden daha fazla nem var ise denge eğrisinde belirtilen denge nemi miktarına ulaşınca kadar kuruma devam eder. Eğer tam tersi bir durum söz konusu ise katı madde denge nemi miktarına ulaşınca kadar nemlenmeye devam eder. Nemliliği sıfır olan bir hava için ise tüm maddelerin denge nem miktarları sıfırdır.

Belirli bir orandaki % nemlilik değeri için denge nemi büyük oranda katının cinsine bağlı şekilde değişir. Nem içeren katı maddelere ait denge grafikleri genellikle katının sıvı içeriği ve gazın bağıl nemi arasındaki ilişki ile ifade edilir. Suda çözünemeyen gözeneksiz katılarda (kum gibi) havanın tüm nemlilik ve sıcaklıkları sıfıra yakındır. Deri, tekstil ve odun gibi organik materyallerde denge nemleri büyük farklılıklar göstermektedir. Farklı katılara ait denge nemi grafikleri Şekil 2.2’de verilmiştir:



Şekil 2.2. 25 °C’de bulunan farklı katılara ait denge nemi eğrileri; 1. kâğıt (yeni baskı), 2. yün (örülmüş), 3. nitroselüloz, 4. ipek, 5. kösele (bitkisel dibağ), 6. kaolin, 7. tütün yaprağı, 8. sabun, 9. tutkal.

Şekil 2.2’de gösterilen denge eğrileri %100 bağıl nem doğrusunu kesene kadar uzatılırsa bu şekilde bulunan nem miktarı katı maddenin sahip olabileceği en düşük nem miktarıdır. Bağıl nem; doymuş hava ile dengede olan katı maddenin sahip olabileceği en düşük su konsantrasyonudur. Bağıl nem içeren maddelere ise higroskopik madde denilir. Bağıl nem farklı şartlar altında da bulunabilir. Bu şekildeki nem katının içerisinde bulunan küçük kapillerlerde veya hücrenin duvarlarında çözelti halinde bulunur. Serbest nem ise; katı içerisinde bulunan denge nemiinden daha fazla miktarda olan nem miktarıdır. Katı içerisinde bulunan denge nemi ile toplam nem arasındaki fark serbest nemi vermektedir (McCabe ve ark., 1993; Treybal, 1981; Coulson ve Richardson, 1991).

2.6. Kuruma Hızları ve Su Transfer Mekanizması

Genel olarak kurutma ortamında sıcak hava kullanılır ve bu ortam ile nem içeren katı maddeler arasında aynı anda gerçekleşen kütle ve ısı transferlerini kapsamaktadır. Isı, ilk olarak gaz fazı yığın akımından konveksiyon yardımı ile katı yüzeyine ardından da kondüksiyonla katı bünyesine transfer olur. Aynı anda katı yüzeyinden gaz fazı yığın akımına buharlaşma ile kütle transferi oluşur. Transfer olan ısıнын tamamı ya da bir kısmı buharlaşmaya yardımcı olur ve diğer kısmı ise katı bünyesinde duyulur ısı şeklinde birikir.

Endüstriyel kurutma cihazlarında kullanılan ısı transfer metoduna göre farklılıklar oluşabilir. Bu gibi cihazlarda ısı transferi konveksiyon, radyasyon, konveksiyon ya da bunların farklı şekillerde bir araya gelmeleriyle oluşur. Mikrodalga ve dielektrik kullanılarak yapılan kurutma işlemlerinde yüksek frekans sebebiyle ısı ilk önce katının iç kısımlarında oluşur ardından katının bünyesinde ve yüzeyinde yüksek sıcaklıkların oluşmasına neden olur.

Geleneksel bir yöntem olan güneşte kurutmada görülen olumsuzluklara; kurutma zamanının yüksek olmasından dolayı özellikle gıda maddelerinin kurutulmasında önemli bir yer tutan zararlı böceklerle mücadele etme, yılın her mevsiminde kurutma işleminin mümkün olmaması gibi durumlar gösterilebilir. Mikrodalga ve infrared kurutma teknikleri, endüstriyel boyutta kullanılan sıcak havanın uygulandığı kurutma sistemlerinde zamanının düşük olması için yapılan çalışmalar bu yöntemlere olan ilgiyi arttırmıştır. Mikrodalga ve infrared kurutma yöntemlerinin bir diğer avantajı ise, yüksek sıcaklıklarda bozulabilen bir dokuya sahip gıda maddelerinin bu metotlar sayesinde rahatlıkla kurutulabilmesidir (Chua ve Chou, 2005; Schiffmann, 1995; Ginzburg, 1996).

Kuruma esnasında, katı bünyesinde sıvı veya buhar halinde yüzeye ya da gaz fazı yığın akımına doğru kütle transferi gerçekleşir. Katı bünyesinde bulunan sıvının hareketinde bir konsantrasyon gradyenti oluşturur. Kurutulacak katılar gözenekli ve gözeneksiz olabilecekleri gibi higroskopik ya da non-higroskopik yapıda olabilirler. Kuruma esnasında kuruma hızlarını belirleyen faktörler kütle ve ısı proseslerini yönlendiren faktörlerdir.

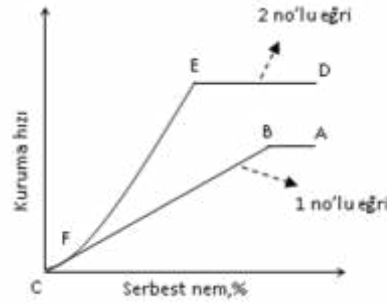
2.6.1. Kuruma Hızları

Kuruma işlemi esnasında hem katı yüzeyindeki hem de katı bünyesindeki serbest suyun uzaklaştırılması gerekmektedir. Katı materyalin nem içeriğinin zamanla değişmesi sonucunda belirli bir kuruma hızı eğrisi meydana gelir. Bu eğri, katının cinsi ve yapısına göre değişiklik gösterebilir. Şekil 2.3’de iki ayrı kuruma eğrisi vardır. İlk egride AB ve BC olmak üzere iki bölge mevcuttur. Burada AB sabit kuruma hızıdır. BC ise nem oranının azalması ile kuruma hızında meydana gelen kararlı bir azalmayı göstermektedir. B noktasında bulunan nem içeriği kritik nem miktarıdır. İkinci egride ise DE, EF ve FC şeklinde üç bölge mevcuttur. DE sabit hız periyodunu, EF ve FC ise azalan hız periyodunu göstermektedir. Bir doğru şeklinde olan EF 1. azalan hız, hafif eğrisel olan FC ise 2.azalan hızı göstermektedir.

2.6.2. Sabit Hız Periyodu

Katı maddenin nem içeriği sabit hız periyodunda sabit bir hızla değişmektedir. Bu periyotta bulunan katının bünyesindeki suyun hareketi katının yüzeyini doymuş hale getirmek için yeterli derecede hızlıdır. Bu şartlar altında kuruma hızının kontrolü, katı yüzeyine yapılan ısı transferi ile yapılmış olur. Bundan dolayı kuruma işlemi, katı maddenin yüzeyinden buharlaşan su buharının sabit bir hava filmi içerisinde geçerek difüzyonla kütle transferi şeklinde gerçekleşir. Bu esnada ısı ve kütle transfer hızları dengeye ulaşarak yüzey sıcaklığının sabit kalmasını sağlar. Sabit hız periyodunda nem uzaklaştırma işlemi katının yapısından bağımsız gerçekleşir.

Katı yüzeyinde gerçekleşen ısı transferi yalnızca konveksiyonla yapılmaktadır ve diğer ısı etkileri göz ardı edildiği zaman yüzeydeki sıcaklık yaşı termometre sıcaklığına yaklaşmış olur.



Şekil 2.3. Tipik kuruma eğrileri

Kararlı durum şartları, yüzey sıcaklığı sıcak havanın yaşı termometre sıcaklığına ulaştıktan sonra kuruma hızının sabit kalmasıyla oluşur.

Sabit hız periyodunda buharlaşma işlemi ısıısının sıcak bir gazdan sağlanması durumunda, katı maddeye ısı transfer hızı ile yüzeyden kütle transfer hızı arasında dinamik bir dengenin gerçekleşmesi ile oluşur ve Denklem 2.6'daki gibi gösterilir:

$$\frac{dw}{dt} = \frac{h_t A \Delta T}{\lambda} = k_g A (P_s - P_s^0) \quad (2.6)$$

Burada,

$\frac{dw}{dt}$: Suyun buharlaşma hızı,

h_t : Isı transfer katsayısı,

A : Isı ve kütle transferi için ara yüzey alanı,

ΔT : Sıcaklık farkı,

k_g : Kütle transfer katsayısı,

λ : Buharlaşma gizli ısıısı,

P_s : Suyun hava içerisindeki kısmi basıncı,

P_s^0 : Suyun katı yüzeyindeki buhar basıncıdır.

Sabit hız periyodunda kurutma hızının etkilendiği parametreler; akış hızı, havanın nemliliği ve sıcaklıktır.

2.6.3. Azalan Hız Periyodu

Sabit hız periyodunun sona erdiği kritik nem miktarı noktasından itibaren azalan hız periyodu başlar. Bu noktadan sonra kuruma azalan hız periyodu ile devam etmektedir.

Eğer başlangıç nem miktarı kritik nem miktarının altında ise kuruma işlemi azalan hız periyodu içerisinde tamamlanır. Azalan hız periyodunda yüzeyden buharlaşan suyun yerini doldurmak için katının iç kısımlarındaki suyun yüzeye hareketi yeterli değildir ve bu sebeple katı-sıvı ara yüzeyi yüzeyden katı içine doğru yeniden oluşmaya başlar. Bu nedenle katı maddelerin sıcaklığı artar ve kuruma hızı hızla azalır. Kütle ve ısı transferinin olduğu toplam alanın azalmasından dolayı kuruma hızında azalma oluşur bundan dolayı daha ileri kurumunun oluşması katı parçacıkların içerisinde bulunan nemin hareketine bağlıdır. Bu hız periyodunun sonuna doğru kuruma hızı denge nemi noktasında sıfıra doğru yaklaşır. Geçen zaman, azalan hız periyodunda sabit hız periyoduna göre daha fazladır. Azalan hız periyodunun sonunda ise katıdaki nem miktarı en düşük seviyeye ulaşmış olabilir. Katının içindeki değişiklikler azalan hız periyodunda kuruma hızına etki eden değişkenlerdir.

Azalan hız periyodunun ilk aşamasında nem içeriği ve kuruma hızı arasında doğrusal bir ilişkinin varlığı Şekil 2.4'deki CE eğrisinden anlaşılmaktadır. Matematiksel eşitlik ise aşağıda ifade edilmiştir:

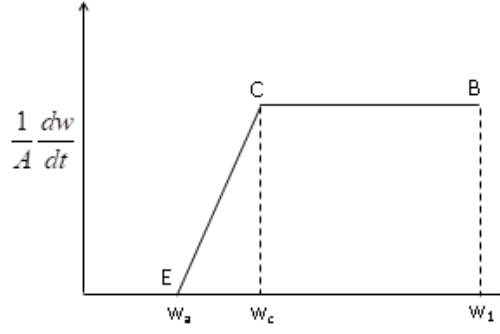
$$\frac{1}{A} \frac{dw}{dt} = -n(w - w_e) \quad (2.7)$$

Burada, w , toplam nem miktarı, w_e , denge nemi, n , kuruma hız eğrisinin eğimini ifade etmektedir. Ve Denklem 2.7'de verilmiştir.

1.azalan hız periyodunun bitmesi ile birlikte katı yüzeyinin tamamen kuruduğu kabul edilir. Çoğu zaman kuruma olayının bitmeden katının iç kısımlarına doğru kaydığı gözlenir. Bu durumda su buharlaşması katının iç kısmında oluşur ve buhar yüzeye transferi moleküler difüzyonla gerçekleşir. Buhar difüzyon hızını kontrol eden kuvvetler, son kuruma hızını belirler.

2.6.4. Su Buharı Transfer Mekanizması

Nem içeren katı maddelerin kuruma hızları genellikle birbirinden ayrı iki veya bazen de üç bölümden oluşmaktadır. Gaz fazı film transfer katsayısı, sabit kuruma hız periyodunda bulunan katı yüzeyindeki suyun hava akımına doğru buharlaşmasını kontrol eder.



Şekil 2.4. Sabit ve azalan hız periyodunda kuruma hızları

Azalan hız periyodunda bulunan su buharının katı bünyesinden yüzeye transfer mekanizması farklıdır. Bu hız periyodunda kullanılmak üzere difüzyon ve kapiler teori olmak üzere iki ayrı transfer modeli mevcuttur.

2.6.4.1. Difüzyon Teorisi

Bu teoriye göre, katının iç kısımlarında bulunan sıvının yüzeye hareketini sağlayan mekanizma katı içi difüzyondur. Fick'in II. yasasına uygunluk gösteren sıvı veya buharların transferinde bu tip difüzyon kontrollü kütle transferinin olduğu varsayılır. Tek yönlü difüzyonda Fick'in II. Yasasının matematiksel ifadesi Denklem 2.8' de verilmiştir:

$$\frac{\partial C}{\partial t} = D_{AB} \left(\frac{\partial^2 C}{\partial z^2} \right) \quad (2.8)$$

Burada,

C : A ve B' den oluşan karışımdaki bileşenlerden herhangi birinin bileşimi

D_{AB} : Moleküler difüzyon katsayısı

z : Difüzyonun gerçekleştiği yöndeki uzaklıktır.

Eşitlik (2.8)' in çözümünden yassı tabakaların kurutulmasında azalan hız periyodu eşitliği olan Denklem 2.9 elde edilir:

$$\frac{w - w_e}{w_0 - w_e} = \frac{8}{\pi^2} \left(e^{-\alpha\beta} + \frac{1}{9} e^{-9\alpha\beta} + \frac{1}{25} e^{-25\alpha\beta} + \dots \right) \quad (2.9)$$

Burada,

$\beta = \frac{D_L \cdot t}{z^2}$ ve $a = \left(\frac{\pi}{2} \right)^2$ 'dir. Ayrıca, w, t anındaki nem içeriği, w_0 , başlangıç nem içeriği, D_L , sıvının katıdaki difüzyon katsayısıdır. Denklem 2.9'un sol kısmı M ile gösterilir ve bu değer ayrılabilir nem oranı olarak adlandırılır.

Denklem 2.9, katı maddenin başlangıçta sahip olduğu homojen bir nemliliği ve kurumanın her iki yüzeyden gerçekleştiği durumlar için geçerlidir. Tek bir yüzeyden kuruma olduğu durumda difüzyon yolu iki katı olarak alınmalıdır. Çok uzun kuruma zamanları Denklem 2.10' de verilmiştir:

$$\frac{w - w_e}{w_0 - w_e} = \frac{8}{\pi^2} e^{-\alpha\beta} \quad (2.10)$$

Denklem 2.10'da diferansiyel alınırsa Denklem 2.11 elde edilir:

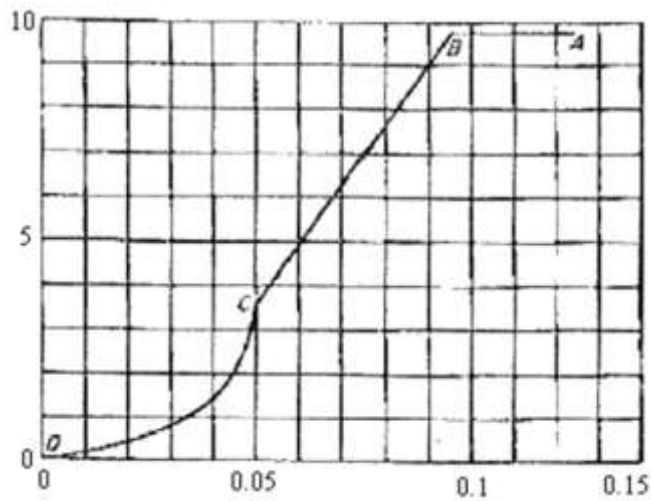
$$\frac{dw}{dt} = -\frac{\pi^2 D_L}{4z^2} (w - w_e) \quad (2.11)$$

Denklem 2.11'in integralinin alınması ile katı içi difüzyon kontrolü altında kuruma için gerekli zaman Denklem 2.12 yardımı ile hesaplanabilir:

$$t = \frac{4z^2}{\pi^2 D_L} \ln \frac{8(w - w_e)}{(w_0 - w_e)} \quad (2.12)$$

2.6.4.2. Kapiler Teori

Gözenekli katılarda katı içerisinde bulunan sıvının yüzeye hareketi, difüzyonla kütle transferinden daha fazla şekilde kapiler hareketle oluşur. Kapiler teoriye göre katı madde farklı büyüklük ve şekillerde olan kanal ve gözeneklere sahiptir. Bu durumda katı gözeneklerinde bulunan sıvı kanallar yardımı ile yüzeye ulaşır. Gözenekli katılara ait tipik kuruma eğrisi Şekil 2.5' de gösterilmektedir.



Şekil 2.5. Gözenekli katılara ait tipik bir kuruma hızı eğrisi

Bu tür katılar için Denklem 2.13 geçerlidir (Perry ve Green, 1984):

$$t_f = \frac{\rho_s d \lambda (w_0 - w_e)}{h_t (t - t_s)} \ln \frac{(w_0 - w_e)}{(w - w_e)} \quad (2.13)$$

2.7. Kurutucu Tipleri

Kurutma sistemi seçimi yapılırken dikkat edilmesi gereken bazı önemli noktalar aşağıdaki şekilde özetlenebilir: Kurutulacak materyalin özelliklerinin belirlenmesi, maliyet analizlerinin yapılması, ölçek büyütme testleri ve optimizasyon. Endüstride yaygın olarak kullanılan kurutma teknikleri ile bazı kurutucu tipleri aşağıda özetlenmiştir.

