

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**HELEZON ÇAY KURUTMA MAKİNESİNİN ENDÜSTRİYEL
KARAKTERİSTİKLERİNİN BELİRLENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mak. Müh. Emre KIYAKOĞLU

**NİSAN 2010
TRABZON**

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**HELEZON ÇAY KURUTMA MAKİNESİNİN ENDÜSTRİYEL
KARAKTERİSTİKLERİNİN BELİRLENMESİ**

Mak. Müh. Emre KIYAKOĞLU

**Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde
"Makine Yüksek Mühendisi"
Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 30.12.2009
Tezin Savunma Tarihi : 28.04.2010**

Tez Danışmanı : Prof. Dr. Aydın BIYIKLIOĞLU

Jüri Üyesi : Prof. Dr. Ahmet ÜNAL

Jüri Üyesi : Prof. Dr. İlhan DENİZ

Enstitü Müdürü : Prof. Dr. Salih TERZİOĞLU

Trabzon 2010

ÖNSÖZ

Bu tez çalışması, Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Anabilim Dalı Yüksek Lisans Programında yapılmıştır.

Dünyada diğer endüstrilerde olduğu gibi çay endüstrisinde de daha kaliteli ve verimli çay üretimi için araştırmalar yapılmaktadır. Ülkemizde de önemli bir endüstri kaynağı olan çayın kalitesinin artırılması ülkemizin ekonomisi açısından önemi büyüktür.

SANTEZ Projesi kapsamında hazırlanan bu çalışma ile çayın; renk, koku, aroma v.b. gibi özellikleri üzerinde önemli etkisi olan kurutma işlemini gerçekleştiren helezon çay kurutma makinesinin endüstriyel karakteristikleri araştırılmıştır.

Bu çalışma esnasında başta bana maddi ve manevi destek olan aileme, bu projede bana imkân verdiği için sayın hocam Prof. Dr. Aydın BIYIKLIOĞLU'NA, tezle ilgili görüşlerinden faydalandığım Prof. Dr. İlhan DENİZ ve Prof. Dr. Ahmet ÜNAL'A makinenin imalatında bize yardım eden başta Makine Yüksek Mühendisi Cemal BAŞAR olmak üzere Başar Makineye, araştırmamızda bize maddi ve manevi destekte bulunan başta Yusuf YURTVERMEZ olmak üzere tüm İsar Gıda Sanayi A.Ş. çalışanlarına ve bu projenin gerçekleşmesine vesile olan Sanayi ve Ticaret Bakanlığı'na teşekkür ederim.

Emre KIYAKOĞLU

Trabzon 2010

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖZET	VII
SUMMARY	VIII
ŞEKİL LİSTESİ.....	IX
TABLolar DİZİNİ	XI
SEMBOL LİSTESİ.....	XII
1. GENEL BİLGİLER.....	1
1.1. Giriş	1
1.1.1. Çay Hakkında Genel Bilgiler.....	1
1.1.2. Çay Ekonomisi	3
1.1.2.1. Dünyada Çay Üretimi ve Tüketimi	3
1.1.2.2. Türkiye’de Çay Üretimi ve Tüketimi	5
1.1.3. Çayın İşlenişi ve Sınıflandırılması	6
1.1.3.1. Beyaz Çay	9
1.1.3.2. Sarı Çay.....	10
1.1.3.3. Oolong Çay	10
1.1.3.4. Özçay	10
1.1.3.5. Daldırma Çay	12
1.1.3.6. Lapsang Soochong Çayı	12
1.1.3.7. Yeşil Çay.....	12
1.1.3.7.1. Yeşil Çayı İşleme Teknolojisi	13
1.1.3.8. Siyah Çay	16
1.2. Siyah Çayın İşlenmesi	17
1.2.1. Modern Yöntemlere Göre Siyah Çayın İşlenmesi.....	17
1.2.1.1. Çay-Kur Yöntemi	17
1.2.1.2. Kesme Çay Yöntemi.....	20
1.2.1.3. C.T.C. Yöntemi	20
1.2.1.4. Rotorvan Yöntemi	21
1.2.1.5. Triturator Yöntemi.....	23
1.2.2. Ortodoks Yöntemine Göre Siyah Çayın İşlenmesi	23
1.2.2.1. Soldurma	23

1.2.2.1.1.	Fiziksel Soldurma	24
1.2.2.1.2.	Kimyasal Soldurma	24
1.2.2.1.3.	Soldurma Yöntemleri.....	25
1.2.2.2.	Kıvrırma	26
1.2.2.2.1.	Yaş Kalburlama	27
1.2.2.3.	Oksidasyon	27
1.2.2.3.1.	Oksidasyonu Etkileyen Etmenler	29
1.2.2.3.1.1.	Oksidasyon Süresi	29
1.2.2.3.1.2.	Oksidasyon Sıcaklığı	29
1.2.2.3.1.3.	Solma Derecesi.....	30
1.2.2.3.1.4.	Oksijen (O ₂) Konsantrasyonu.....	30
1.2.2.3.1.5.	Çay Yapraklarının Serilme Kalınlığı.....	30
1.2.2.3.1.6.	Oksidasyon Odası ve Koşulları	30
1.2.2.3.1.7.	Oksidasyonu Etkileyen Diğer Etmenler.....	31
1.2.2.4.	Kurutma	31
1.2.2.4.1.	Kurutmanın Tanımı	31
1.2.2.4.1.1.	Kurutma Periyodu.....	32
1.2.2.4.1.2.	Difüzyon.....	35
1.2.2.4.1.2.1.	Sıvı Difüzyon Modeli	36
1.2.2.4.1.2.2.	Buhar Difüzyon Modeli	36
1.2.2.4.1.2.3.	Kılcal (Kapiler Akış)	37
1.2.2.4.1.3.	Malzemelerin Sınıflandırılması	37
1.2.2.4.1.4.	Katılarda Nemin Bağlanış Şekli	38
1.2.2.4.1.5.	Su Aktivitesi ve Denge Nemi.....	38
1.2.2.4.1.6.	Kuru Gıdalarda Kalite Değişimleri.....	40
1.2.2.4.1.7.	Temel Kurutucu Tipleri	41
1.2.2.4.2.	Çay Kurutma Tekniği	42
1.2.2.4.3.	Kurutma İşlemi Esnasında Oluşan Kimyasal Olaylar	45
1.2.2.5.	Çayların Tasnif Edilmesi ve Derecelendirilmesi.....	46
1.2.2.6.	Çay Parçacıklarının Ayrılması	46
1.2.2.7.	Çayın Depolanması.....	48
1.2.2.8.	Çayın Paketlenmesi	49
2.	YAPILAN ÇALIŞMALAR	50

2.1.	Endüstriyel Helezon Çay Kurutma Makinesi.....	50
2.1.1.	Endüstriyel Helezon Çay Kurutma Makinesinin Çalışma Prensibi	50
2.1.1.1.	Helisel Kanatlı Boru ve Özellikleri	53
2.1.1.2.	Su Çeketi Özellikleri.....	55
2.1.1.3.	Tahrik Sistemi	56
2.1.1.4.	Hava Basma ve Emiş Sistemi.....	57
2.1.1.5.	Isıtma Tesisatı ve Sirkülasyon Pompası	60
2.1.2.	Sistemin Teknik Hesapları	61
2.1.2.1.	Yalıtım Kalınlığının Hesabı.....	61
2.1.2.2.	Makineye Yüklenebilecek Çay Miktarı.....	63
2.1.2.3.	Makineye Yüklenen Okside Olmuş Çay Debisinin Hesabı	64
2.1.2.4.	Su Kapasitesi	65
2.1.2.5.	Gereken Isı Miktarı.....	65
2.2.	Deneylerin Yapılışı Hakkında Bilgi	68
3.	BULGULAR	69
3.1.	Ölçülen Değerler	69
3.2.	Belirlenen Değerler.....	71
4.	İRDELEME.....	72
5.	SONUÇLAR	74
6.	ÖNERİLER	75
7.	KAYNAKLAR.....	76
8.	EKLER.....	79

ÖZGEÇMİŞ

ÖZET

Çay, sağlık açısından faydalı bir içecek olup dünyada sudan sonra en çok içilen içecektir. Çayın 4500 yılı aşan tarihi bulunmakta olup bölgemizde ve ülkemizde önemli bir gelir kaynağıdır.