2.7.1. İletim ile Kurutma

Bu kurutma yönteminde ısıtılan yüzey, malzeme ile birbirine temas ederek malzemenin aşırı derecede ısınmasını engellemekle birlikte ısıtmanın homojen şekilde gerçekleşmesini sağlar. Bu metot kâğıt ürünlerinin üretiminde ve kurutulmasında yaygın şekilde kullanılmaktadır. Fakat bu kurutma yönteminde; yüksek yatırım ve işletme maliyetleri, uniform olmayan kütle ve ısı transfer şartları, yüksek kuruma hızlarına ulaşamama, kontrol problemleri gibi bazı sorunlarla karşılaşılabilir (URL-1).

2.7.2. İnfrared (Kızılötesi) Radyant Kurutma

Buhar ısıtmalı kaynaklar, kızılötesi lambalar, termal radyasyon elektrik yardımıyla ısıtılmış yüzeyler aracılığı ile sağlanmaktadır. Bu düzenek sayesinde malzemenin yüzeye yakın olan kısımları ısındığı için, ince levha yapısındaki malzemelerin kurutulmasına uygundur. Isı transferinin bağlı olduğu birkaç faktör bulunmaktadır; termal radyasyon yayan malzemenin karakteristiği ve yapısıyla kurutulan maddenin özelliği. Tekstil ve kâğıt sanayinde ise radyant kurutma kullanılmaktadır (URL-1).

2.7.3. Kızıl Ötesi Işınım Kurutma

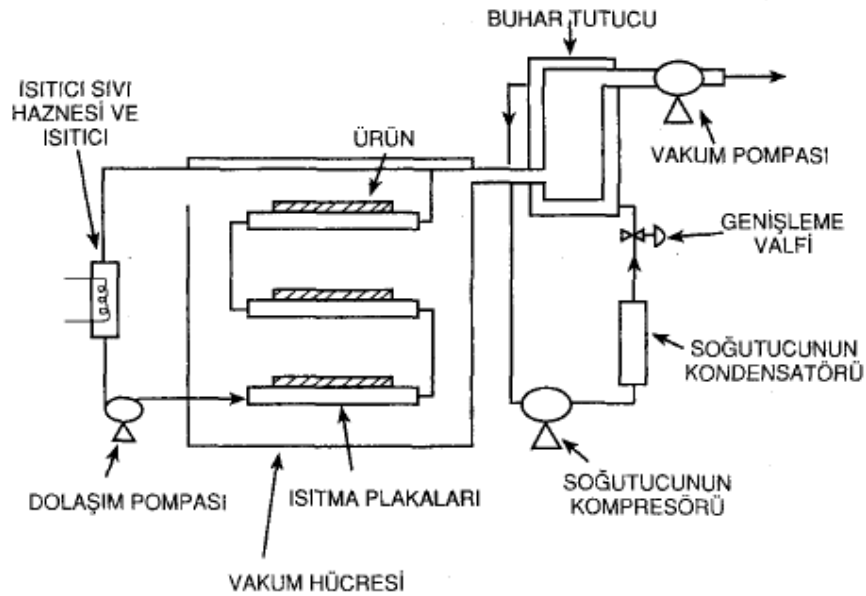
Kızıl ötesi, malzemenin etrafında ve yüzey kısmında etkilidir. Genellikle ince tabakaların kurutulmasında kullanılır. Isıl ısıtım sağlamak için akkor yansıtıcılar, kızıl ötesi lambalar ve buhar ısıtmalı kaynaklar tercih edilir ve genelde bunlar elektrik yardımıyla ısıtılmış yüzeyler tarafından sağlanmaktadır (Günerban, 2005).

2.7.4. Dondurarak Kurutma

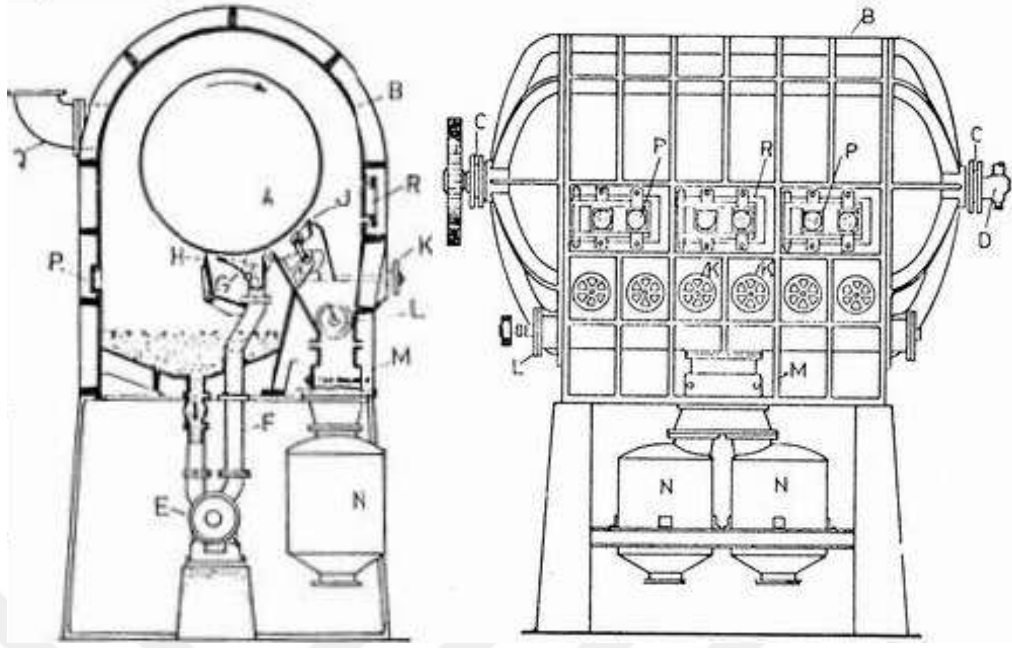
Serumlar, et ve süt ürünleri, farmakolojik ürünler, bakteri kültürleri, sebzeler, meyve suları, çay ve kahve özütlerinin eldesinde dondurarak kurutma işlemi uygulanmaktadır. Önce malzeme dondurulur ve daha sonra kimyasal nem alıcı ya da düşük sıcaklık yoğunlaştırıcısı yardımıyla bağlantılı yüksek vakum uygulanan hacme alınır. Dondurulan materyale ısı geçişi kızıl ötesi radyasyon ya da iletimle sağlanır. Bu sırada uçucu element (su) genel olarak süblimleşir ve yoğunlaşır veya nem alıcı madde yardımıyla absorplanır. Dondurarak kurutma yönteminin uygulandığı sıcaklık aralığı genellikle -10°C ile -40°C arasındadır. Şekil 2.6'da dondurarak kurutma sisteminin şekli gösterilmiştir. Bu yöntem pahalı ve yavaştır (URL-1; Bayhan, 2011).

2.7.5. Vakumlu Döner Kurutma

Atmosferik basınç altında, kaynama noktasına kadar ısıtılması tehlikeli olan hassas materyalleri kurutmada kullanılan bir sistemdir. Düşük basınçlarda suyun düşük sıcaklıklarda(buharlaşması) kaynaması gibi avantaja sahiptir. Kâğıt sanayiinde kısmen uygulanmaktadır. Vakumlu kurutucuların bir örneği Şekil 2.7'de gösterilmiştir (Güngör, 2013).



Şekil 2.6. Dondurarak kurutma sistemi



Şekil 2.7. Vakum altında çalışan tek silindirli kurutucu: A, kurutma silindiri; B, kaplama; C, miller; D, döner bağlantı; E, besleme pompası; F, besleme akımı için giriş borusu; G, silindir besleme teknesi; H, yayıcı; J, kazıyıcı bıçak; K, kazıyıcı bıçağı ayarlayan çark; L, ürünü taşıyan konveyör; M, ürün tanklarına ait açıp kapama vanası; N, ürün depolama tankları; P, gözetleme pencereleri; Q, buhar çıkışı; R, bakım için giriş kapağı

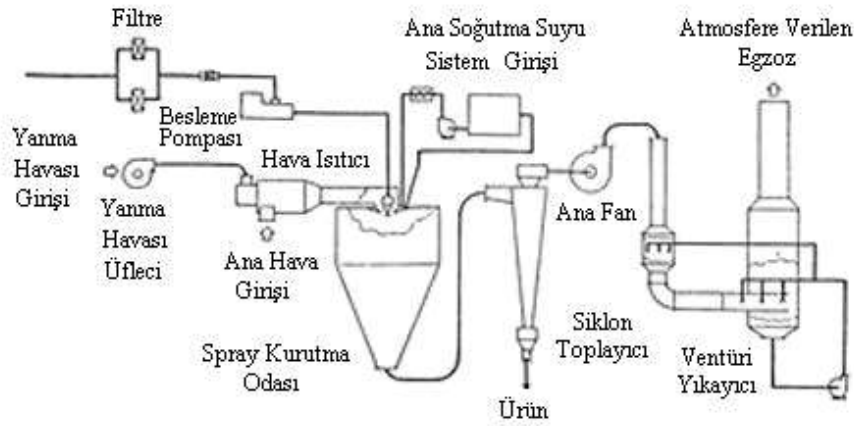
2.7.6. Akışkanlaştırılmış Yatakta Kurutma

Akışkanlaştırılmış yatakta tanecik olarak bulunan maddelerin arasından kurutma ortamı olarak gaz akımı geçirilir. Gaz hızına dikkat edilmelidir. Taneli ya da toz yapısındaki kurutucular malzeme ile akışkanlaştırma gazı arasındaki teması çok iyi olduğu için, kurutma havası ve tanecikler arasında ısı transferi de etkin şekilde gerçekleşir. Bu yöntem sayesinde büyük sıcaklık farkları önemi olmaksızın malzemelerin kurutulması mümkündür. Otomatik yükleme ve boşaltmanın yapılabildiği bu sistemin en önemli avantajı kurutma işlemi kısa sürede tamamlanmasıdır (URL, 1).

2.7.7. Püskürtmeli Kurutucular

Püskürtmeli kurutucular genel olarak kahve, deterjan ve süt tozu üretiminde kurutma işlemi için kullanılırlar. Spray formunda toz haline getirilen besleme ürünü spesifik tasarlanan bir kurutma haznesinde sıcak gazla temas eder. Uygun atomizer seçimi ve tasarımı kurutucu için önem arz etmektedir. Kurutucu besleme şekli, besleme oranı,

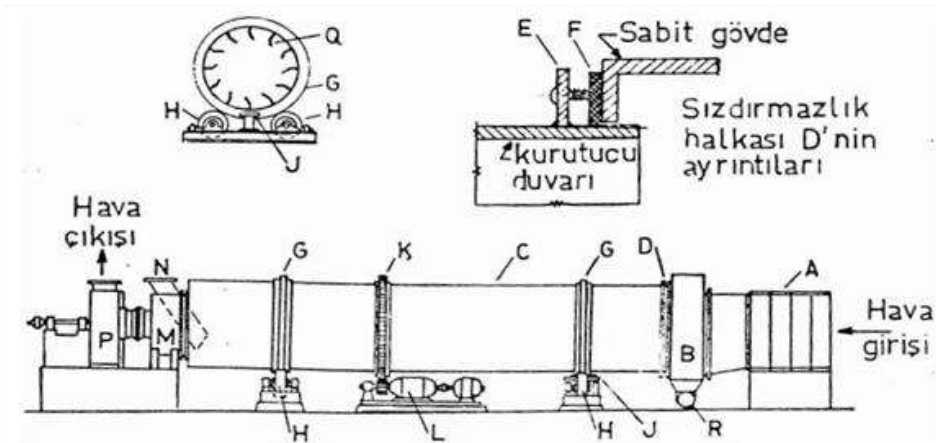
besleme ürününün aşındırıcı etkisi, istenilen parçacık dağılımı ve boyutu ile birlikte karşıt, paralel ve karışık akımlar için akış türünün tasarımı ve kurutma haznesi bu kurutucuların çalışmasını etkilemektedir. Şekil 2.8’de püskürtmeli kurutucuların süreç şeması gösterilmiştir (Güngör, 2013).



Şekil 2.8. Püskürtmeli kurutucu ünitesinin süreç şeması

2.7.8. Döner Kurutucular

Bu tip kurutucularda, malzeme döner silindirin içerisinde taşınırken serbest düşme ile silindirin alt yüzeyine düşer. Bu sırada malzeme sıcak gaz ile temasta bulunarak kuruma işlemini gerçekleştirmiş olur. Bazı döner kurutucular ise direkt ve indirekt tiplerin birleşmesi ile oluşur. Döner kutucu örneği Şekil 2.9’da gösterilmiştir (Güngör, 2013).



Şekil 2.9. Döner kurutucu: A, hava ısıtıcısı; B, sabit başlık; C, kurutucu gövdesi; D, sızdırmazlık halkası; E, sızdırmazlık halkası dayanağı; F, sızdırmazlık parçası; G, çemberler; H, dayanma silindirleri J, güvenlik (saplama) silindirleri; K, döndürme dişlileri; L, motor ve hız düzenleyici; M, hava çıkış başlığı; N, besleme oluğu; P boşaltma vantilatörü, Q, kanatlar

2.7.9. Dielektrik Kurutma

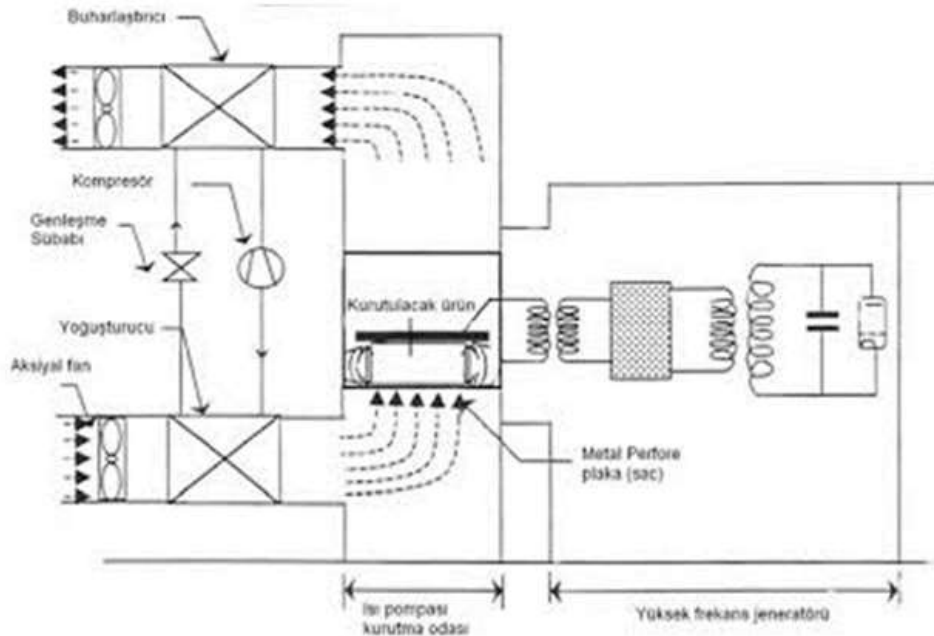
Nem ihtiva eden bir malzeme yüksek frekanstaki bir elektrostatik alana konulursa, malzeme içerisinde ısı üretilir. Kuru bölgeler, nemli bölgelere oranla daha az ısı üretir. Bu sayede madde içerisinde nem profili düzenlenmiş olur. Yüksek frekans etkili ısı pompası Şekil 2.10’da gösterilmiştir (Bayhan, 2011).

2.7.10. Tepsili Kurutucular

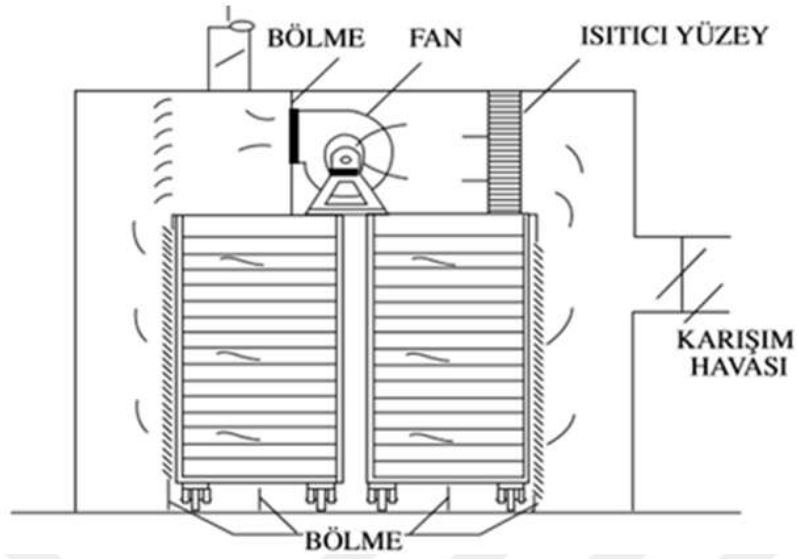
Tepsili kurutucuların özel olarak tasarlanmış bölmeli ve zorlanmış taşınımı gibi birçok modeli mevcuttur. Genellikle çoğu sistem nemli ve hassas malzemenin düşük sıcaklıklarda kurutulmasını sağlamak için üretilmiştir. Temel mantığı, kurutulacak materyalin yüzey alanının genişletmek maksatlı tepsilere serilerek kurutulmasına dayanmaktadır. Şekil 2.11’de kabinli kurutucu örneği gösterilmiştir (Günerban, 2005).

2.7.11. Tünel Kurutucular

Tünel kurutucuların çalışma prensiplerinden bahsedecek olursak; kurutulacak malzeme bir tünel içinde hareket edebilen kurutma vagonları içerisinde düzgün bir şekilde yerleştirilir. Bu sırada malzeme sıcak gazla temas etmektedir. Aşağıdaki şekilde; vagonların tünel içerisinden geçirilmesi ya devamlı ya da kuruma işlemi tamamlanan bir vagon, tüneli terk ederken yeni yüklenmiş bir vagon tünel girecek şekilde düzenlenir.

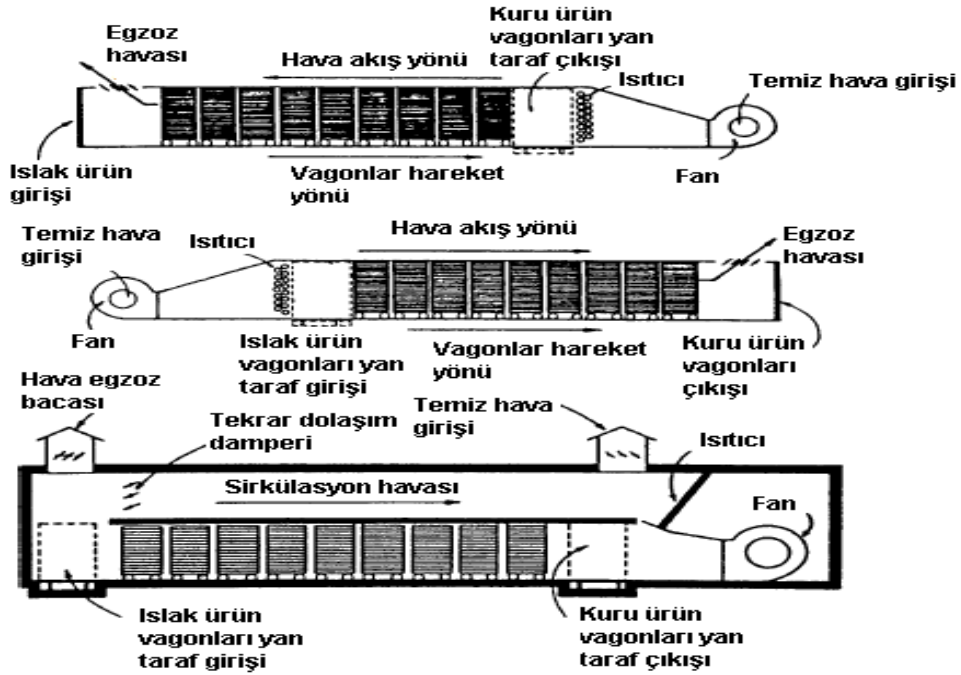


Şekil 2.10. Yüksek frekans etkili ısı pompası



Şekil 2.11. Kabinli Kurutucu Örneği

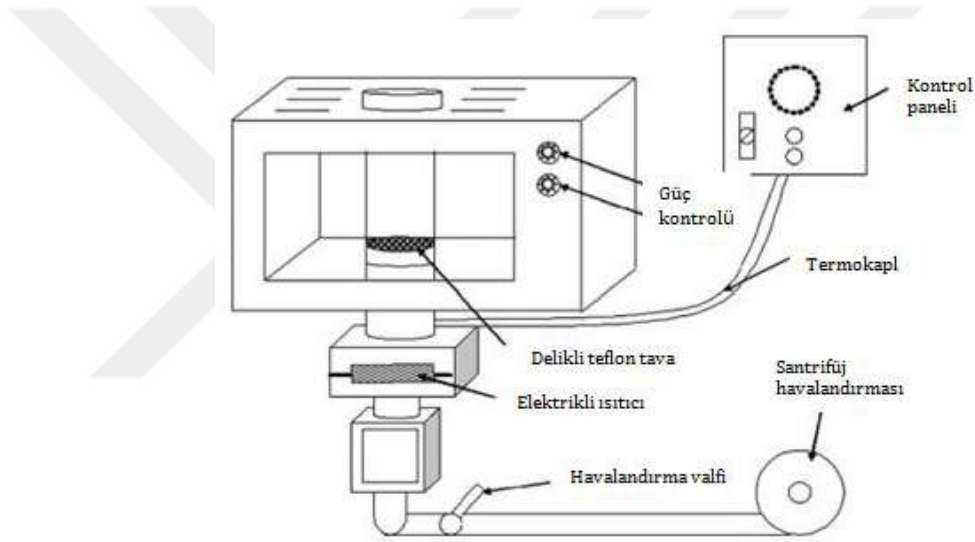
Tünel kurutucuda hava akımı paralel, zıt veya vagonların takip ettikleri yola dik yönde olabilir. Tünel tipi kurutucuların bir örneği Şekil 2.12’ de gösterilmiştir. Tünel kurutucular miktarları yüksek fakat yavaş kuruması gereken seramik, kiremit, tuğla, kereste gibi malzemelerin kurutulmasında kullanılır (Güngör, 2013).



Şekil 2.12. Tünel tip kurutucuda vagonlarda malzeme akışı, hava akışı ve tekrar dolaşım uygulaması.

2.7.12. Mikrodalga Kurutma

Mikrodalga ile kurutma işleminde yüksek frekanslı (900 ila 5000 MHz) kaynaklar kullanılır. Mikrodalga ile ısıtma diğer yöntemlere göre malzemenin daha çok ısınmasına olanak sağlar. Materyalin homojen şekilde ısıtılması için şeklinin uygun olması gerekmektedir. Malzemenin bulunduğu ortamın ısıtılmasına gerek yoktur ve ısıtma işlemi geleneksel yöntemlere kıyasla çok daha az enerjiye ihtiyaç duymaktadır. Şerit şeklindeki ince malzemelere uygulanır. Mikrodalga destekli hava kurutma sisteminin ve endüstriyel mikrodalga kurutma düzeneğinin örnekleri Şekil 2.13’de ve Şekil 2.14’de gösterilmiştir (Karabacak ve ark., 2015).



Şekil 2.13. Mikrodalga destekli hava kurutma sistemi



Şekil 2.14. Endüstriyel mikrodalga kurutma

3. MATERYAL VE METOT

3.1. Alg Temini ve Hazırlanışı

Deneylerde kullanılan Porsuk çayına ait alg örnekleri Fırat Üniversitesi Çevre Mühendisliği'nden elde edilmiştir. Alg örnekleri karışık (mix) tip alg kültürüdür. Şekil 3.1'de algleri yetiştirmek için kullanılan hava kaldırmalı fotobiyoreaktör gösterilmiştir. Tipik bir reaktör 30 L kapasiteli cam hazne, içten ısıtma yapan "Rozin" marka bir ısıtıcı ve havalandırmayı sağlayacak bir pompa ile hava dağıtıcıdan oluşmaktadır. Reaktör Şekil 3.1'de görüldüğü üzere sistemin üst kısmına yerleştirilmiş floresan lambalar ile aydınlatılmıştır. Işıklandırma zaman ayarlı bir kontrolör ile gerçekleştirilmiştir. Deneyler 12 saat aydınlatma ve 12 saat karartma ile yürütülmüştür.

Alglerin yetişmesi için gerekli besin ortamı "Zarrouk" olarak seçilmiştir ve besin ortamı içeriği Tablo 3.1' de verilmiştir. Zarrouk besin ortamı içeren 30 litrelik hacimlerde 6 farklı hava kaldırmalı fotobiyoreaktörlerde, 24°C'de ve 1500-1700 lux ışık şiddetinde 15 gün süreyle yetiştirilen karışık alg kültürü, 15.günün sonunda sedimentasyon işleminin ardından santrifüjlendi. Santrifüjlenen algler +4 °C'de buz dolabında ve cam şişelerde muhafaza edildi. Üretilen alglerin başlangıç nem içeriği %80 olarak ölçüldü. Başlangıç nem içeriği belirlenen örnekler tepsili kurutucu deneylerinde kullanılmak üzere +4 °C'de sızdırmaz kapaklı cam kapaklı cam kaplarda muhafaza edildi.



Şekil 3.1. Hava kaldırmalı fotobiyoreaktör

Tablo 3.1. Zarrouk besi ortamı içeriği

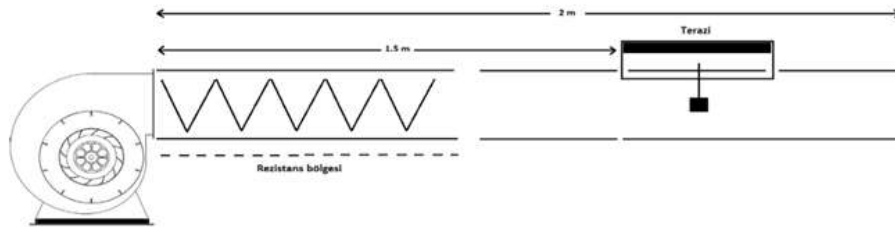
Bileşenler	Miktar (g/L)
NaHCO ₃	16,8
K ₂ HPO ₄	0,50
NaNO ₃	2,5
K ₂ SO ₄	1,00
NaCl	1,00
MgSO ₄ .7H ₂ O	0,20
CaCl ₂	0,04
FeSO ₄ .7H ₂ O	0,01
EDTA	0,08
Çözelti A5	1 mL
Çözelti B6	1 mL

Çözelti A5 (g/L): H₃BO₃ 2,86; MnCl₂.4H₂O 1,81; ZnSO₄.7H₂O 0,222; Na₂MoO₄.2H₂O 0,390; CuSO₄.5H₂O 0,079. **Çözelti B6 (mg/L):** NH₄VO₃ 22,86; KCr(SO₄)₂ 12; H₂O 192; Ni SO₄.6H₂O 44,8; Na₂WO₄. H₂O 17,94; TiOSO₄.8H₂O 61,1; CO(NO₃)₂. 6H₂O 43,98.

Miktarı belirtilen çözeltiler 1 litrelik kapaklı cam şişeye bırakılarak 1 litreye tamamlanincaya kadar saf su eklendi. Besin ortam içeriği pH'sı 6,4-7 aralığında ayarlandı. Akvaryumlardaki alg üremesi için 30 litre hacme 0,5 L besin ortamı 0,25 L karışık alg kültürü eklendi.

3.2. Tepsili Kurutucu Deneyleri

Deneylerde kullanılan tepsili kurutucu toplamda 2 metre uzunluktadır. Terazı bölmesi fandan 1,5 metre uzaklıkta olup anlık olarak ölçüm yapmaktadır. Kullanılan deney seti Şekil 3.2'de resmi ve Şekil 3.3'de gösterilmiştir. 1,3 cm çapında 1 cm uzunluğunda poliamitten yapılmış bir halka içerisine sığacak kadar konulan nemli alg örnekleri tepsili kurutucunun terazı kısmındaki yerine yerleştirildi. Kurutucunun sıcaklığı ve fan akış hızı ayarlandı ve belirli zaman aralıklarında teraziden örneğin ağırlığı ölçüldü. Tartım işlemi son iki ağırlık arasındaki fark 0,01 oluncaya kadar devam edildi. Bu süre sonunda deneyler sonlandırıldı.

**Şekil 3.2.** Tünel tipi kurutucu şekli



Şekil 3.3. Tünel tipi kurutucu görüntüsü. (1-Fan 2-Rezistans bölgesi 3-Hidro dinamik geçiş bölgesi 4-Terazi Bölgesi 5-Terazi 6-Kontrol paneli 7- Dijital Termometre 8-Bilgisayar)

Sistemde sıcak hava toplamda 1,5 m uzunluğundaki rezistans bölgesinden fandan çıkan havanın geçirilmesiyle elde edilmiştir. Havanın sıcaklığını ayarlamak için rezistanslardan gönderilecek elektrik akım şiddeti bir elektriksel kontrolörle ayarlanmıştır. Fan hızı da yine benzer bir kontrolörle ayarlanmıştır. Deneysel çalışmalar 0,5-1,5 m/s aralığındaki hava akış hızları ve 30-60 °C sıcaklık aralıklarında gerçekleştirilmiştir. Kurutma deneylerinin yapıldığı oda şartları atmosfer basınç ve %32 relatif nem oranlarıdır. Relatif nem ölçümleri “HYGRO Thermometer” marka cihaz ile gerçekleştirilmiştir.

3.3. Karakterizasyon Testleri

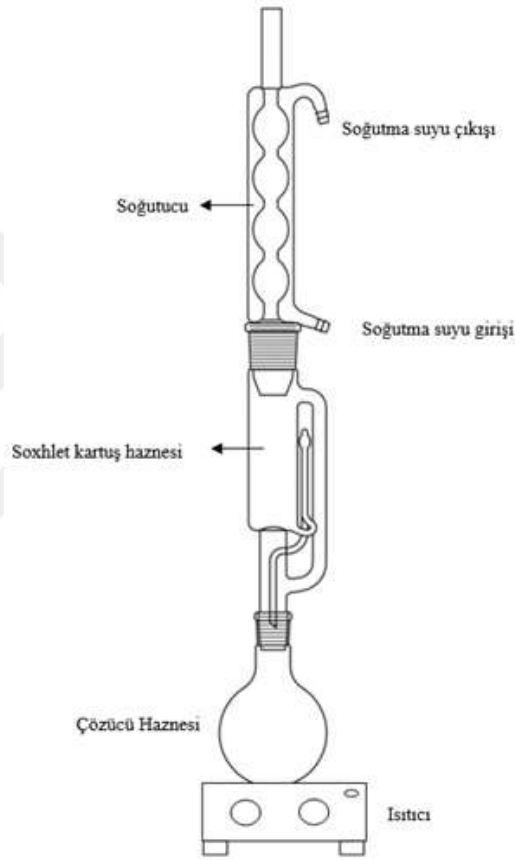
3.3.1. Protein Analizi

Protein analizi testleri “LECO FP-528” protein analiz cihazı ile hayvan yemlerinde, gıda maddelerinde, gübrelerde, bitkilerde ve de yağlı tohumlarda, zararlı kimyasal maddeler kullanmadan “Dumas yakma” tekniğinden faydalanılarak zenginleştirilmiş oksijen atmosferinde numuneleri 950 °C’ de yakarak 3 dk. dan itibaren Azot/Protein analizini yapabilmektedir. Yapılan ölçümler sonucunda 30 derecede 1 m/s akış hızında $2,112 \times 6,25 = 13,2\%$ azot olarak ölçüldü.

3.3.2. Yağ Analizi (Sохhlet cihazı ve deneyin yapılışı)

Üretmiş olduğumuz karışık alg kültürü yağ analizini yapmak üzere 60°C’ye ayarlanan etüvde kurutuldu. Şekil 3.4 ‘de de görüldüğü üzere en basit haliyle dibi yuvarlak şilifli cam balon (250 ml), soхhlet ekstraktörü (250 ml), yoğunlaştırıcı ve bir ısıtıcıdan oluşan bir düzenek hazırlandı. Kuru alg tartıldı ve kartuş içine koyularak ekstraksiyon için hazır hale getirildi. 200 ml çözücü (hekzan) alınarak bir miktar kaynama taşı ile birlikte

cam balona bırakıldı. Isıtıcı çözücünün kaynama noktasına kadar ısınmasını sağlayacak şekilde ayarlandı. Çözücü buharları yoğunlaştırıcıya ulaşarak yoğunlaşıp soxhlet ekstraktörü içinde bulunan kartuşun üzerine damlalar halinde düşmesi sağlandı. Kartuş bölmesindeki hekzan renksizleşinceye kadar sifon yapması beklendi (7 sifon). Çözücü ekstrakte maddeden tamamen uzaklaştırıldıktan sonra armudi balonun tartımı alındı. Boş balonun ağırlığı çıkarıldığında ekstrakte edilen yağ miktarı belirlendi. Kullanılan cihazın resmi Şekil 3.4’de gösterilmiştir.



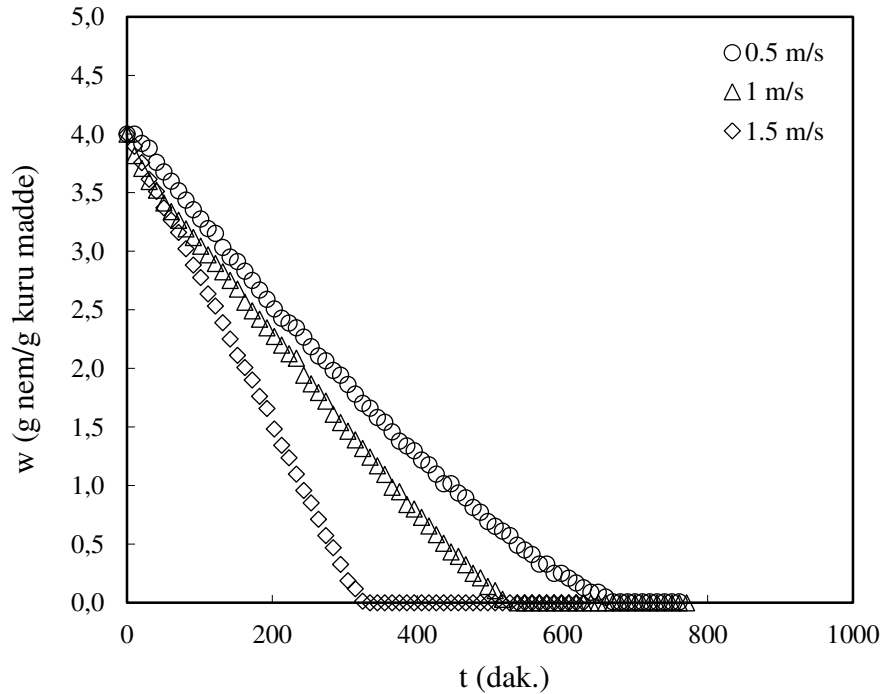
Şekil 3.4. Soxhlet düzeneği

4. SONUÇLAR VE TARTIŞMA

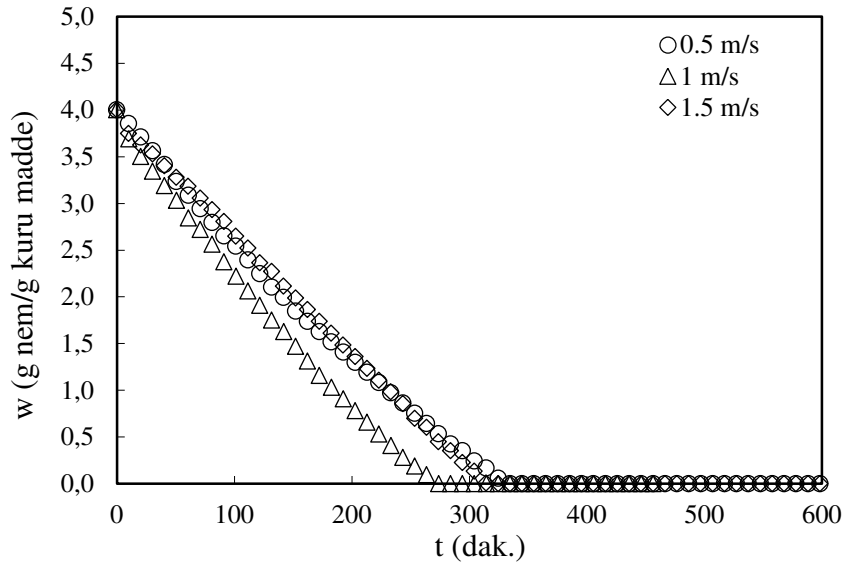
4.1. Mikroalg Örneklerine Ait Kuruma Eğrileri

Bu çalışmada üretilen mikroalg örneklerine ait farklı sıcaklıklarda (30°C- 60°C) ve farklı akış hızlarında (0,5, 1 ve 1,5 m/s) zamanla nem içeriği değerlerinin değişimini gösteren grafikler Şekil 4.1 ile 4.4 arasında gösterilmiştir. Bu şekiller zamana karşı numune ağırlıklarının kurutulan mikroalg kuru ağırlığına oranlanması ile elde edilen nem içeriği değerlerinin (w) grafiğe geçirilmesiyle oluşturulmuştur.