Çay üretim aşamaları beş kısımdan oluşmaktadır. Bunlar sırasıyla soldurma, kıvrırma, oksidasyon, kurutma ve tasniftir. Bu tezde dördüncü üretim kademesi olan kurutma işleminin gerçekleştirilmek üzere geliştirilen helezon çay kurutma makinesinin özellikleri incelenmiştir.

Helezon çay kurutma makinesi, içine dökülen okside olmuş çay yapraklarını helisel kanatlı boru yardımıyla ileri doğru iter. Bu esnada çayın temasta bulunduğu helisel kanatlı boru ve çayın içinde bulunduğu ceket sıcak suyla ısıtıldığından, okside olmuş çay yapraklarının içerisindeki su buharlaştırılır.

Bu çalışmada helezon çay kurutma makinesinin tasarımındaki ayrıntılar anlatılmış, saha çalışması esnasında görülen sorunlar açıklanmış, ideal devir sayısı ve çıkan ürünün rutubet oranı belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Kurutma, Çay, Çay Kurutma, Helezon Çay Kurutma Makinesi,

SUMMARY

Determination of Industrial Characteristics of Helix Tea Drying Machine

Tea is beneficial for human health and it is second consumed beverage after water. Tea's history is up to 4500 years and it is important source of income for our region and country.

Tea is processed via five stages. These are withering, rolling, oxidation, drying and classification respectively. This work is intended to describe the "Helix Tea Drying Machine" which was designed and constructed to be used at the fourth stage of process.

Helix tea drying machine, push the oxidized tea leaves to forward spilled inside with the help of helical wings. Synchronously with progression of the leaves through the body, water is vaporized from the oxidized tea by the contact of heated pipe, helical wings and the body by water.

This work describes the design details of helix tea drying machine and problems that were seen in field work; determined the optimal rotation speed of pipe and humidity ratio of dried tea.

Key Words: Drying, Tea, Tea Drying, Helix Tea Drying Machine

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa No

Şekil 1.	Bazı çay çeşitlerinin üretim yöntemleri	8
Şekil 2.	Beyaz çay	9
Şekil 3.	Özçayın işlenmesine ait akım şeması	11
Şekil 4.	Kıvrıma esaslı yeşil çay üretiminin işlem basamakları	14
Şekil 5.	C.T.C. esaslı yeşil çay üretiminin işlem basamakları.....	15
Şekil 6.	ÇAYKUR yöntemine göre siyah çayın işleme akım şeması.....	18
Şekil 7.	Kurutma prosesinde eş zamanlı ısı ve kütle transferinin şematik gösterimi.....	32
Şekil 8.	Ürün nem içeriğinin kurutma süresiyle değişimi	33
Şekil 9.	Kuruma hızının ürün nem içeriğiyle değişimi.....	34
Şekil 10.	Kuruma hızının kurutma süresi ile değişimi	34
Şekil 11.	Adsorpsiyon ve desorpsiyon izotermi.....	40
Şekil 12.	Isı transferi mekanizmasına göre temel kurutucuların sınıflandırılması.....	42
Şekil 13.	Kurutma fırınının şematik gösterimi	43
Şekil 14.	Lif alıcı makine.....	47
Şekil 15.	Çay içerisinde bulunan, toz, yaprak tüyleri ve küçük liflerin hava akımı ile ayrılmasını sağlayan savurma makinesinin şematik görünümü	48
Şekil 16.	Helezon çay kurutma makinesinin donanımının Çalışma Prensipleri....	51
Şekil 17.	Helezon çay kurutma makinesi kısmi kesiti.....	52
Şekil 18.	Helezon çay kurutma makinesi donanımlarıyla beraber 3 boyutlu resmi.....	52
Şekil 19.	Helezon çay kurutma makinesi	53
Şekil 20.	Helisel kanatlı borunun 3 boyutlu resmi	54
Şekil 21.	Döner başlıklı bağlantı elemanı.....	54
Şekil 22.	Helisel kanatların profili	55
Şekil 23.	Su ceketi kesiti.....	56
Şekil 24.	Redüktör.....	57

Şekil 25.	Isıtıcı serpantine bağlanmış fan ünitesi.....	58
Şekil 26.	Isıtıcı serpantin	58
Şekil 27.	Esnek boruların davlumbazlara bağlanış şekli	59
Şekil 28.	Yönlendirici kanatın 3 boyutlu resmi	59
Şekil 29.	Davlumbaz kapakları 3 boyutlu gösterimi	60
Şekil 30.	Eşanjör ve pompa sistemi	60
Şekil 31.	Yalıtım kalınlığının hesabı için su ceketinin sembolik gösterimi.....	61
Şekil 32.	Yalıtım kalınlığının hesabı için su ceketinin ısı direnç şeklinde gösterimi.....	61
Şekil 33.	Yalıtım kalınlığının ısı dirence etkisi	62
Şekil 34.	Su ceketinin boyutları	64
Şekil 35.	Isı gereksinimi hesabı için kontrol hacmi	66

TABLolar DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 1. Dünyada çay üretiminin 2006-2007 yılına göre değerleri	3
Tablo 2. 2002 yılında ülkelere göre yılda kişi başına tüketilen çay miktarı.....	4
Tablo 3. 1980-90 yılları arasında çay tarım alanları, yaş çay yaprağı alımı ve siyah çay üretimi.....	5
Tablo 4. Siyah çayın işlem adımları, kullanılan makineler ve çay yapraklarında oluşan değişimler	19
Tablo 5. Tablalı kıvrırma makinelerinin boyutları, kapasiteleri ve güç ihtiyaçları	27
Tablo 6. Yalıtım kalınlığı hesabı için gerekli değerler	62
Tablo 7. Helezon çay kurutma makinesi kurutma deneyi şartları -I-	69
Tablo 8. Helezon çay kurutma makinesi kurutma deneyi şartları -II-	70
Tablo 9. Helezon çay kurutma makinesi kurutma deneyi şartları -III-.....	70
Tablo 10. Deneyler sonucunda belirlenen değerler	71

SEMBOL LİSTESİ

c_p :	Özgül Isı, J/kg.K
c_v :	Kontrol hacmi
\dot{c} :	Çıkış
E:	Enerji, J
g:	Giriş
h:	Isı taşınım Katsayısı, W/m ² .K
h_f :	Doymuş sıvının entalpisi, kJ/kg
h_g :	Doymuş gazın entalpisi, kJ/kg
k:	Isı iletim Katsayısı, W/m.K
kç:	Kuru çay
l:	Uzunluk, m
m:	Kütle, kg
n:	Devir Sayısı
p:	Pompa
P:	Güç, Watt
R:	Isıl direnç, m ² .K/W
sb:	Su buharı
t:	Zaman, s
T:	Sıcaklık, °C
TF:	Tiflavin
TR:	Tirubigin
V:	Hacim, m ³
yç:	Yaş çay
ΔT :	Sıcaklık farkı, °C
\dot{m} :	Kütlesel debi, kg/s
ρ :	Yoğunluk, kg/m ³
\dot{Q} :	Hacimsel debi, m ³ /S
\dot{Q} :	Birim zamanda ısı kaybı, J/s

1. GENEL BİLGİLER

1.1. Giriş

Çay (*Camellia sinensis*), çaygiller familyasından nemli iklimlerde yetişen, yaprak ve tomurcukları içecek maddesi üretmekte kullanılan bir tarım bitkisi olarak tanımlanır [1,2].

Yeşil çay yaprağından siyah çay, yeşil çay, beyaz çay ve benzeri birçok çay türü üretilmektedir. Bu çay türlerinin işletme teknolojilerine kısaca değinilecek, belli başlı özellikleri vurgulanacaktır.

Çalışmada incelenecek olan siyah çayın işleme teknolojileri detaylı olarak ele alınıp, kurutma işlemi üzerinde durulacaktır.

Siyah çay imalatı; soldurma, kıvrırma, oksidasyon (fermantasyon), kurutma ve tasnif işlemlerinden oluşmaktadır. Bu çalışmada çay işleme teknolojisinin dördüncü aşaması olan kurutma işlemini gerçekleştiren endüstriyel “Helezon Çay Kurutma Makinesi” tasarımı ve endüstriyel karakteristikleri incelenecektir.

Bu çalışma Sanayi ve Ticaret Bakanlığı AR-GE Genel Müdürlüğü tarafından desteklenen SAN-TEZ 195.STZ.2007-2 numaralı proje kapsamında yapılmıştır.

1.1.1. Çay Hakkına Genel Bilgiler

Çayın anavatanı hakkında hala tartışmalar sürmektedir. Çayın anavatanı olarak Hindistan’ın kuzeydoğusu, Kuzey Burma’nın kuzeyi ve Çin’in güneybatısı arasındaki bölgeden geldiği düşünülmektedir [1,2].

Çayın çok eski bir kültüre sahip olduğu konusunda görüş birliğe bulunmaktadır. Bir söylentiye göre çay, M.Ö. 2737 yılında Büyük Çin İmparatorluğunda tarımın kurucusu olarak bilinen efsane kral Shen Nung çay ağacının yanında bir ilaç için sıcak su kaynatırken etrafında bir kâse sıcak suyun içine bazı çay yaprakları düşer. İmparator suyun renginin değiştiğini görmüş ve karışımın tadına bakmış, içeceğin tadını beğenen imparator yaptığı bazı araştırmalarda çayın iyileştirici etkilerini belirlemiştir. Daha sonra Shen Nung

halkına çayın yararlı bir bitki olduğunu anlatmış ve çay tarımının gelişmesinde çaba harcamıştır [1,2].

Çay zamanla dünyaya Çin'deki uygulamaların etkisiyle yayılmıştır. Kore'de ilk kayıtlı tarihi dokümanlara göre 661 yılında Budist tapınağında bir din ayini esnasında çay kral Suro'nun ruhuna adanmıştır [1,2].

M.S. 805 yılında Japonya'ya, eski kayıtlara göre, ilk çay tohumları Saicho isimli bir Japon rahip tarafından daha sonra 806 yılında Kukai isimli başka bir rahip tarafından getirilmiştir [1,2].

Araplar tarafından çayın tanınması M.S. 850 yıllarında olmuştur. Venedikliler 1559 yılında, İngilizler 1598, Portekizliler ise 1600 yılında çayı ilk kez görmüştür [1,2].

Seylan'da çay tarımı, kahve pas hastalığı (*Hemileia vastatrix*) nedeniyle kahvelerin büyük ölçüde zarar görmeleri sonucu 1870'li yıllarda hızla yayılmıştır. Rusya'ya çay 1847, Uganda ve Kenya'da 1900'lü yıllarda çay tarımına başlanmıştır [1,2].

Çayın sağlığa etkisi 4700 yıldır Çin'deki keşfinden beri inceleniyor. Yapılan araştırmalar sonucu çayın sağlığa yararlı olduğu kanıtlanmıştır. Bundan dolayı çay tüketilmesi önerilmektedir. Fakat çayın yararı olduğu gibi içinde bulundurduğu tanenden dolayı demir ve protein emilimini engellediği araştırmalarla belirlenmiştir. Çayın potansiyel faydalarından birkaçını sıralarsak:

- Yapılan araştırmalar sonucu yeşil çayın birçok kanser türüne karşı koruma sağladığı belirtilmektedir.
- Metabolizmayı hızlandırır.
- Diyabete iyi gelir.
- Zihni güçlendirir.
- Bağışıklık sistemini güçlendirir.
- Bunamayı karşı etkilidir.
- Stresi azaltır.
- AIDS virüsüne karşı etkilidir.
- Nefesi açar.
- Vücuttaki fazla demir birikimini engeller.
- Bazı zehirlere karşı koruma sağlar.
- Felç olma riskini azaltır.

- Kalp ve kan damarları hastalıklarına karşı koruma sağlar [14,15,16,17,18,19,20,21,22,23,24].

1.1.2. Çay Ekonomisi

1.1.2.1. Dünyada Çay Üretimi ve Tüketimi

2007 yılında, dünyada çay üretimi 3.88 milyon ton olarak açıklandı. 2007 yılında en büyük çay üreticisi olan Çin'i Hindistan ve Kenya takip ediyor. FAOSTAT 'a göre dünyada çay üretimi ve tüketimi tablo 1 ve tablo 2'de görülmektedir [46].

Tablo 1. Dünyada Çay Üretiminin 2006-2007 Yılına Göre Değerleri (ton)

<u>Ülke</u>	<u>2006</u>	<u>2007</u>
Çin	1047345	1183502
Hindistan	928000	949220
Kenya	310580	369600
Sri Lanka	310800	305220
Türkiye	201866	206160
Vietnam	151000	164000
Endonezya	146858	150224
Japonya	91800	94100
Arjantin	72129	72000
İran	59180	60000
Bangladeş	58000	58500
Malavi	45009	46000
Uganda	34334	35000
Diğer Ülkeler	189551	193782
<u>Toplam (ton)</u>	3646452	3887308

Tablo 2. 2002 Yılında Ülkeler Göre Yılda Kişi Başına Tüketilen Çay Miktarı

Sıra	Ülke	Çay tüketimi (kg/yıl)
1	İngiltere	2.3
2	Türkiye	2.1
3	İrlanda	1.5
4	Fas	1.4
5	Bangladeş	1.2
6	İran	1.2
7	Mısır	1.1
8	Yeni Zelanda	1
9	Polonya	1
10	Japonya	0.9
11	Hollanda	0.8
12	Avustralya	0.8
13	Hindistan	0.75
14	Pakistan	0.7
15	Almanya	0.7
16	Çin	0.6
17	Norveç	0.4
18	İsviçre	0.4
19	İsveç	0.4
20	Avusturya	0.3
21	Finlandiya	0.3
22	Amerika	0.2
23	Kanada	0.2
24	Fransa	0.2
25	Danimarka	0.2
26	Belçika	0.1
27	İtalya	0.1
28	Etiyopya	0.09

1.1.2.2. Türkiye’de Çay Üretimi ve Tüketimi

Çay bitkisinin genelde yarı tropik bir bitki olduğu söylenebilir. Buna rağmen çay bitkisinin Türkiye’de, Bağımsız Devletler Topluluğu’nda ve İran’da başarılı bir şekilde yetiştiriliyor.

Türkiye’de çay bitkisi doğu Karadeniz Bölgesinde, Gürcistan sınırından başlayan ve batıda Fatsa’ya değin uzanan alan içerisinde ekonomik şekilde üretilebilmektedir. Sahilden yer yer 30 km içerilere giren ve ortalama 7-8 km derin olan Araklı-Karadere sınırına kadar uzanan bölge, çay yetiştiriciliği için en elverişli bölge olması nedeniyle, birinci sınıf çay bölgesi olarak kabul edilmektedir. Anılan bölge içerisinde çaycılık sahilden 400-500 m bazen de 1000 m yüksekliğe kadar yetiştirilmektedir [1].

Araklı Karadere’den başlayarak Fatsa ilçesine kadar uzanan bölge ise çay yetiştiriciliği yönünden daha az ekonomik olmaktadır. Bu bölge ikinci sınıf çay bölgesi olarak tanımlanmaktadır. Nüfus artışına bağlı olarak ülkemizde kişi başına düşen çay tüketiminin giderek artması çay üretimini artışa zorlamaktadır. Üretimde artışın sağlanması için bir önemli yol da çay tarım alanlarının genişletilmesidir. Türkiye’de yaş çay ve siyah çay üretim miktarları Tablo 3’de verilmiştir [1].