Şekil 4.1’ de mikroalg örnekleri için farklı akış hızlarında 30 °C’de kuruma eğrileri görülmektedir. Şekil 4.1’den görüldüğü üzere çalışılan tüm akış hızlarında zaman ilerledikçe örneklerdeki nem içeriği değerlerinde bir azalma gözlenmektedir. Bununla beraber 30 °C’de hava akış hızının da kuruma üzerinde az da olsa etkili olduğu belirlenmiştir. 30 °C’de 0,5 m/s hava akış hızında alg deki nem yaklaşık olarak 700. dk’da tamamen uzaklaşırken, 1m/s hava akış hızında 500. dk’da ve 1,5 m/s akış hızında ise 300. dk’da nemin tamamen uzaklaştığı gözlenmektedir.

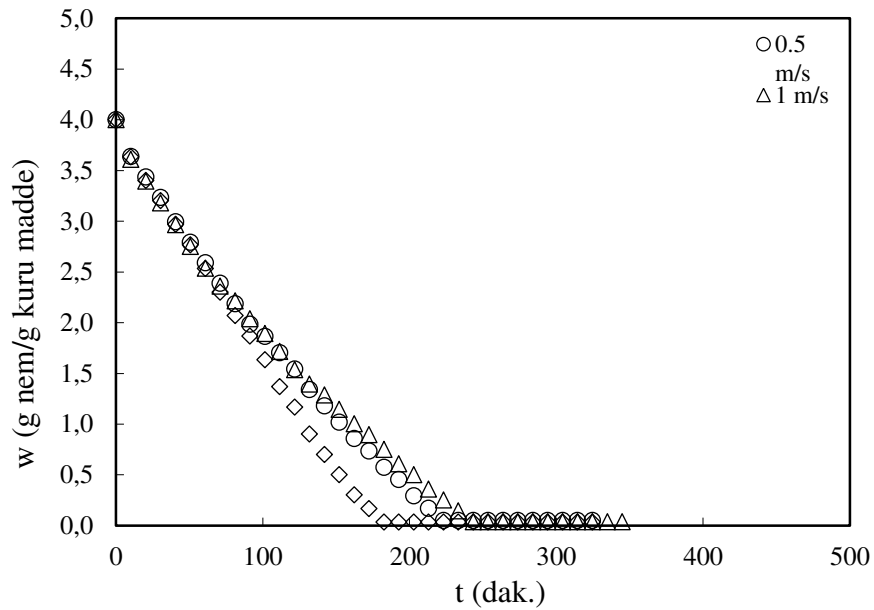


Şekil 4.1. 30°C’de farklı akış hızlarında yapılan kurutma işlemine ait kuruma eğrisi

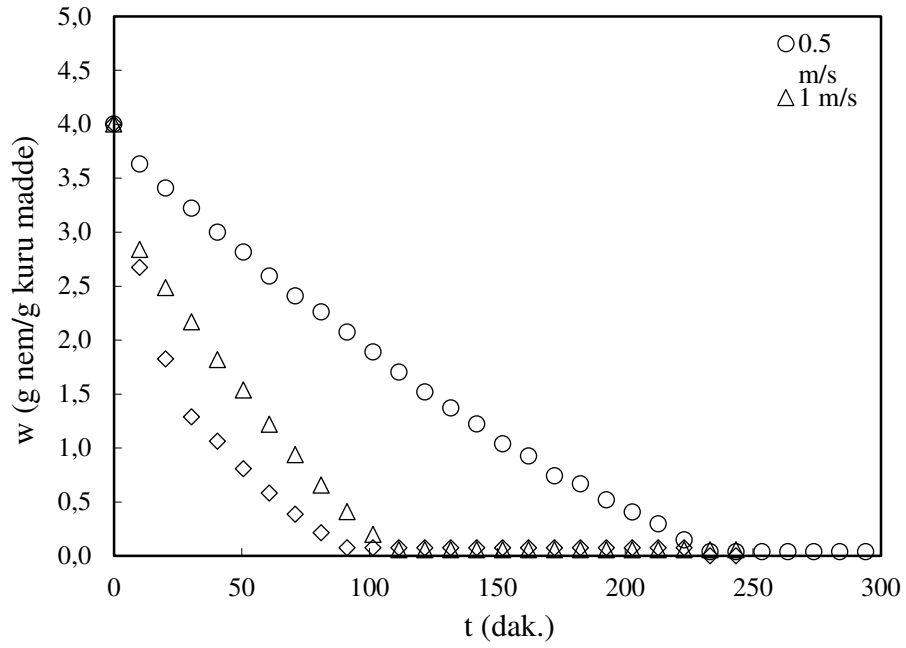


Şekil 4.2. 40°C'de farklı akış hızlarında yapılan kurutma işlemine ait kuruma eğrisi

Şekil 4.2'ye bakılacak olursa, 40 °C'de hava akış hızının kuruma üzerine etkisinin neredeyse olmadığı söylenebilir. Fakat 40 °C ortam sıcaklığında nem içeriği değerinin (w) 0,5 ve 1 m/s hava akış hızlarında 300. dk'da sıfıra düşmektedir. Hâlbuki bu değerler sırayla 700 ve 500 idi. 40 °C ve 1,5 m/s hava akış hızında ise nem içeriği yaklaşık olarak 250. dk'da sıfıra düşmektedir. Bu da sıcaklığın mikroalg kurutması üzerinde 30 ve 40 °C'lerde ortam sıcaklığında özellikle düşük hava akış hızlarında daha etkili olduğunu göstermektedir.



Şekil 4.3. 50°C'de farklı akış hızlarında yapılan kurutma işlemine ait kuruma eğrisi

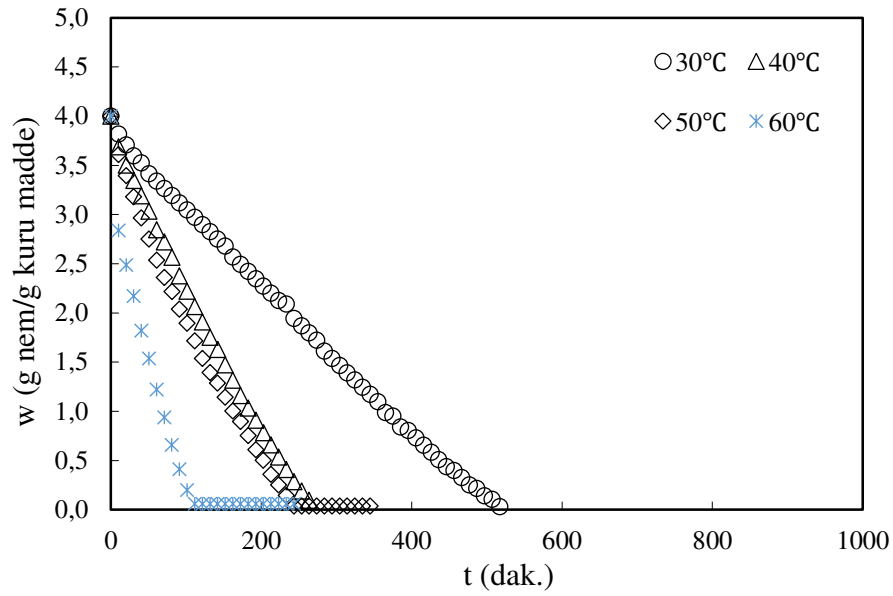


Şekil 4.4. 60°C'de farklı akış hızlarında yapılan kurutma işlemine ait kuruma eğrisi

Şekil 4.3'de görüldüğü üzere diğerlerine benzer bir duruma 50 °C'de de rastlanmaktadır. Nem içeriği değeri 0,5 ve 1 m/s'ler de 250; 1,5 m/s'de ise 180. dakikalarda sıfıra değerine ulaşmaktadır. Şekil 4.4'de 60 °C'de mikroalgin kuruma eğrilerinden nem içeriği değerinin sıfıra düşme zamanı 100. dakikalara kadar azalmaktadır. Tüm bu grafiklerden hava akış hızının özellikle düşük sıcaklık da (30 °C) etkili olduğu kanısına ulaşılmıştır.

4.2. Mikroalg Örneklerine Ait Kuruma Hızı Eğrileri

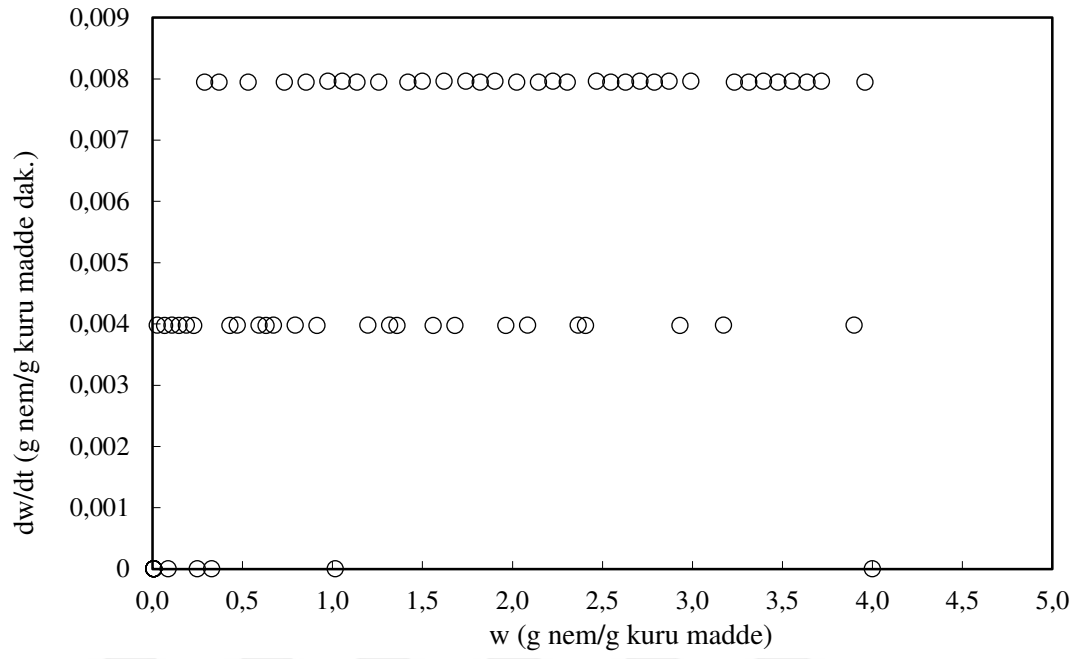
Mikroalg örneklerinin kurutulması sonucu akış hızı 1 m/s hava akış hızında çalışılan sıcaklıklardaki nem içeriği değerlerini gösteren bir grafik Şekil 4.5'de gösterilmiştir. Sıcaklığın etkisini daha net görmek üzere oluşturulan bu grafikten görüldüğü üzere artan sıcaklıkla alg örneklerinin nem içeriği değerleri daha kısa sürede sıfır değerine düşmektedir. Bunun yanında çalışılan tüm sıcaklıklardan zaman ilerledikçe alg örneklerinin nem içeriği değerleri azalarak sıfıra ulaşmaktadır.



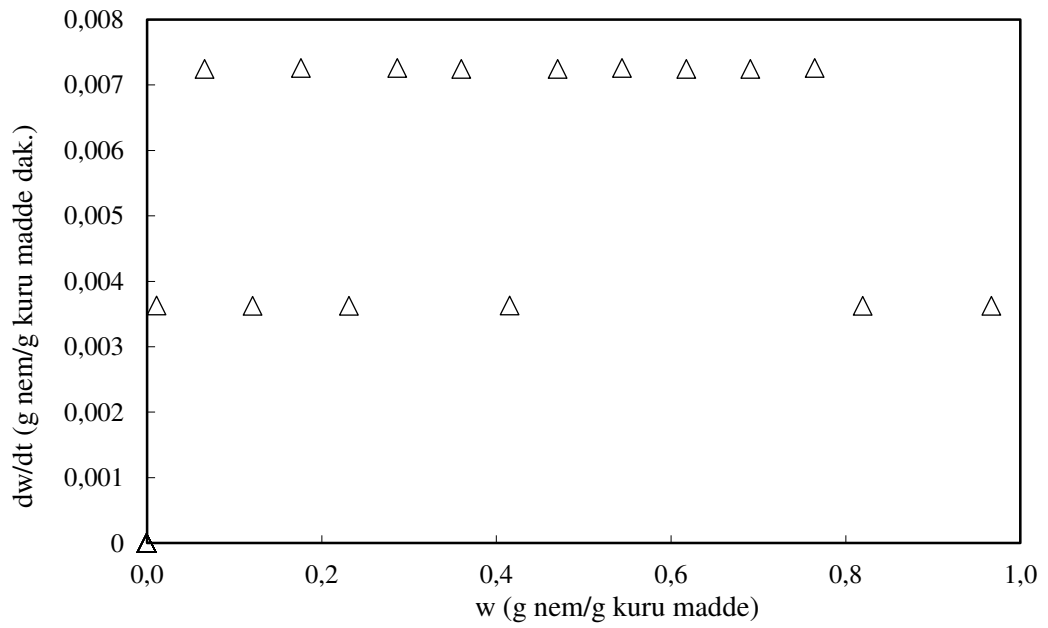
Şekil 4.5. Farklı sıcaklıklarda 1 m/s akış hızlarındaki kuruma eğrileri

Şekil 4.1 – 4.4 arasındaki verilerden faydalanılarak nem içeriğine karşı birim kuru madde ve zamandaki nem içeriği olan kuruma hızlarının grafiğe geçirilmesi ile kuruma hızı eğrileri oluşturulmuştur. Elde edilen veriler tek bir grafikte gösterilemeyecek kadar düzenli olmayan verilerden oluştuğundan mikroalg kurutulmasına ilişkin kuruma hızı eğrileri ayrı ayrı olarak gösterilmiştir (Şekil 4.6-4.17).

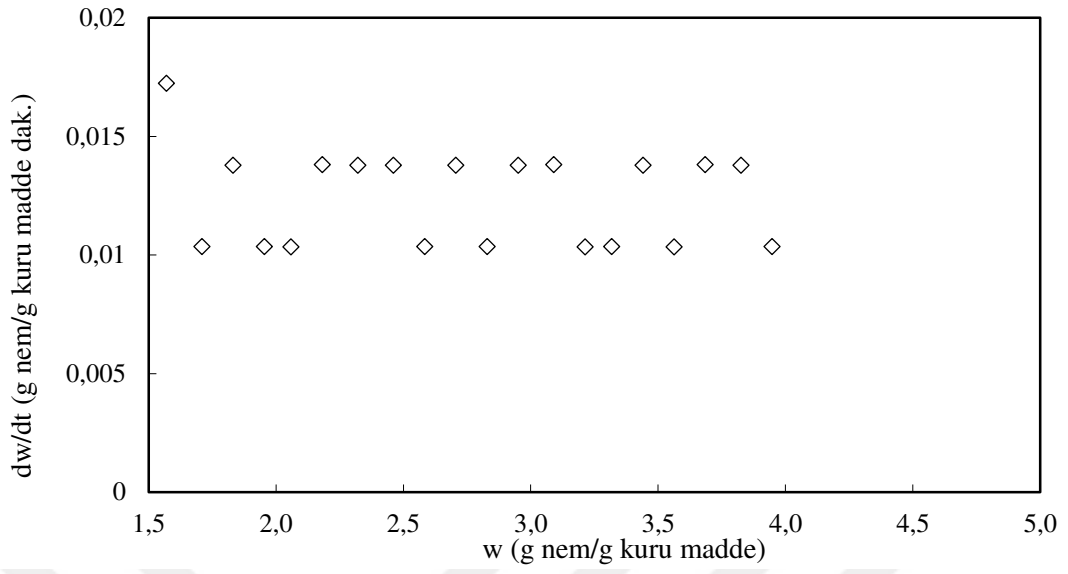
Şekil 4.6-4.17 arasındaki kuruma hızı eğrilerinde genel olarak sabit hız periyodunda bir kuruma olayının gerçekleştiği gözlemlenmiştir. Özellikle düşük sıcaklık ve akış hızlarında, örneğin 30 °C 0,5 m/s hava akış hızı, bu sabit hız periyoduna iki aşamalı olarak rastlanmaktadır. Bu durum alg örneğinin kuruma olayının hemen neredeyse katı yüzeyinden nem uzaklaşması şeklinde meydana geldiğini göstermektedir. Katı yapısının bu sıcaklık ve hava akış hızında kuruma olayı üzerinde pek bir etkisinin olmadığı Bölüm 2.6'da kuruma hız periyotları için genel bilgilerde de anlatıldığı gibi söylenebilir. Mikroalg %80 su içeriği ve katı yapısı itibarıyla bu sıcaklık ve hava akış hızlarında katı yüzeyinde nem uzaklaşması mekanizmasıyla kurutulmuştur.