Tablo 3. 1980-90 yılları arasında çay tarım alanları, yaş çay yaprağı alımı ve siyah çay üretimi (Çay randımanı= (Siyah çay (kg)/ Yeşil çay (kg))x 100)

Yıllar	Çay Tarım Alanları (x1000 da)	Yaş Çay Alımı (x1000 ton)	Siyah Çay Üretimi (x1000 ton)	Çay Randımanı (%)
1983	646.0	436.0	100.8	23.1
1984	654.1	569.1	132.5	23.3
1985	669.4	602.5	132.9	22.1
1986	834.7	669.8	139.9	20.1
1987	806.9	566.6	119.7	21.1
1988	862.9	581.0	121.5	20.9
1989	895.2	520.5	108.2	20.8
1990	905.8	472.2	95.7	20.3

Çay bitkisi yetiştirilen illerimiz içerisinde 1980-90 yılları arası ortalamalara göre yeşil çay yaprağı yönünden %75.3 ile Rize başta gelmektedir. Rize'den sonra sırasıyla Trabzon, Artvin, Giresun ve Ordu'dur [2].

Birim alanda düşen yeşil çay yaprağı veriminin en yüksek olduğu ile Rize, en düşük olduğu il de Artvin'dir. Yeşil çay yaprakları 1939 yılına kadar el ile işlenerek siyah çaya dönüştürülmüştür. Çay tarım alanları 1939 yılında 1547 dekara ulaşınca yeşil çay yaprağı ürün miktarı, el ile işlenmeye olanak vermeyecek düzeye ulaşmıştır. Bu nedenle ilk çay işleme atölyesi Rize Merkez Fidanlığı'nda devreye sokulmuştur. 1941 yılında Gündoğdu ve Uzunkaya'da, 1942 yılında da Çayeli'nde çay işleme atölyeleri kurulmuştur. Artan çay yaprağı ürün miktarı mevcut atölyelerde işlenemeyecek düzeye ulaştığı için ilk modern çay fabrikası Rize- Fener'de 1947 yılında kurulmuştur. Günümüzde Çay İşletmeleri Genel Müdürlüğü'ne bağlı 45 fabrikada siyah çay üretimi yapılmaktadır. Sözü edilen fabrikaların 32'sinde Ortodoks, 12'sinde Çay-Kur, 1 tanesinde Rotorvan yöntemine göre siyah çay üretimi yapılmaktadır. Siyah çayın daha nitelikli üretilmesi Çay-Kur yöntemiyle sağlanmıştır. Çay-Kur tarafından 1971 yılından 1981 yılına kadar her yıl satın alınan yeşil çay yaprağının önemli bir kısmı, mevcut fabrikalarının işleme kapasitelerinin yetersizliği nedeniyle imha edilmiştir. Bu da ülke ekonomisi için büyük bir kayıp olmuştur. Çay işleme sektörüne, özel sektörün girmesiyle bu alandaki işleme kapasitesi artarak ülke ekonomisine önemli bir kazanç sağlamıştır [2].

1.1.3. Çayın İşlenişi ve Sınıflandırılması

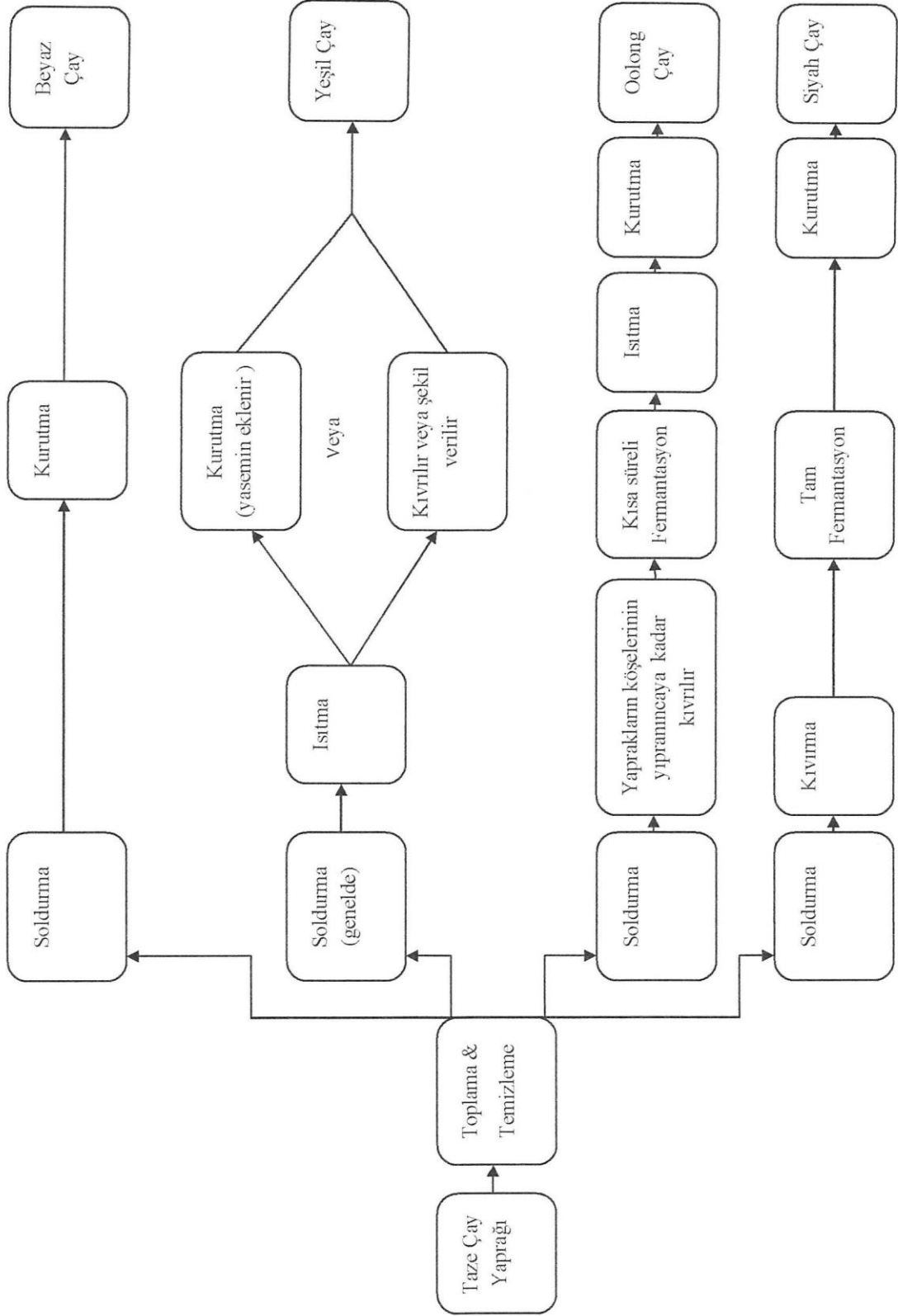
Çay uygulanan işleme yöntemlerine göre sınıflandırılır. Eğer *Camellia Sinensis* yaprakları çabuk kurutulmaz ise kısa zamanda solar ve okside olur. Çay yaprağı sırayla önce içindeki klorofilden dolayı kararır ve tanik asit açığa çıkar. Bu işleme enzimatik oksidasyon diğer ismiyle çay endüstrisindeki yaygın söylemiyle fermantasyon denir. Aslında oluşan fermantasyon gerçek anlamda fermantasyon değildir. Çünkü fermantasyona mikroorganizmalar sebep olmamaktadır. İşleme sürecinin sonraki aşamasında önceden belirlenmiş bir sıcaklıkta oksidasyon durdurulmaktadır. Siyah çayın kurutulması esnasında oksidasyon devam etmektedir [1,2,7].