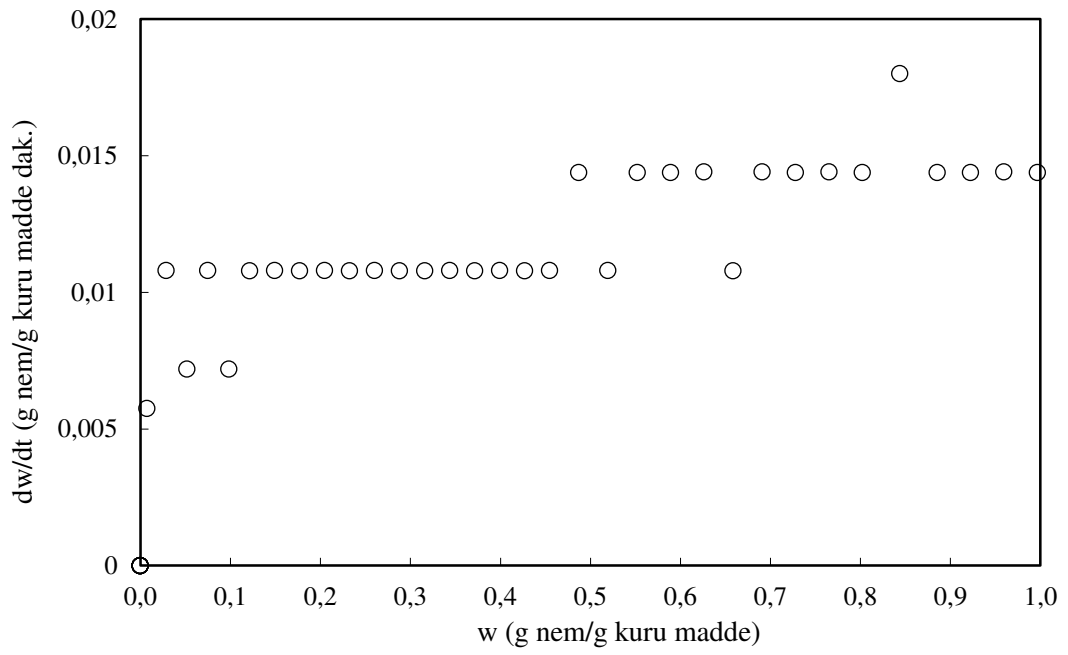
Şekil 4.6. 30°C’de 0,5 m/s akış hızında kuruma hızı eğrisi



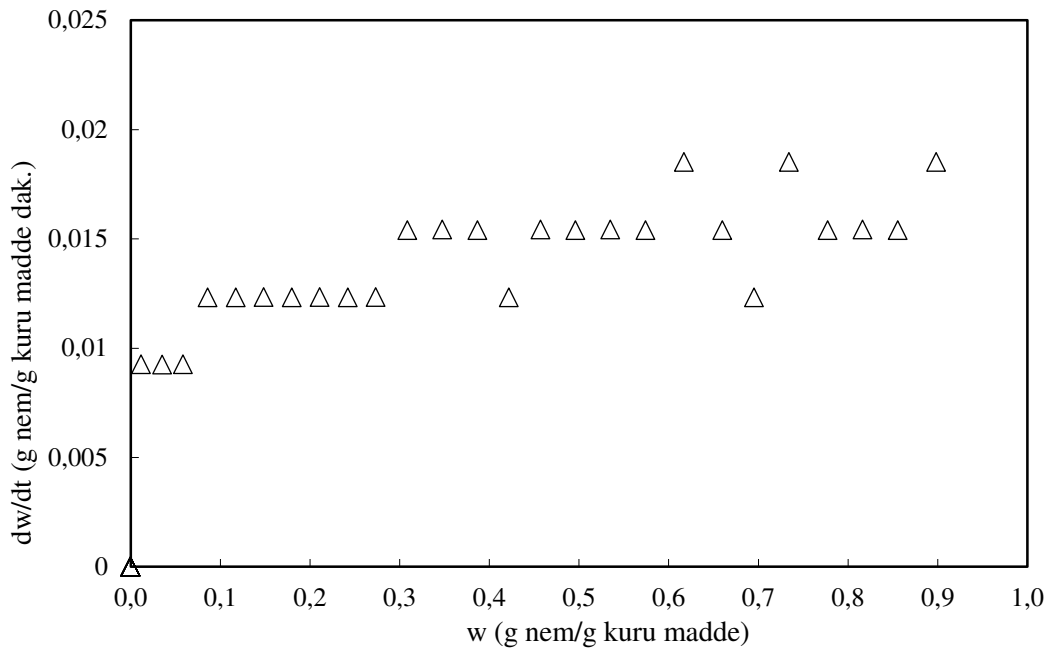
Şekil 4.7. 30°C’de 1 m/s akış hızında kuruma hızı eğrisi



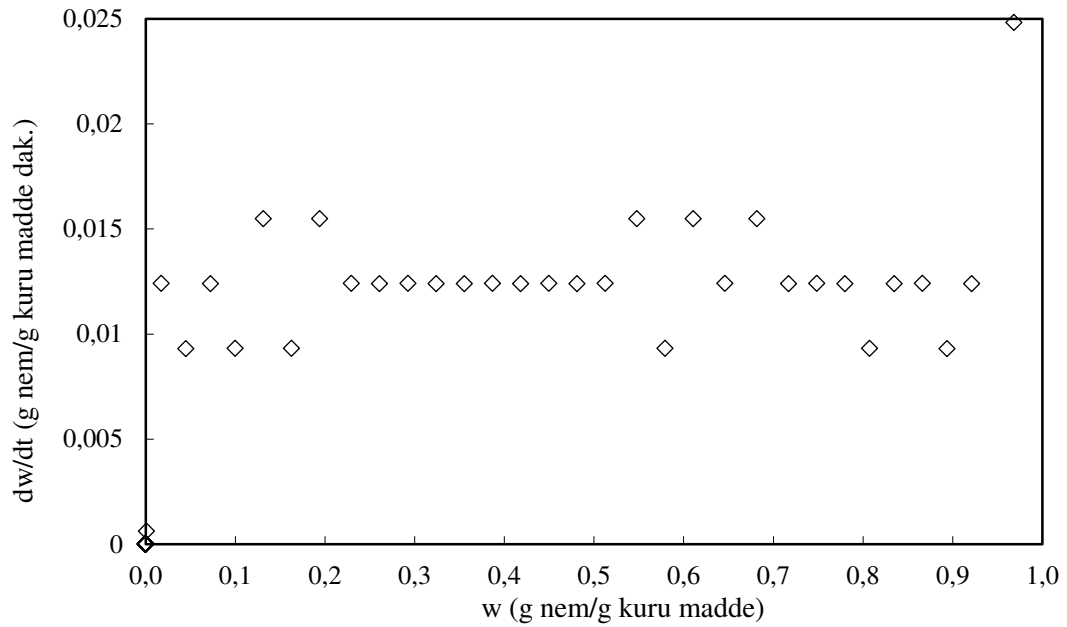
Şekil 4.8. 30°C’de 1,5 m/s akış hızında kuruma hızı eğrisi



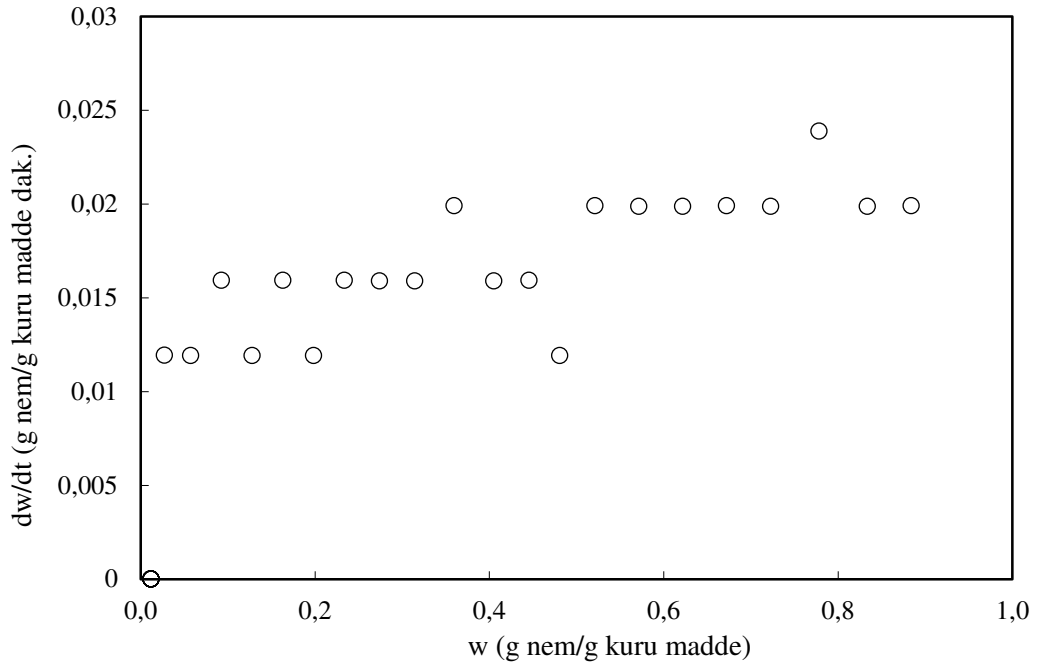
Şekil 4.9. 40°C’de 0,5 m/s akış hızında kuruma hızı eğrisi



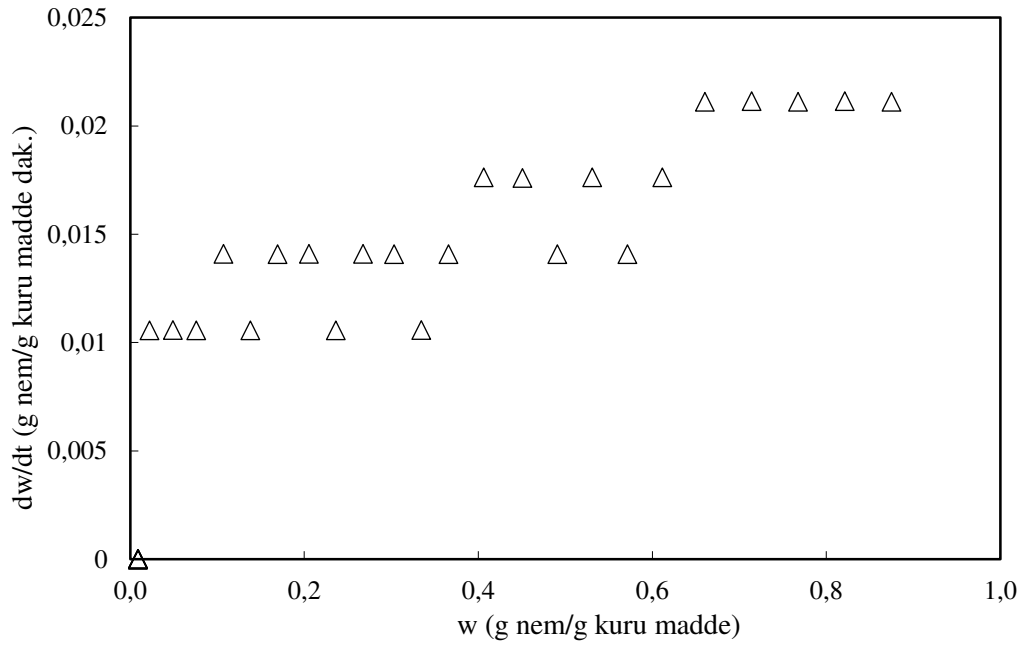
Şekil 4.10. 40°C'de 1 m/s akış hızında kuruma hızı eğrisi



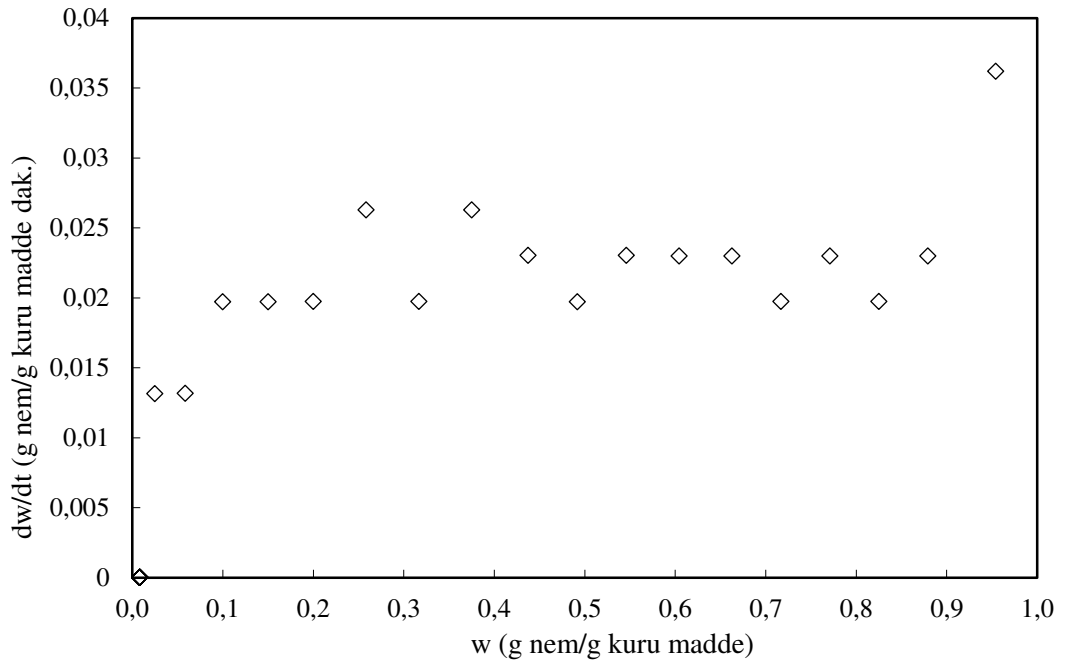
Şekil 4.11. 40°C'de 1,5 m/s akış hızında kuruma hızı eğrisi



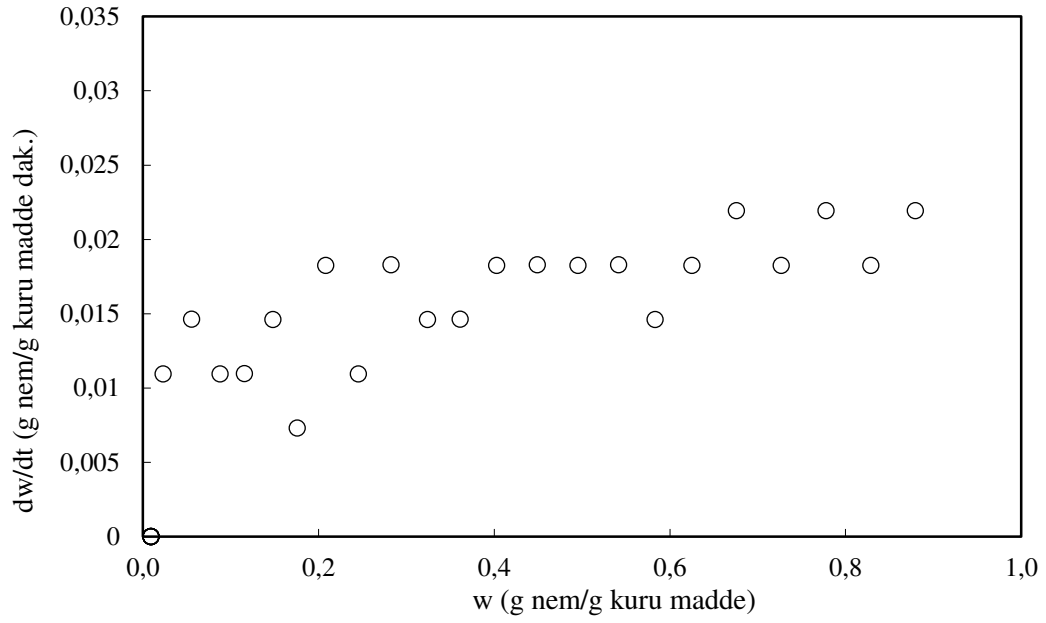
Şekil 4.12. 50°C’de 0,5 m/s akış hızında kuruma hızı eğrisi



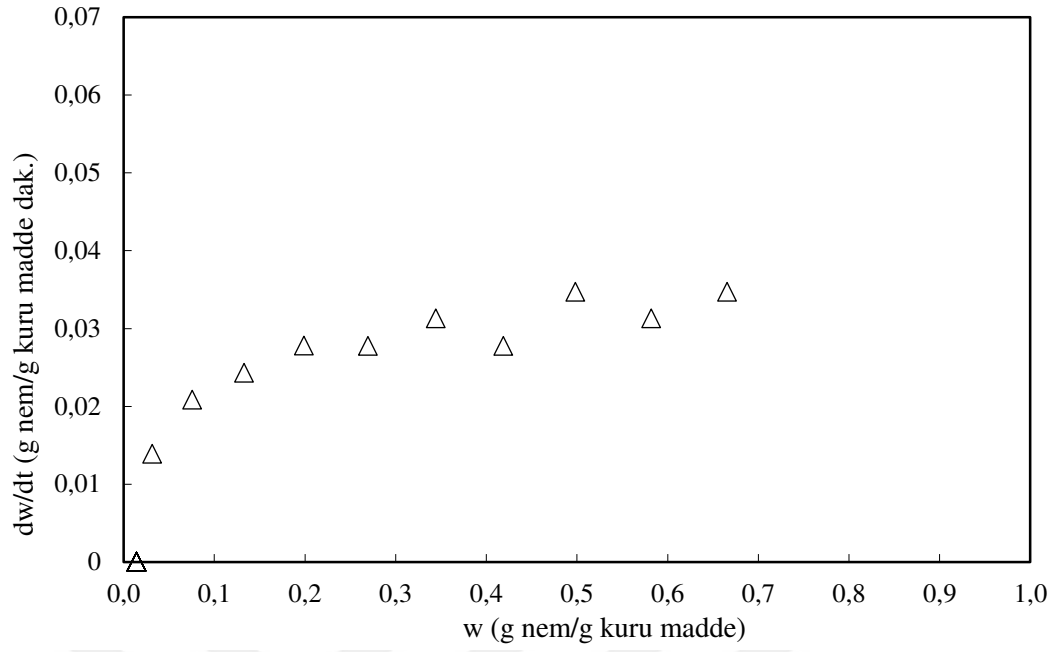
Şekil 4.13. 50°C’de 1 m/s akış hızında kuruma hızı eğrisi



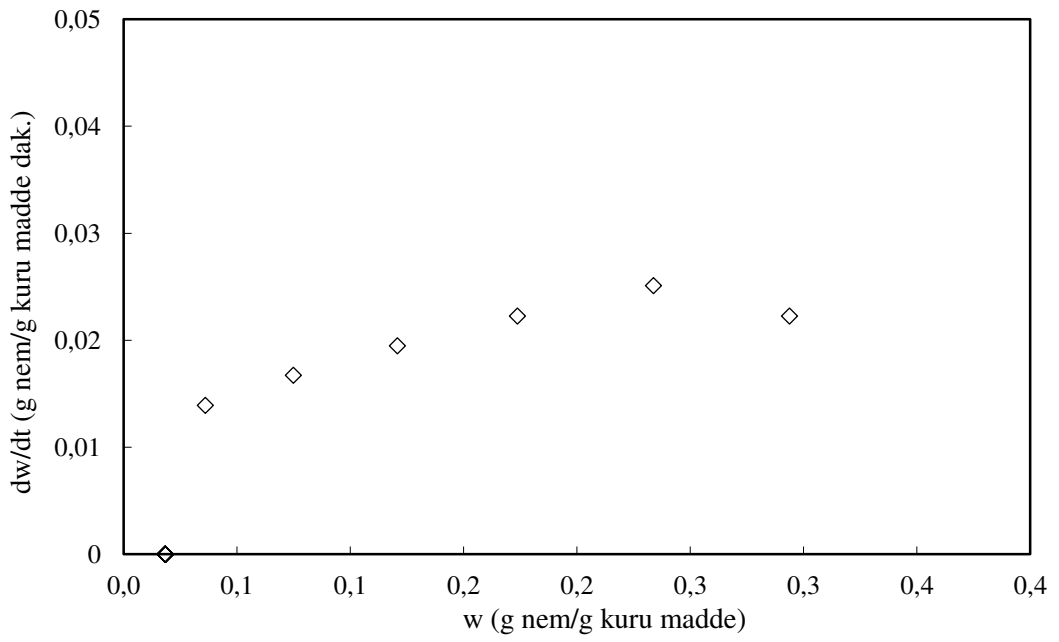
Şekil 4.14. 50°C'de 1,5 m/s akış hızında kuruma hızı eğrisi



Şekil 4.15. 60°C'de 0,5 m/s akış hızında kuruma hızı eğrisi



Şekil 4.16. 60°C’de 1 m/s akış hızında kuruma hızı eğrisi

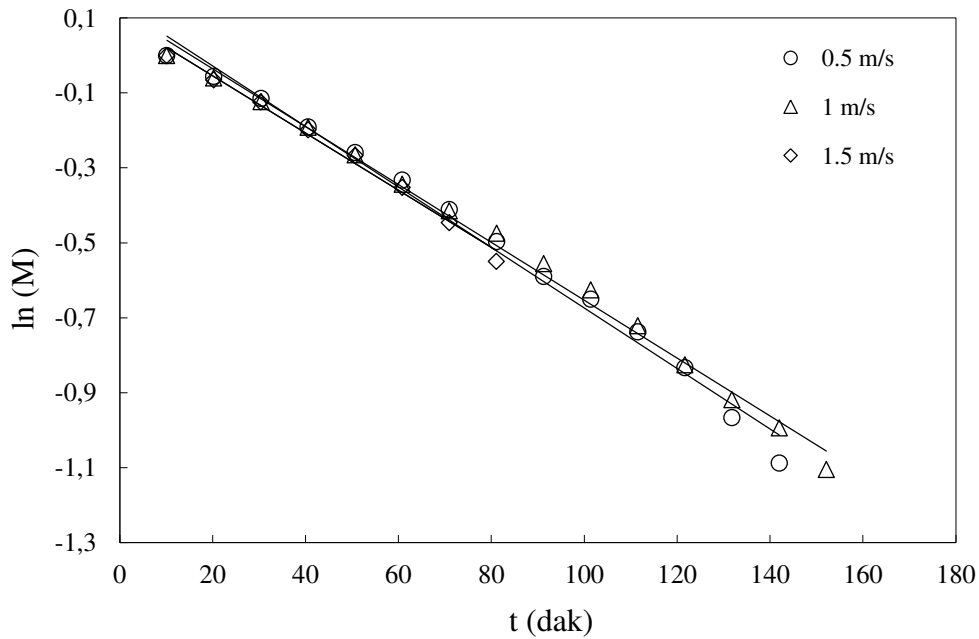


Şekil 4.17. 60°C’de 1,5 m/s akış hızında kuruma hızı eğrisi

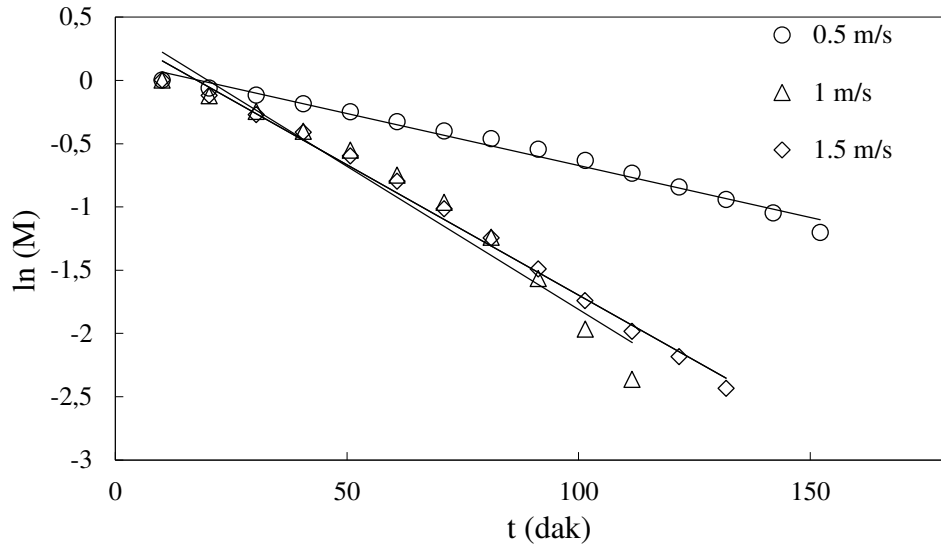
Şekil 4.9’da 40 °C ve 0,5 m/s şartlarında 30 °C’de elde edilen iki aşamalı sabit hız periyodunun tek aşamalı sabit hız periyoduna doğru kaydığı da kuruma hızı eğrilerinden gözlenen bir diğer sonuçtur. 50 °C’de kurutma deneylerinde mikroalg örneklerinin çok az da olsa bir azalan hız bölgesine sahip olduğu Şekil 4.12, 4.13 ve 4.14’den gözlenmektedir. Fakat, asıl azalan hız bölgelerinin net bir şekilde görüldüğü sıcaklık 60 °C’deki tüm akış hızlarındaki kuruma hızı eğrilerinde (Şekil 4.15, 4.16 ve 4.17) 60 °C’de Bölüm 2.6’da da bahsedildiği gibi azalan hız periyodunda katı içerisindeki nem yüzeyden uzaklaşan nemin yerini doldurmada yetersiz kaldığı için kuruma hızı azalmaktadır. Bu şekilde nem katı içerisinde difüzyonla ya da kapiler teoriyle yüzeye ulaşarak kuruma olayının devam ettiği söylenebilir. Bölüm 2.6’da difüzyon teorisi yardımıyla zamanla $\ln M$ grafikleri oluşturularak kuruma olayı için etkin difüzyon kat sayıları hesaplanabilir. Bu şekilde bir analiz bir sonraki bölümde yapılmıştır.

4.3. Karışık Mikroalg Biyokütlesinin (KMB) Kuruması İçin Etkin Difüzyon Katsayılarının Belirlenmesi

Yapılan çalışmalar sonucu elde edilen verilerden yola çıkılarak 50 ve 60 °C sıcaklıklarda KMB örnekleri için oluşturulan t - $\ln M$ grafikleri Şekil 4.18 ve Şekil 4.19’da gösterilmiştir.



Şekil 4.18. KMB örneklerine ait 50 °C’de $\ln M$ - t grafiği



Şekil 4.19. KMB örneklerine ait 60 °C’de lnM-t grafiği

Şekil 4.18 ve Şekil 4.19’da gösterilen grafiklerin eğimi ve Denklem 2.9 kullanılarak hesaplanan difüzyon kat sayısı değerleri Tablo 4.1 ‘de verilmiştir. Çalışılan sıcaklıklardan 30 ve 40°C’lerde kuruma hızı eğrileri sabit hız periyodunda olduğundan difüzyon kat sayıları bu sıcaklıklar için hesaplanamamıştır. Fakat 50 ve 60°C deki sıcaklıklarda azalan hız periyodu görüldüğünden bunlar için difüzyon kat sayıları hesaplanabilmiştir.

Tablo 4.1. 30-60 °C aralıklarındaki difüzyon kat sayılarının karşılaştırılması

Akış Hızı (m/s)	Difüzyon Katsayısı (D, m ² /s) x10 ¹⁰	
	50°C	60°C
0,5	1,369	1,386
1,0	1,301	3,042
1,5	1,352	3,059

Tablo 4.1’den görüldüğü gibi çalışılan düşük sıcaklık (30°C-40°C) ve akış hızlarında (0.5-1 m/s) difüzyon kat sayıları neredeyse aynı olmakla birlikte, 1,5 m/s akış hızında oluşan fark açıkça görülmektedir. Ayrıca artan sıcaklıkla çalışılan tüm akış hızı değerlerinde beklenildiği gibi difüzyon kat sayısı değerleri artmıştır.

4.4. KMB Kuruma Olayının Modellenmesi

Karışık mikroalg kültüründen elde edilen örneklerinin tepsili kurutucu deneyleri sonucunda elde edilen ayrılabilir nem oranı değerlerinin zamanla değişimi literatürde yaygın olarak kullanılan bazı kuruma modeli eşitlikleriyle kıyaslandı. Matematiksel modeller aşağıdaki Tablo 4.2’de verilmiştir.

Tablo 4.2. Bu çalışmada kullanılan türetilmiş kurutma model eşitlikleri (Toğrul, H., 2006)

Model	Model No	Equation
Modified Page	1	$MR = \exp(-((k_1 T^{k_2}) t)^{n_1 \exp(n_2 T)})$
	2	$MR = \exp(-((k_1 T^{k_2}) t)^{n_1 T^{n_2}})$
	3	$MR = \exp(-(k_1 \exp(k_2 T) t)^{n_1 \exp(n_2 T)})$
	4	$MR = \exp(-((k_1 \exp(k_2 T) t)^{n_1 T^{n_2}})$
Difüzyon	5	$MR = a_1 T^{a_2} \exp(-(k_1 T^{k_2}) t) + (1 - a_1 T^{a_2}) \exp(-(k_1 T^{k_2}) (b_1 T^{b_2}) t)$
	6	$MR = a_1 T^{a_2} \exp(-(k_1 T^{k_2}) t) + (1 - a_1 T^{a_2}) \exp(-(k_1 T^{k_2}) (b_1 \exp(b_2 T)) t)$
	7	$MR = (a_1 \exp(a_2 T)) \exp(-(k_1 T^{k_2}) t) + (1 - a_1 \exp(a_2 T)) \exp(-(k_1 T^{k_2}) (b_1 \exp(b_2 T)) t)$
	8	$MR = a_1 T^{a_2} \exp(-(k_1 \exp(k_2 T)) t) + (1 - a_1 T^{a_2}) \exp(-(k_1 \exp(k_2 T)) (b_1 T^{b_2}) t)$
	9	$MR = a_1 T^{a_2} \exp(-(k_1 \exp(k_2 T)) t) + (1 - a_1 T^{a_2}) \exp(-(k_1 \exp(k_2 T)) (b_1 \exp(b_2 T)) t)$
	10	$MR = (a_1 \exp(a_2 T)) \exp(-(k_1 \exp(k_2 T)) t) + (1 - a_1 \exp(a_2 T)) \exp(-(k_1 \exp(k_2 T)) (b_1 T^{b_2}) t)$
	11	$MR = (a_1 \exp(a_2 T)) \exp(-(k_1 \exp(k_2 T)) t) + (1 - a_1 \exp(a_2 T)) \exp(-(k_1 \exp(k_2 T)) (b_1 \exp(b_2 T)) t)$
Newton	12	$MR = \exp(-(k_1 T^{k_2}) t)$
	13	$MR = \exp(-(k_1 \exp(k_2 T)) t)$
Henderson and Pabis	14	$MR = a_1 T^{a_2} \exp(-(k_1 T^{k_2}) t)$
	15	$MR = (a_1 \exp(a_2 T)) \exp(-(k_1 T^{k_2}) t)$
	16	$MR = a_1 T^{a_2} \exp(-(k_1 \exp(k_2 T)) t)$
	17	$MR = (a_1 \exp(a_2 T)) \exp(-(k_1 \exp(k_2 T)) t)$
Logaritmik	18	$MR = a_1 T^{a_2} \exp(-(k_1 T^{k_2}) t) + c_1 T^{c_2}$
	19	$MR = (a_1 \exp(a_2 T)) \exp(-(k_1 T^{k_2}) t) + c_1 T^{c_2}$
	20	$MR = (a_1 T^{a_2}) \exp(-(k_1 \exp(k_2 T)) t) + c_1 T^{c_2}$

Tablo 4.2. 'nin devamı

21	$MR = (a_1 \exp(a_2 T)) \exp(-(k_1 \exp(k_2 T))t) + c_1 T^{c_2}$
22	$MR = a_1 T^{a_2} \exp(-(k_1 T^{k_2}) t^{n_1 T^{n_2}}) + (b_1 T^{b_2}) t$
23	$MR = a_1 T^{a_2} \exp(-(k_1 T^{k_2}) t^{n_1 T^{n_2}}) + (b_1 \exp(b_2 T)) t$
24	$MR = a_1 T^{a_2} \exp(-(k_1 T^{k_2}) t^{n_1 \exp(n_2 T)}) + (b_1 T^{b_2}) t$
25	$MR = a_1 T^{a_2} \exp(-(k_1 T^{k_2}) t^{n_1 \exp(n_2 T)}) + (b_1 \exp(b_2 T)) t$
26	$MR = a_1 T^{a_2} \exp(-(k_1 \exp(k_2 T)) t^{n_1 T^{n_2}}) + (b_1 T^{b_2}) t$
27	$MR = a_1 T^{a_2} \exp(-(k_1 \exp(k_2 T)) t^{n_1 T^{n_2}}) + (b_1 \exp(b_2 T)) t$
28	$MR = a_1 T^{a_2} \exp(-(k_1 \exp(k_2 T)) t^{n_1 \exp(n_2 T)}) + (b_1 T^{b_2}) t$
29	$MR = a_1 T^{a_2} \exp(-(k_1 \exp(k_2 T)) t^{n_1 \exp(n_2 T)}) + (b_1 \exp(b_2 T)) t$
30	$MR = (a_1 \exp(a_2 T)) \exp(-(k_1 \exp(k_2 T)) t^{n_1 T^{n_2}}) + (b_1 T^{b_2}) t$
31	$MR = (a_1 \exp(a_2 T)) \exp(-(k_1 \exp(k_2 T)) t^{n_1 \exp(n_2 T)}) + (b_1 T^{b_2}) t$
32	$MR = (a_1 \exp(a_2 T)) \exp(-(k_1 \exp(k_2 T)) t^{n_1 \exp(n_2 T)}) + (b_1 \exp(b_2 T)) t$

Matematiksel model, Modified Page olup parametrelerinin bulunmasında STATİSTİCA 10 programı kullanılmıştır.