Üretim aşamasında eğer nem ve sıcaklık değerlerine dikkat edilmezse çayda mantar oluşumu artacaktır. Bu mantarlar gerçek fermantasyonu sağlayarak çayda toksin ve

kanserojen maddeler oluşmasına sebep olur. Çay türlerini belirleyen en büyük kıstas fermantasyondur. Dünyada bilinen belli başlı çay cinsleri olarak;

- Beyaz Çay (White Tea)
- Sarı Çay (Yellow Tea)
- Yeşil Çay (Green Tea)
- Oolong Çay (Oolong Tea)
- Siyah Çay
- Özçay
- Daldırma Çay
- Lapsang Soochong Çayı

sayılabilir. Kısaca bazı çayların üretim yöntemlerini şekil 1 de gösterilmektedir [1,2,7].



Şekil 1. Bazı çay çeşitlerinin üretim yöntemleri

1.1.3.1. Beyaz ay (White Tea)

ay, yüzyıllardır ilaç olarak kullanılmıştır. Günümüzde modern bilim, Çin'de insanların yaşam biçimlerini ve yüzyıllardır ayı ilaç olarak kullanmaları ile uzun ömürlü oluşları arasındaki bağlantıyı incelemektedir. Yeşil ve siyah çay insan sağlığı açısından çok yararlı olmakla birlikte, beyaz çay en az üretilen ve en yüksek düzeyde antioksidan içeren çay çeşidi olarak bilinmektedir. Beyaz ay, dünyanın en nadide ve en pahalı ayıdır. Dünyada yılda ortalama 600 ila 800 ton arası beyaz çay üretilmektedir. Beyaz ay üreten ülkeler sırasıyla Çin, Hindistan, Kenya, Sri Lanka ve Vietnam'dır [5].



şekil 2. Beyaz ay

Beyaz ayın üretimi, büyük dikkat ve çaba gerektirir. ay bitkisinin özel varyeteleri (yaprak ve tomurcukları) seçilir ve hasat olgunluğuna gelinceye kadar birkaç yıl bakılır. En iyi beyaz çay, erken ilkbaharda üretilir. Doğru zaman geldiğinde, gümüş rengi tomurcuklar ve seçkin yapraklar elle ve dikkatle toplanır. Yağmurlu günlerde veya ayazda toplama yapılmaz. Beyaz ay üretimine uygun hammadde, yıl içerisinde yalnızca çok kısa bir dönemde toplanabilir olduğundan çok nadidedir. Tomurcuklar ve yapraklar, daha önceki yıllarda önce şoklanıp, sonra kurutulurdu. Ancak son yıllarda yalnızca soldurma ve kurutma işlemi uygulanmaktadır. Siyah, oolong ve yeşil çaydan farklı olarak kıvrırma

işlemine tabi tutulmamıştır. Ayrıca işlenmesi esnasında oolong ve siyah çay gibi özellikle teşvik edilen bir oksidasyon safhası yoktur. Çok düşük düzeyde seyreden oksidasyonun sebebi ise bahçede toplama esnasında koparılan kısmın hava ile temas etmesidir [5].

1.1.3.2. Sarı Çay (Yellow Tea)

Sarı çay üretimi yeşil çaya benzer olarak gerçekleştirilir. Yeşil çay üretim işlemlerinden farkı ise nemli çay yaprakları sararıncaya kadar bekletilip kurutma safhası daha yavaş sonlandırılır. Sarı çay görünüm olarak sarı ile yeşil renk arası olmakla beraber, kokusu beyaz ve yeşil çay arasında bulunur.

1.1.3.3. Oolong Çay (Oolong Tea)

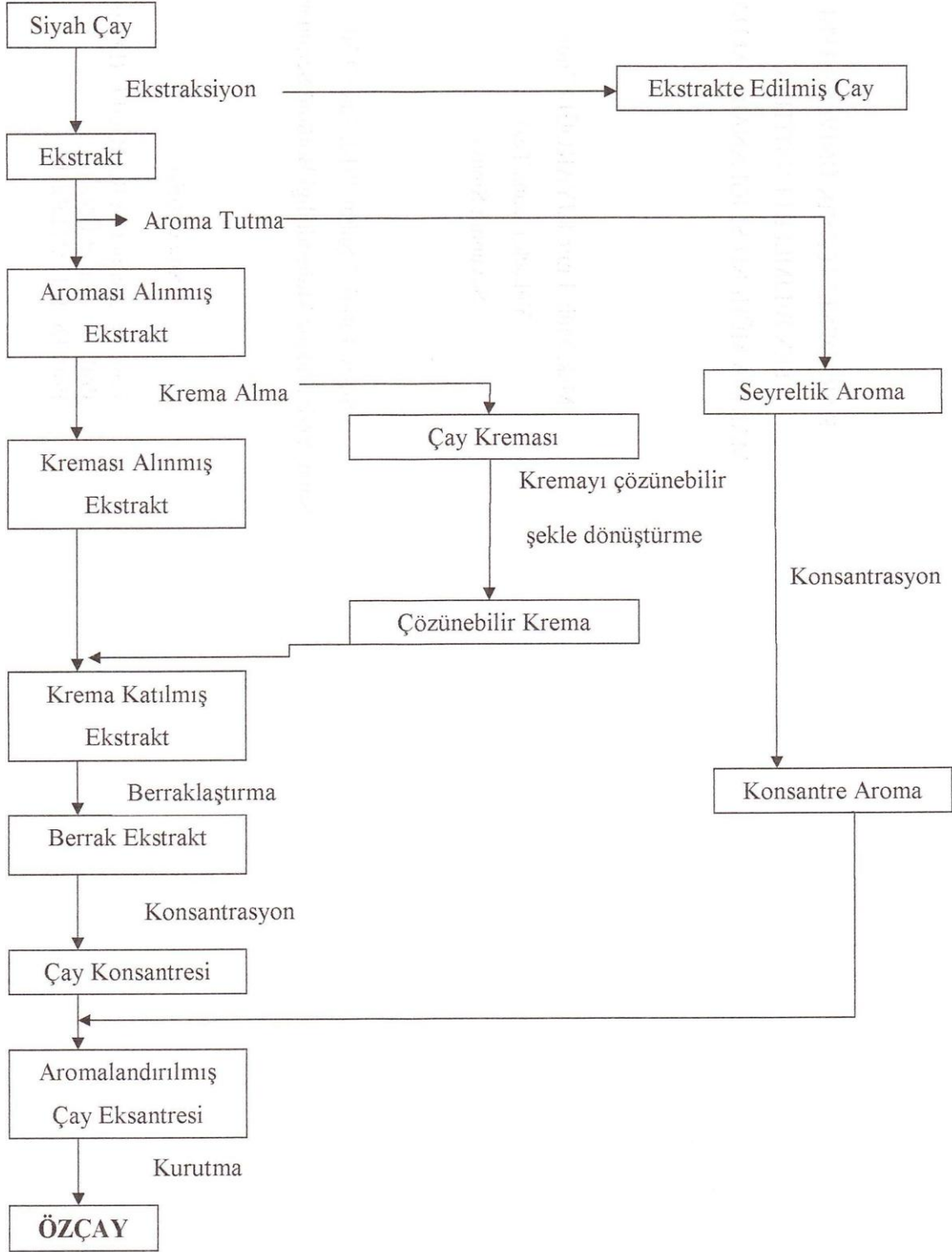
Oolong çay, Çin’de ve Taiwan’da işlenir. Dünya ticaretindeki önemi az olup, ihmal edilebilecek miktarlardadır. Bu çay türü az fermantasyona tabi tutularak işlenir. Hoş bir kokuya sahiptir. İçim özellikleri siyah çay ile yeşil çay arasındadır. Oolong çayının işlenmesine az soldurulmuş çay yapraklarının hafif şekilde kıvrılması ve kısmen fermantasyona tabi tutulması ile başlanır. Sıcaklık uygulanarak enzim aktivitesine son verilir. Çayda daha iyi bir görünüm sağlamak için kuvvetli bir kıvrımadan ve sıcaklık uygulanmasından sonra son kurutma ile işlem biter [1,2].

1.1.3.4. Özçay

Çözünebilir çay da denilen bu çayın ticari düzeyde üretimi son 55 yılda olmuştur. Bu çay en çok Japonya’da ve Amerika’da tüketilmektedir [2].

Özçayın işlenmesinde temel işlem, siyah ya da yeşil çaydan elde edilen karışımın konsantre hale getirilip kurutulması ve toz haline dönüştürülmesidir. Bazı çay üreten ülkelerden özçayın işlenmesinde fermantasyonu tamamlanmış ve fırında kurutulmamış çay yaprakları kullanılmaktadır. Özçayın işlenmesi Şekil 3’te gösterilmiştir [2].

Çayın kendisine özgü tat ve aromasının özçaya geçirilip korunması, bunları oluşturan bileşiklerin kolay uçması ve parçalanması nedeniyle çok güçtür ve özel işlemleri gerektirir [2].



Şekil 3. Özçayın işlenmesine ait akım şeması

1.1.3.5. Daldırma Çay

Çayın derecelendirilmesi sonucu elde olunan toz çayın değerlendirilmesi amacıyla daldırma çay geliştirilmiştir. Bu çay daha çok Amerika, Avrupa ülkeleri ve Japonya'da rağbet görmüştür. Bunun nedeni kullanımının kolay ve pratik olmasıdır. Kâğıt bir zarf içerisinde bulunan ve çay içeren süzgeç kâğıt torba sıcak suya daldırıldığında 1-2 dakika içinde çayın demi sıcak suya geçip, çay içime hazır hale gelmektedir. Ülkemizde daldırma çay üretimi yılda 50 ton civarındadır. Çay-Kur tarafından üretilen daldırma çay torbalarına %20 oranında iyi nitelikli çay, %80 oranında ise toz çay karıştırılıp harmanlanmaktadır. Her kâğıt torba içine 2.25 gr çay konulmaktadır. Bu aşamalar otomatik olarak, el değmeden yapılmaktadır [1,2].

1.1.3.6. Lapsang Soochong Çayı

Çin'de üretilen bir çay tipidir. Siyah çaydan farkı, soldurma işleminin katranlanmış tenteler üzerinde yapılmasıdır. Bu işlem çaya özel bir tat vermektedir [1,2].

1.1.3.7. Yeşil Çay (Green Tea)

Yeşil çay, *Camellia sinensis* çay bitkisinin tepe tomurcuğu ve onu takip eden iki yaprak esasına göre hasat edilmiş taze sürgünlerinden üretilen okside olmamış bir çay çeşididir. Dünya da ilk kez Çin'de üretilen, M.S. 800'lü yıllarda Çin'den Japonya'ya getirilen bu ürünün, o yıllarda da güçlü bir ilaç ve sağlıklı bir içecek olarak tüketildiği bilinmektedir. Daha sonraki yıllarda yapılan bilimsel çalışmalar, yeşil çayın insan sağlığı açısından mucizevi bir içecek olduğunu göstermiştir [6].

Dünyada yeşil çay üretimi ve ihracatı özellikle Çin, Japonya, Endonezya, Vietnam, Hindistan tarafından yapılmaktadır. En fazla üretim Çin tarafından yapılmakta olup 2005 yılında üretimleri 691.000 tondur. Bunu 100.000 tonla Japonya izlemektedir. Vietnam ve Endonezya diğer önemli üretici ülkelerdir. Dünyada toplam yeşil çay üretimi 2005 rakamlarına göre 884.000 tondur. Yeşil çay ihracatında da benzer biçimde Çin 226.000 ton ile dünyada lider konumdadır. Bunu sırasıyla Vietnam ve Endonezya izlemektedir. Çaykur

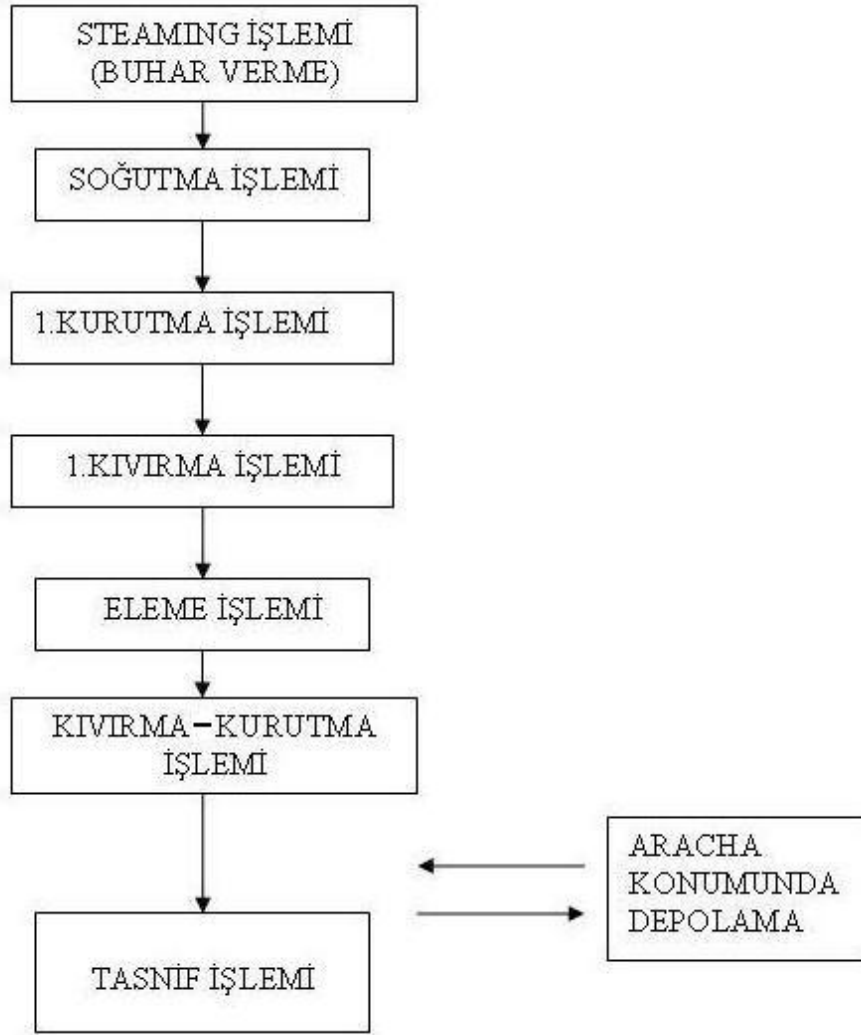
günlük olarak 6.600 ton çay işleme kapasitesine sahip olup, yeşil çay üretimi bunun çok küçük bir bölümünü oluşturmaktadır [6].

Sağlığa yararları ile ilgili bilimsel çalışmaların kamuoyuyla paylaşılmaya başlanması ile dünyada tüketimi hızla artmakta olan yeşil çay, ülkemizde de henüz yeni tanınmaya başlanmıştır. Türkiye çaycılığına katkıda bulunmak ve Türk insanını yeşil çayla tanıştırmak amacıyla Çay İşletmeleri Genel Müdürlüğü' ne bağlı Atatürk Çay ve Bahçe Kùltürleri Araştırma Enstitüsü bünyesinde Türk Yeşil Çayı Deneme Üretimi adlı proje yürütülmüştür. Taşlıdere Çay Fabrikasında kurulan pilot ünite 2003 yılında deneme üretimleri yapılmıştır. Halen Taşlıdere Çay Fabrikası'nda 20 ton/gün çay işleme kapasitesine sahip bir ünite üretimine devam etmektedir [6].

Dünyada temel olarak iki yeşil çay üretim metodu mevcuttur. Bunlardan biri Japon usulü yeşil çay işleme metodu, diğeri ise Çin usulü yeşil çay işleme metodudur. Bu iki metod arasındaki temel fark; enzim inaktivasyonunda, Japon usulünde **Steaming** işlemi uygulanırken, Çin usulünde **Pan-Firing** işleminin uygulanmasıdır. Pan - Fired çayların aroması, steaming çaylardan daha yoğun ve kavrulmuş bir aromadır [6].