İstatistiksel analizlerde belirleyici parametreler olan ki-kare (χ^2), RMSE (ortalamadan fark kareler sapma hatası) ve RSS (ortalamadan sapma hatası) sırasıyla Denklem 4.1-4.3 arasında verilmiştir;

$$\chi^2 = \frac{\left(\sum_{i=1}^N (MR_{\exp,i} - MR_{pred,i})^2 \right)}{N - n} \quad \text{Denklem (4.1)}$$

$$RMSE = \left[(1/2) \sum_{i=1}^N (MR_{\exp,i} - MR_{pred,i})^2 \right]^{0.5} \quad \text{Denklem (4.2)}$$

$$RSS = \sum_{i=1}^N (MR_{\exp,i} - MR_{pred,i})^2 \quad \text{Denklem (4.3)}$$

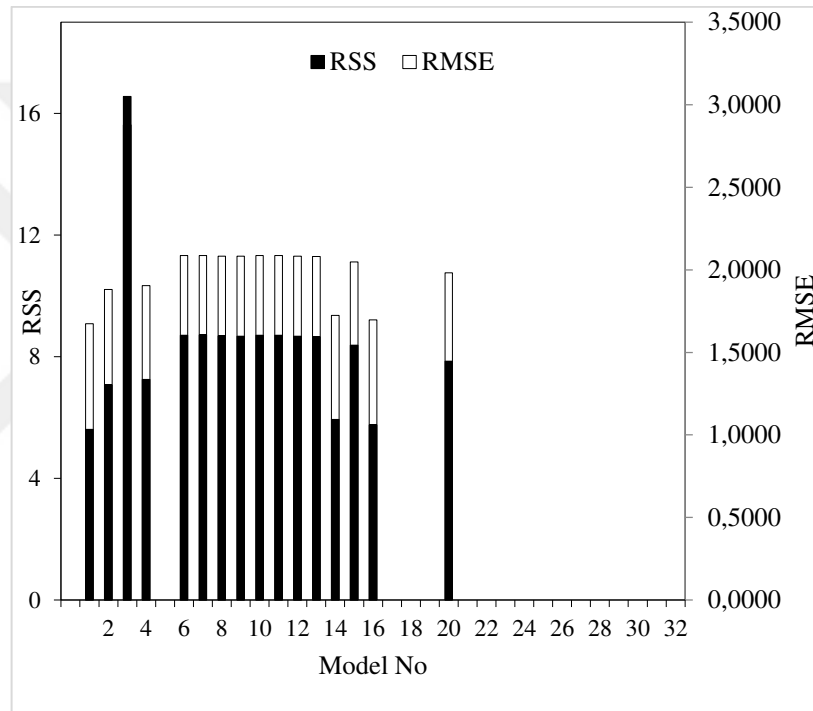
şeklindedir. Burada, $MR_{deneysel,i}$ ve $MR_{hesaplanan,i}$ sırasıyla deneysel ve model eşitliklerinden hesaplanan ayrılabilir nem oranı değerleri, N hesaplamalarda kullanılan veri sayısı ve n ise model eşitliklerindeki sabit sayısıdır. Ki-kare değeri, istatistiksel olarak deneysel değerlerle hesaplanan değerler arasındaki farklılığın bir ölçüsüdür. Ki-kare sıfır olduğunda deneysel ve hesaplanan değerler tam olarak uyumludur, sıfırdan büyük olduğu durumda ise aradaki farkın büyük olduğunun göstergesidir. Bu sebeple Ki-kare değeri sıfıra ne kadar yakın ise deneysel sonuçları ifade etmede kullanılacak modelin kullanılma güvenilirliği o kadar yüksektir. Ki-kare değeri R^2 'den daha kullanışlı bir istatistiksel değerdir (Spiegel ve Stephens, 1999).

Yapılan istatistiksel analizlerin sonucunda çalışılan sıcaklıklarda karışık mikroalg kültürü için hesaplanan model sabitleri ile regrasyon katsayısı, Ki-kare, RSS ve RMSE değerleri Tablo 4.3'de verilmiştir.

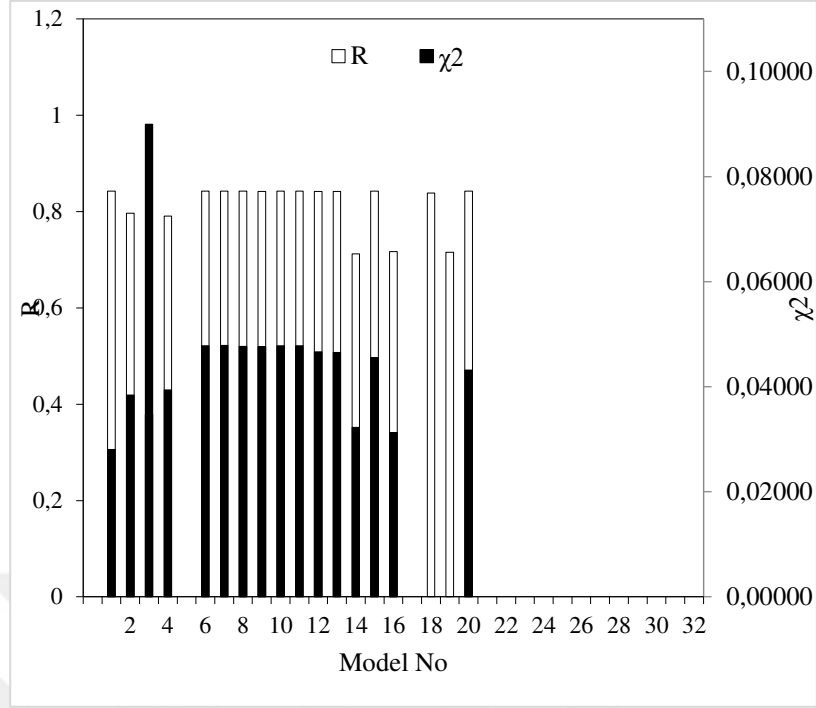
Tablo 4.3. Üretilen KMB kuruması için istatistiksel analiz sonucu elde edilen model sabitleri ve istatistiksel parametre değerleri

Model No	k1	k2	n1	n2	a1	a2	b1	b2	c1	c2	RMSE	RSS	chi-square=	R
1	0,0067	0,0205	0,8465	0,0006	-	-	-	-	-	-	1,6745	5,6081	0,02804	0,8426
2	0,0066	0,0228	0,6466	0,0821	-	-	-	-	-	-	1,8804	7,0718	0,03843	0,7964
3	0,1148	-0,0807	5,0870	-0,0493	-	-	-	-	-	-	2,8776	16,5607	0,09000	0,3789
4	0,0009	0,0134	0,3174	0,00007	-	-	-	-	-	-	1,9042	7,2522	0,03941	0,7905
5	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
6	0,0956	0,1299	-	-	0,1067	0,0000	0,0359	0,0001	-	-	2,0859	8,7023	0,04781	0,8428
7	0,1231	0,0063	-	-	0,9091	0,1202	0,0375	0,5898	-	-	2,0871	8,7122	0,04787	0,8428
8	0,0508	-0,0005	-	-	0,1450	0,0000	0,0401	0,2459	-	-	2,0834	8,6813	0,04770	0,8425
9	0,0075	-0,0006	-	-	1,0614	0,0000	0,0954	-0,0394	-	-	2,0823	8,6721	0,04765	0,8422
10	0,1463	0,0003	-	-	0,0915	-0,0165	0,0481	0,0000	-	-	2,0862	8,7047	0,04783	0,8428
11	0,0736	-0,0052	-	-	0,1352	-0,0229	0,0965	0,0055	-	-	2,0861	8,7039	0,04782	0,8428
12	0,0076	0,0000	-	-	-	-	-	-	-	-	2,0823	8,6715	0,04662	0,8420
13	0,0076	0,0000	-	-	-	-	-	-	-	-	2,0804	8,6563	0,04654	0,8419
14	0,0004	0,5029	-	-	0,785442	0,000048	-	-	-	-	1,7237	5,9420	0,03229	0,7125
15	0,1256	0,0032	-	-	0,945558	0,120455	-	-	-	-	2,0468	8,3791	0,04554	0,8426
16	0,0066	0,0006	-	-	0,866906	0,023214	-	-	-	-	1,6971	5,7606	0,03131	0,7167
17	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
18	0,0104	0,1318	-	-	0,839395	0,013010	-	-	0,031227	0,000046	#BAŞV!	#BAŞV!	#BAŞV!	0,8389
19	0,0052	0,0022	-	-	0,852494	0,000165	-	-	0,038614	0,000467	#BAŞV!	#BAŞV!	#BAŞV!	0,7154
20	1,6687	-0,6568	-	-	0,970914	-0,006913	-	-	-0,011062	0,104959	1,9818	7,8548	0,04316	0,8429
21	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
22	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
23	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
24	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
25	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
26	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
27	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
28	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
29	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
30	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
31	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
32	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x

Tablo 4.3 incelendiğinde, kullanılan model eşitliklerinden deneysel verilerle uyum içinde olmayan modeller “x” işareti ile gösterilmiştir. Bu modeller için STATISTICA programından herhangi bir sonuca ulaşılamamıştır. Regrasyon katsayısı değerlerine bakıldığında literatürdeki birçok çalışmada elde edilen yüksek katsayı değerlerine ($>0,95$) ulaşılamamasına rağmen model uygunluğunun kabul edilebileceği 0,84 değerleri elde edilmiştir. Yapılan istatistiksel analizler sonucunda kullanılan modeller için RMSE ve RSS; R ve ki-kare değişimlerini gösteren grafikler sırasıyla Şekil 4.20 ile Şekil 4.21’de gösterilmiştir.



Şekil 4.20. RMSE ve RSS değişimleri



Şekil 4.21. Ki-kare ve R değişimi

Grafiklerden de anlaşılacağı gibi ki-karesi sıfıra en yakın olan denklem 1 numara ile gösterilen “Modified Page” denklemidir. Bu olay Denklem 4.4’ de kuruma olayını ifade etmektedir.

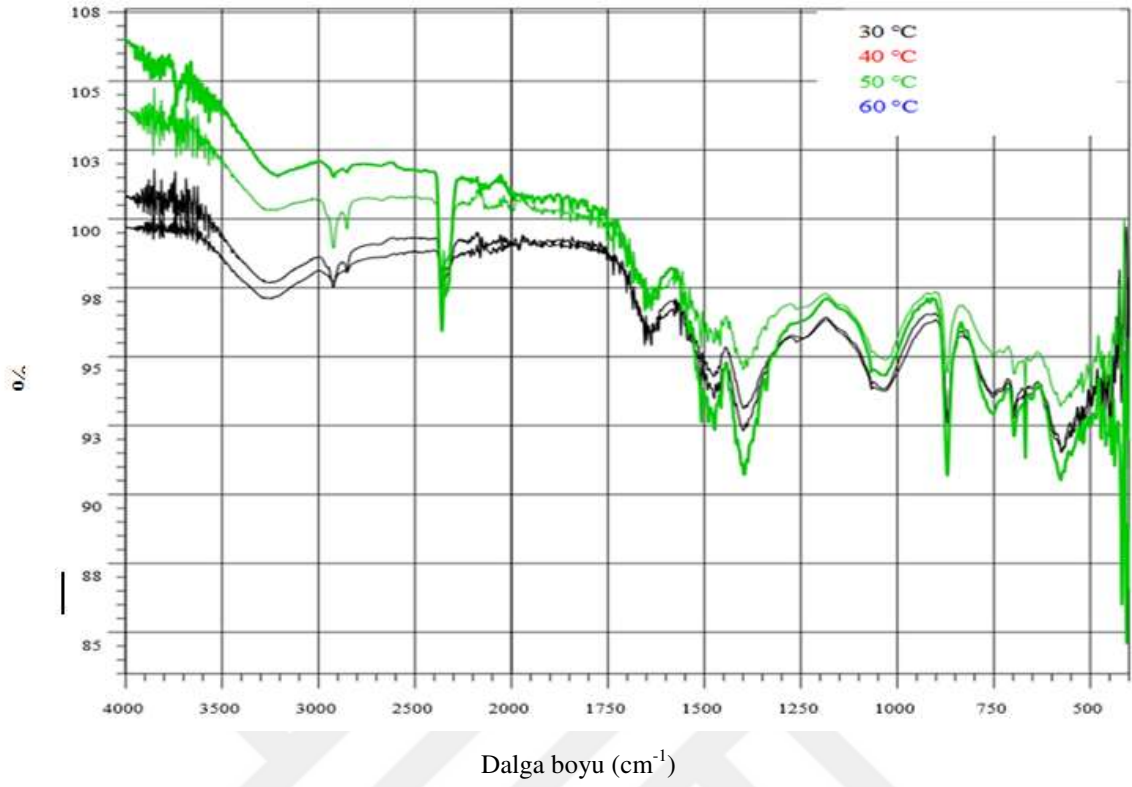
$$MR = \exp(-((k_1 T^{k_2}) t)^{n_1 \exp(n_2 T)}) \quad \text{Denklem (4.4)}$$

30 °C’ de 0,5 m/s akış hızında MR değeri hesaplanacak olursa k_1 , k_2 , n_1 , n_2 değerleri de tablodan alınarak denklem çözümlendiğinde sonuç -0.192 çıkmaktadır. Diğer değerler aynı şekilde tablodan alınarak bulunabilir.

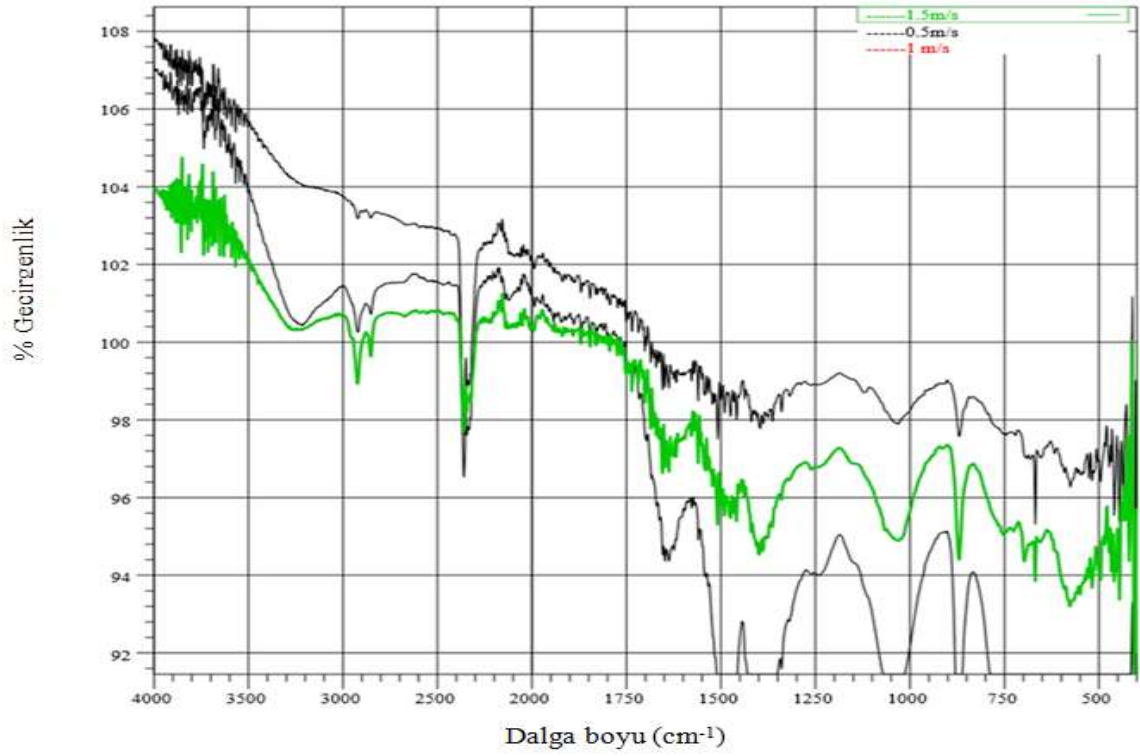
4.5. Üretilen KMB’ lerinin Karakterizasyon Sonuçları

4.5.1. FTIR Sonuçları

Çoğaltılan mikroalg örneklerinin 1,5 m/s hava akış hızında farklı sıcaklıklardaki FTIR analizleri sonucunda elde edilen spektrumları Şekil 4.22’de gösterilmiştir. Görüldüğü gibi Şekil 4.22’deki spektrumlar birbirinden pek farkı olmayan mikroalgler üretilmiştir.



Şekil 4.22. 1,5 m/s hava akış hızında çalışılan sıcaklıklarda kurutulan KMB' ya ait FTIR spektrumları



Şekil 4.23. Mikroalg örneklerinin 50 °C'de çalışılan hava akış hızlarındaki FTIR spektrumları

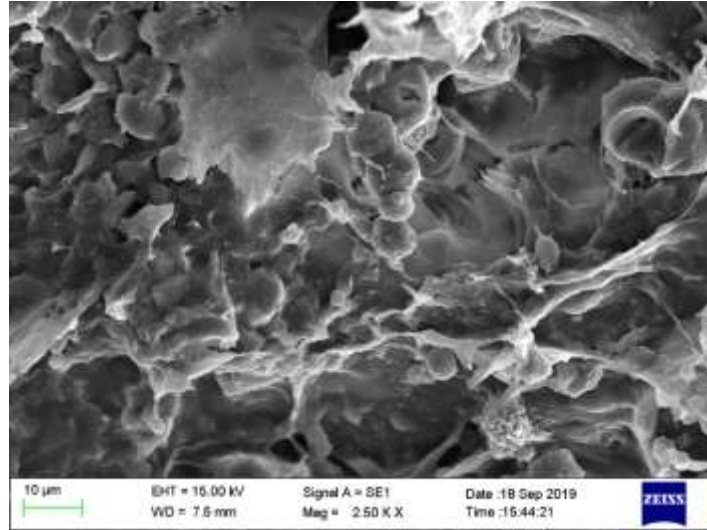
Üretilen mikroalg örneklerinin farklı hava akış hızlarında 50 °C’de alınan spektrumları Şekil 4.23’de gösterilmiştir. Şekil 4.23’de görüldüğü gibi kurutulan mikroalg örneklerinin FTIR spektrumlarının hava akış hızı ile değişmediği söylenebilir.