1.1.3.7.1. Yeşil Çayı İşleme Teknolojisi

Çay İşletmeleri Genel Müdürlüğü'nün tamamen kendi olanakları ile projelendirilen ve uygulamaya konan *Türk Yeşil Çayı İşleme Teknolojisinde* temel olarak iki imalat yöntemi belirlenmiştir. Bunlardan birincisi kıvrıma esaslı imalat, ikincisi C.T.C. esaslı imalat'tır. Hammaddenin çok taze olduğu dönemlerde kıvrıma esaslı imalat, diğeri dönemlerde ve ağırlıklı demlik veya fincan poşet üretimi yapılacağı dönemlerde C.T.C. esaslı imalat tercih edilmelidir [6].



Şekil 4. Kıvrırma esaslı yeşil çay üretiminin işlem basamakları

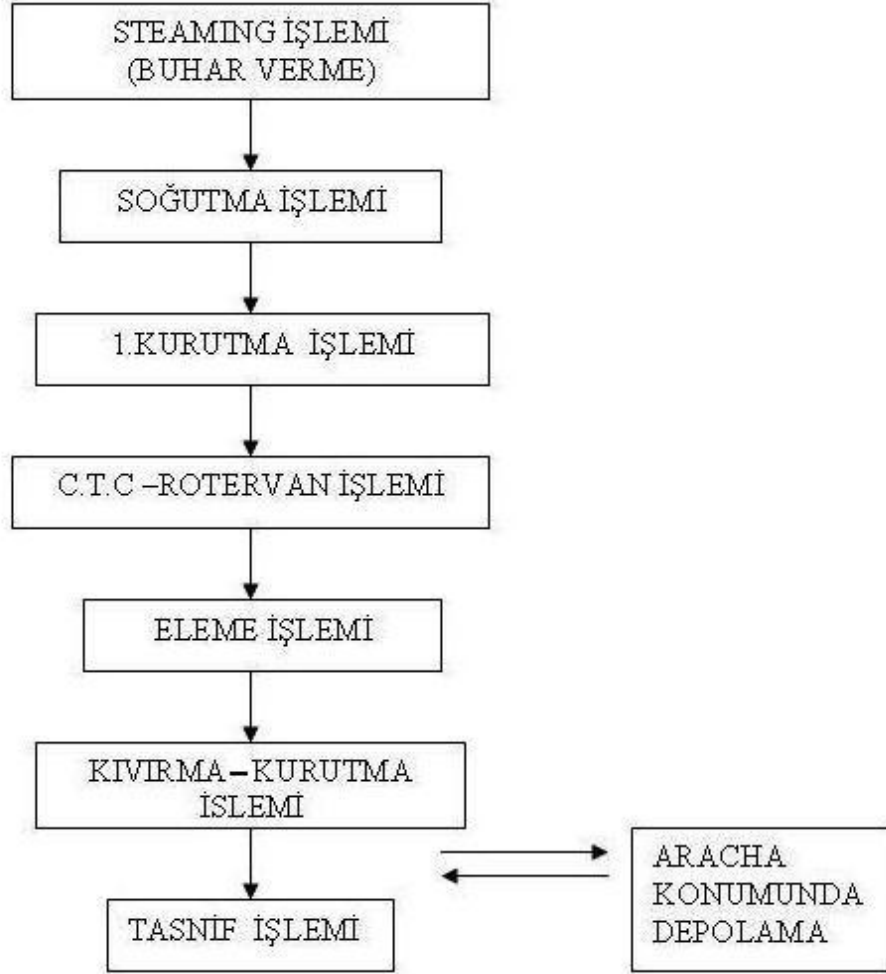
Steaming (Buhar Verme) İşlemi: Bu işlem, sıcak buhar kullanılarak 100-110 °C'de 1-3 dakika arasında yapılır. Bu işlemin amacı polifenoloksidaz enzimi başta olmak üzere tüm oksidasyon enzimlerinin inaktive edilmesidir.

Soğutma İşlemi: Bu işlem, şoklanmış yaprakların soğutulması ve yüzeylerindeki suyun kısmen buharlaştırılması amacıyla yapılır. Şoklanmış yapraklar, 20-25 °C'nin altına hızlı bir şekilde soğutulur[6].

1. Kurutma İşlemi: 60-70°C sıcaklıkta 15-20 dakika süre ile kısmi bir kurutma işlemi uygulanarak yaprak özsuyunun kıvrırmada akıp gitmesi önlenir ve sakızsız maddelerin yaprak yüzeyindeki oranı arttığında kıvrırma işlemine daha müsait hale gelir.

1. Kıvrırma İşlemi: Şoklanmış, soğutulmuş ve içerdiği su oranı düşürülmüş çay yapraklarına kıvrırma kazandırmak amacıyla yapılır. İlk şekillendirme burada gerçekleşir. Uygulama süresi 45 - 50 dakikadır.

Eleme İşlemi: Bu işlem, oluşan topakların parçalanması ve çayın havalanması amacıyla yapılır [6].



Şekil 5. C.T.C. esaslı yeşil çay üretiminin işlem basamakları

Kıvrırma ve Kurutma İşlemi: Son kurutma işlemidir. 100 - 120 °C sıcaklıkta nihai şekillendirme ve kurutma işlemi gerçekleştirilir. Kullanılan kurutucular, döner kurutuculardır. Kurutma süresi 60 - 90 dakikadır. Buradan alınan çaya **Aracha** denir. Aracha, tasnif edileceği zamana kadar ışığa maruz kalmayacak ve rutubet almayacak şekilde paketlenip serin bir yerde depolanır. Bu imalat yönteminde amaç, **granül çay** yapmaktır [6].

Bu üretim yönteminde de steaming işlemini takiben yapraklar hızlı bir şekilde soğutulurak hem 20-25 °C'nin altına düşürülür, hem de yaprak yüzeyindeki fazla su buharlaştırılır. Daha sonra hızlı bir şekilde kurutma fırınından geçirilerek rutubeti ayarlanan yapraklar C.T.C. - Rotervan ikilisinden geçirilir [6].

C.T.C.-Rotervan İşlemi: Demlik veya fincan poşet üretimine yönelik üretim yapılmak istendiğinde yaygın olarak kullanılır. Mamül çayın tanecik büyüklüğü homojen ve küçüktür. Önce rotervan, sonra C.T.C.'den geçirilen çaylar, topak parçalayıcı vasıtasıyla kıvrırma ve kurutma işlemi için döner kurutuculara gönderilir. Kurutucudan çıkan çaylar, tasnife tabi tutulur [6].

Tasnif İşlemi: Aracha durumunda depolanarak saklanan çaylar, imalatın kesildiği ara dönemlerde tasnife tabi tutulmak üzere önce döner kurutucularda 30 -35 dakika süreyle ve 80 - 90 °C sıcaklıkta ısıtılır [6].

Lif tutucudan geçirilen çaylar, (7 - 6), (6 - 5) ve (5 - 4) nolu midilton eleklerinden geçirilerek, 7 nolu eleğin üzerinde kalan çaylar cutter (kesici) yardımı ile kesilip tekrar elenir. Midilton eleklerinde elenen çaylar, winnower'den geçirilerek özgül ağırlıklarına göre tasnif edilir. Burada granül çaylar winnowerin ilk iki gözünden akar. Diğer çaylar pakka eleğinden elenerek tasnifleri tamamlanıp torbalanır [6].

1.1.3.8. Siyah Çay

Siyah çay; oolong, yeşil ve beyaz çayın daha fazla oksidasyon geçirmiş türüdür. Bu dört çayda *Camellia Sinensis* yapraklarından üretilmektedir. Siyah çay daha keskin tadı olmakla beraber diğer az oksidasyon geçirmiş çay çeşitlerine göre daha fazla kafein içermektedir [1,2].

Çincede siyah çay suya verdiği renkten dolayı koyu kırmızı çay (crimson tea) olarak adlandırılır. Siyah çay denmesinin sebebi oksidasyon bittikten sonra yaprakların aldığı siyah renkten dolayıdır. Çincede siyah çay uzun zaman fermente edilmiş çaylara (post-fermented tea) denmektedir [1,2].