K. Sudhakar & M. Premalatha’ nın 2015 yılında yapmış olduğu “Mikro Algal Biyokütlenin FTIR / TGA / CHN Analizi ile Karakterizasyonu: Scenedesmus sp.” İsimli çalışma incelendiğinde elde edilen FTIR sonuçlarına bakıldığında; 400-800 cm^{-1} absorbands değerleri arasında alifatik karakterler, 1000-1400 cm^{-1} absorbands değerleri arasında fenol ve alkol grupları, 1500-1700 cm^{-1} absorbands değerleri arasında karboksil gruplarının ve 3200-3400 cm^{-1} absorbands değerleri arasında ise hidroksil gruplarının olduğu görülmüştür (Sudhakar ve Premalatha, 2015).

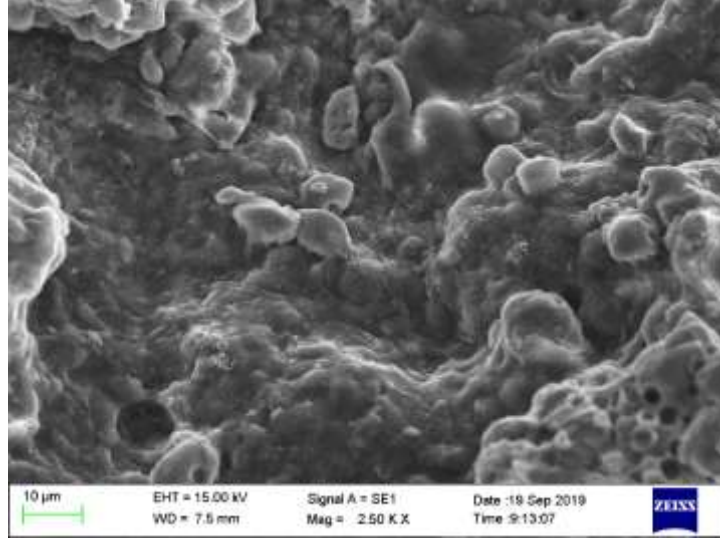
Aynı absorbands değerleri ve grafik görüntüleri bu çalışmada elde edilen FTIR analiziyle uyushmaktadır.

4.5.2. SEM Sonuçları

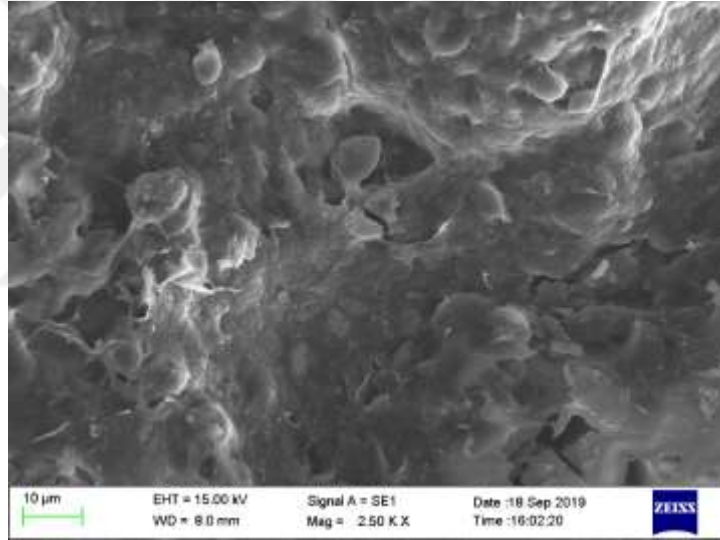
Üretilen karışık mikro alg kültürlerinin 30-60°C arasındaki sıcaklarda ve 0,5 m/s akış hızında kurutulan örneklerinin SEM sonuçları sırasıyla Şekil 4.24-4.27 arasında gösterilmiştir.



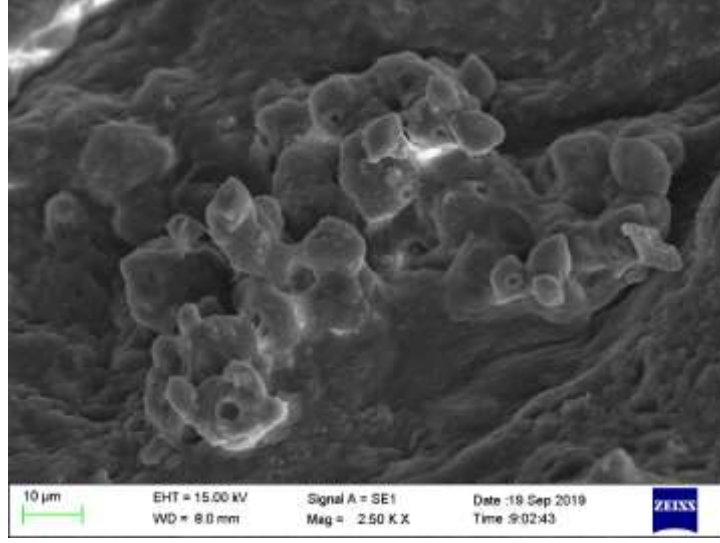
Şekil 4.24. 30 °C 0,5 m/s akış hızı



Şekil 4.25. 40 °C 0,5 m/s akış hızı



Şekil 4.26. 50 °C 0,5 m/s akış hızı



Şekil 4.27. 60 °C 0,5 akış hızı

SEM görüntülerinden tipik mikroalg yapısı görülmektedir. Bu çalışmadaki üretilen mikroalg SEM görüntülerinin literatürde elde edilen SEM görüntüleri ile uyumlu olduğu söylenebilir. (Dai ve ark., 2014).

KAYNAKLAR

- Aktar, S., Cebe, G.,** 2010, Alglerin Genel Özellikleri, Kullanım Alanları ve Eczacılıktaki Önemi, Ege University, Faculty of Pharmacy, Department of Pharmaceutical Botany,35100 Bornova-İzmir
- Amouzgar, P.,Khalil, H. A., Salamatnia, B., Abdullah, A. Z. and Issam, A.** 2010. Optimization of Bioresource Material from Oil Palm Trunk Core Drying Using Microwave Radiation; a Response Surface Methodology Application. Bioresource Technology, 101(21), 8396-8401
- Aziz, M., Oda, T. And Kashiwagi, T.** 2013. Enhanced High Energy Efficient Steam Drying of Algae. Appliedenergy, 109, 163-170
- Bayhan, H., A.,** 2011, Kabin Tipi Bir Kurutucuda Kurutma Sürecini Etkileyen Parametrelerin Deneysel Olarak İncelenmesi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Isparta
- Becker, E.W.,** 1995, Microalgae: Biotechnology and Microbiology, Cambridge University Press 158-160 pp
- Brownlee I., A., Allen, A., Pearson, J., P., Dettmar, P., W., Havler, M., E., Atherton, M., R. and Onsoyen. E.,** 2005, Alginate as a source of dietary fiber, Critical Reviews of Food Science and Nutrition, 45, 497-510
- Carvalho, A. P., Silva, S. O., Baptista, J. M. and Malcata, F. X.,** 2011, Light requirements in microalgal photobioreactors: an overview of biophotonic aspects. Appl Microbiol Biotechnol, 89, 1275–1288
- Chua, K.J. and Chou, S.K.,** 2005, A comparative study between intermitten microwave and infrared drying of bioproducts, international T.FoodSci and Tecnol.,40,23-39
- Cirik, Ş., Cirik, S.,**2011, Su bitkileri I-Deniz Bitkilerinin Biyolojisi, Ekolojisi ve Yetiştirme Teknikleri, Ege Üniversitesi Su Ürünleri Fakültesi Yayınları, 58, 135-145
- Coulson, J.M., Richardson, J.F.,**1991, Chemical Engineering, Volume 1, 4th ED, Pergamon Press, Oxford
- Çakmakçı, S., Çelik, İ.,** 1994, Food additives (in turkish). Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Ders Notları Yayın No: 164, 249 p

- Dai, Y., M., Chen, K., T. and Chen, C., C.,** (2014) Study of the microwave lipid extraction from microalgae for biodiesel production, Chemical Engineering Journal 250 (2014) 267–273, 2014
- Daşdemir, O.,** 2012, Denizel Ortamdan Bazı Mikroalg ve Siyano bakterilerin İzolasyonu ve Uygun Kültür Ortamının Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir
- Genç, T.,** 2016, Tam Ölçekli Çöp Sızıntı Suyu Arıtma Tesisi Çıkış Suyunda Mikroalg Kültürlerinin Geliştirilmesi ve Enerji Üretim Potansiyellerinin Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul
- Gezici, M.,** 2012, Biyodizel Üretimine Uygun Mikroalglerin Gelişimine Bazı Yetiştirme Parametrelerinin Etkisinin Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi, Ankara
- Ginzburg, A.S.,** 1996, Application of İnfrared cen-diation in food processing, Leonard Hill, 174-254, London
- Gümüş G.,** 2006, Deniz Marulunun Kimyasal Kompozisyonunun Araştırılması, Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi
- Günerban, H.,** 2005, Endüstriyel kurutma sistemleri, Türk Tesisat Mühendisleri Dergisi, Sayı:36, Temel Bilgiler, Tasarım ve Uygulama Eki
- Güngör, A.,** 2013, Sebze ve Meyve Kurutmada Kullanılan Kurutucular ve Kurutma Teknolojileri, 11. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi – 17/20 Nisan 2013, İzmir
- Ivanova, V., Rouseva, R., Kolarova, M., Serkedjieva, J., Rachev, R., and Manolova, N.,** 1994, Isolation of a polysaccharid with antiviral effect from *Ulva lactuca*, Preperative Biochemistry and Biotechnology, 24, 83-97
- Karabacak, A., Sinir, G., Suna, S.,** 2015, Mikrodalga ve Mikrodalga Destekli Kurutmanın Çeşitli Meyve ve Sebzelerin Kalite Parametreleri Üzerine Etkisi, U. Ü. Ziraat Fakültesi Dergisi, 2015, Cilt 29, Sayı 2, 125-135 (Journal of Agricultural Faculty of Uludag University)
- Khedkar, M. A., Nimbalkar, P. R., Gaikwad, S. G., Chavan, P. V. and Bankar, S. B.** 2017. Sustainable Biobutanol Production from Pineapple Waste by Using *Clostridium Acetobutylicum* B 527: Drying Kinetics Study. Bioresource Technology, 225, 359-366
- Kocataş, A.,** 2005, Oseanoloji, Ege Üniversitesi Basımevi, Bornova, İzmir, 357 s.

- Kuda, T., TSunekawa, M., Goto, H. and Araki, Y.,** 2005, Antioxidant properties of four edible algae harvested in the Noto Peninsula Japan, *Journal of Food Composition Analyses*, 18, 625- 633
- Kumar, A., Ergas, S., Yuan, X., Sahu, A., Zhang, Q., Dewulf, J.,** 2010, Enhanced CO₂ fixation and biofuel production via microalgae: recent developments and future directions *Trends in Biotechnology*, 28, 371–380
- Marsh, A. A.,** 2008, A Study into the Cultivation of Algae for Carbon Dioxide Sequestration from a Power Plant and It's Use as a Bio Fuel (yüksek lisans tezi). Cardiff School of Engineering Cardiff University
- Mccabe, W.L, Smith, J.C.,Peter, H.,** 1993, Unit Operations of Chemical Engineering, 5th ED.,McGraw-Hill Inc., New York
- Meenakshi, S., Umayaparvathi, S., Arumugam, M., Balasubramanian, T.,** 2012, In vitro antioxidant properties and FTIR analysis of two seaweeds of Gulf of Mannar, *Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine*, 66-70
- Mujumdar, Arun 5.,** 1980, *Advances In Drying*, McGraw-Hill International Book Company ,London
- Nwosu, F., Morris, J., Lund, V., A., Stewart, D., Ross, H., A. and McDougall, G., J.,** 2011, Antiproliferative and potential antidiabetic effects of phenolic rich extracts from edible marine algae, *Food Chemistry*, 126, 1006-1012
- Oğur, S.,** 2016, Kurutulmuş alglerin besin değeri ve gıda olarak kullanımı, *Ege Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 33(1): 67-79
- Özdemir, N., Erkmen J.,** 2013, Yenilebilir Biyoplastik Üretiminde Alglerin Kullanımı, *Karadeniz Fen Bilimleri Dergisi / The Black Sea Journal of Sciences* 3(8):89-104
- Pabuçcu, K., Altuner, Z. ve Gör, M.Ö.,** 1999, Yeşilırmak Nehri (Tokat) bentik alg florası. In: 1st Int. Symp. on Protection of Natural Environmental and Eherami Karaçam, 23-25th September 1999, Kütahya, 251-258
- Pabuçcu, K., Altuner, Z.,** 1998, Planktonic algal flora of Yeşilırmak River (Tokat-Turkey). *Bulletin of Pure and Applied Science* 17, 101-112
- Park, K. H. and Lee, C. G.,** 2001, Effectiveness of Flashing Light for Increasing Photosynthetic Efficiency of Microalgal Cultures over a Critical Cell Density. *Biotechnol. Bioprocess Eng.*, 6, 189-193
- Perry, R., H.,Green,D., W.,** 1984, *Perry's Chemical Engineer Handbook*, 6th ed., McGraw-Hill. , New York

- Richmond, A.**, 2004, Handbook of Microalgal Culture: Biotechnology and Applied Phycology, Blackwell Publishing Ltd. **Richmond, A.**, 1986. Outdoor Mass Cultures of Microalgae. (A. Richmond Editör). Handbook of Microalgal Mass Cultures of Microalgae. CRC Press, INC. Boca Raton, Florida. 285-329
- Sayaner, O.**, 2013, Mikroalg Yetiştiriciliği Yoluyla Baca Gazı Kaynaklı Karbondioksit Azaltımı, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul
- Schiffmann, R.F.**, 1995, Microwave and dielectric drying. In: Handbook of Industrial Drying (edited by A.S Mujumdar). Pp. 345–372. New York, USA: Marcel Dekker Inc
- Shneider, Ferdinand (Tercüme: Osman Bozok ve arkadaşları)**, 1971, Şekerin Teknolojisi, Ajans-Türk Matbaacılık, Ankara
- Spiegel, M., Stephens, L.**, Çeviri Ed: Esin, A. ve Çelebioğlu, S. (1999), İstatistik, Nobel yayınları, Ankara.
- Sudhakar, K., Premalatha, M.** (2015), Characterization of Micro Algal Biomass Through FTIR/TGA /CHN Analysis: Application to *Scenedesmus* sp. Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects, 37:21, 2330-233
- Suh, I. S. and Lee, C. G.**, 2003, Photobioreactor Engineering: Design and Performance. Biotechnology and Bioprocess Engineering, 8, 313-321
- Sumprasit, N., Wagle, N., Glanpracha, N. and Annachhatre, A. P.** 2017. Biodiesel and Biogas Recovery from *Spirulina Platensis*. International Biodeterioration & Biodegradation, 119, 196-204
- Treybal, R. E.**, 1982, Mass Transfer Operations, 3rd. ED., McGraw-hill Inc., New York
- URL-1 http://makinecim.com/bilgi_8147_Kurutma-ve-Kurutucular-Cesitleri_Erisim_Tarihi_05.07.2019
- URL-2 <https://www.taek.gov.tr/tr/sik-sorulan-sorular/148-malzeme-teknolojisi-sss/948-taramali-elektron-mikroskobu-sem-nasil-calisir.html>
- URL-3 <http://www.derilkim.com/urunler/analitik-cihazlar/ftir-spektrometresi/ftir-spektroskopi-nedir/>
- URL-4 <https://www.canmustafa.com/infrared-spektrometri-8-c-1-infrared-cihazlari/>
- Wang, B., Lan, C. Q. and Horsman, M.**, 2012, Closed photobioreactors for production of microalgal biomasses. Biotechnology Advances, 30, 904–912

Zeybek, N., Zeybek, U. ve Saygıner, B., 2003, Farmasötik Botanik, Meta Basımevi, İzmir, p. 102-103



ÖZGEÇMİŞ

Ethem Enes GÜZELER

KİŞİSEL BİLGİLER

Uyruk : T.C.

Doğum Yeri : Malatya\Merkez

Doğum Tarihi: 21.05.1990

E-posta : ethemguzeler@hotmail.com

EĞİTİM BİLGİLERİ

2015-2019 Fırat Üniversitesi, Yüksek lisans

2010-2015 Fırat Üniversitesi, Biyomühendislik Bölümü

İŞ DENEYİMİ

12.12.2016- Abdi İbrahim İlaç San. Tic. Ltd. Şti.

Tıbbi Tanıtım Temsilcisi (Devam Etmekte)

04.07.2013-04.09.2013 Yıldız Teknik Üniversitesi

Biyomühendislik Bölümü Stajyer Öğrenci

03.06.2013-29.06.2012 GATA Tıbbi Biyoloji ve Genetik ABD

Stajyer Öğrenci

Çalışma Konuları: Tıbbi Biyoteknoloji, Mikrobiyal Genetik, Yenilenebilir Enerji Kaynakları

PROJELER

2015-2019: Mikroalglerin İnce Tabaka Kuruma Davranışı ve Kuruma Model Eşitliğinin Belirlenmesi (Yürütücü olarak)

2014-2015: Melastan Bakır sülfat Çözeltisi ile Nanobakır Eldesi (Bitirme Ödevi)

DİL

İngilizce: İleri seviyede