1.2. Siyah Çayın İşlenmesi

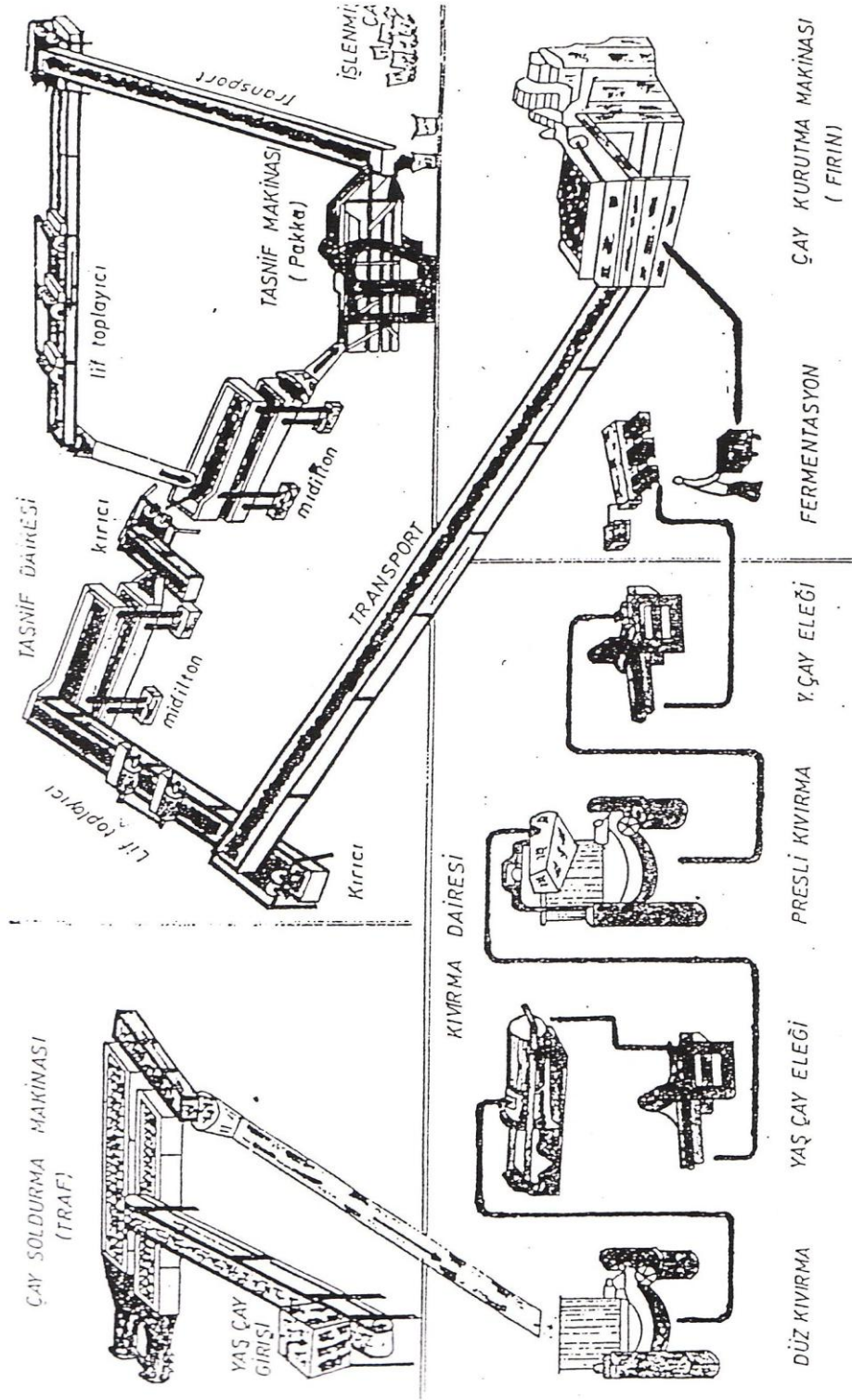
1.2.1. Modern Yöntemlere göre Siyah Çayın İşlenmesi

1.2.1.1. Çay-Kur Yöntemi

Uzun yılların gözlem, deneyim ve bilgi birikiminden yararlanan Çay Kur, Ortodoks yöntemini geliştirmiş, değiştirmiş ve eldeki materyale uygun hale dönüştürmüştür. Çay fabrikalarındaki makineler değiştirilmiştir. Sonuç olarak siyah çayın işlenmesinde bir Çay-Kur yöntemi oluşturmuştur. Tablo 4'de bu yöntemle siyah çay işlenmesine ait akım şeması görülmektedir [1,2].

Çay-Kur siyah çay işleme sistemi, genellikle 5 ya da 6 kıvrırma makinesi, 1 rotorvan, 2 tane ikili çay eleği, 2 tane presli-göbekli kıvrırma makinesi ile 1-2 tane ikili yaş çay eleğinden oluşur. Çay fabrikasına gelen yeşil çay yaprağı bekletilmeden taşıyıcı bantlarla soldurma odasına taşınır. Çay yaprakları soldurma teknelerine aynı kalınlıkta bastırılmadan serilir. Soldurmanın homojen olabilmesi için ilk üç saatte bir karıştırma yapılır. Soldurma teknelerine sıcaklığı 32°C'yi aşmayan hava üflenir. Bu işlem 6 saatte tamamlanır. Soldurma teknelerine çay yapraklarının giriş sırası, çıkışta da aynıdır. Solmuş çay yaprakları yoğun halde iken zaman kaybedilmeden kıvrırma makinesine aktarılır [1,2].

Birinci kıvrırma (düz kıvrırma) 40-45 dakika sürer. Daha sonra çay yaprakları rotorvanda parçalanıp ezilir. Rotorvandan çıkan yapraklar taşıyıcı bantlarla ikili yaş çay kalbur eleklerine gönderilir. Buradan çıkan ince çay yaprakları (elek altı) doğrudan fermantasyona tabi tutulurlar. Elek üstü kaba çaylar ise tablalı ve presli kıvrırma makinelerinde ikinci kıvrırmaya tabi tutulurlar. Aynı işlemler tekrarlanır. Fermantasyon arabalarına yükleme homojen olmalıdır. Fermantasyonu tamamlanmış çay yaprakları zaman geçirilmeden kurutma fırınında kurutulur. Kurutma fırınının giriş sıcaklığı 95-100°C ve çıkış sıcaklığının 50-55 °C olması istenir. Fırının besleme bandına verilen çay yaprağının döner kanatlı yayıcı ile banda eşit kalınlıkta yayılmasına, arada boşluk kalmamasına ve yığılma olmamasına dikkat edilir, ince ve kalın çay yaprakları ayrı ayrı kurutulur. Fırından çıkan çayın nem kapsamı %3-4 civarındadır [1,2].



Şekil 6. Çay-kur yöntemine göre siyah çayın işleme akım şeması

Tablo 4. Siyah Çayın İşlem Adımları, Kullanılan Makineler ve Çay Yapraklarında Oluşan Değişimler

İşlem Adımı	Başlıca Amaçları	Metot	Kullanılan Makineler ve Teçhizatlar	Çayda Oluşan Değişimler
Soldurma	Yaklaşık %75 nem içeren filizlerde kısmi kurutma yaparak kıvırmaya hazırlama; kimyasal değişimler	Tabii olarak veya kontrollü şartlarda hava ile temas etme,	Çatı arası, silindir, tünel, traf, soldurma; sürekli soldurma makinesi	Nem oranı yaklaşık %55'e düşer; kafein, çözünebilir amino asit oranı artar; yaprak enzimlerinin etkisi değişir
Kıvırma	Mekanik olarak ezme, yırtma, kesme, parçalanma ve bükme	Mekanik olarak ezme, yırtma, kesme, parçalama ve bükme	Ortodoks, C.T.C., Rotorvan, Triturator makineleri, sürekli Kıvrırcılar	Yapraklar kesilmiş ve bükülmüştür; hücre özsuyu dışarı çıkmıştır, oksidasyon başlar.
Oksidasyon	Enzimlerin oksidasyonu ile yapraklarda kimyasal değişimler meydana getirme	Sıcaklığı kontrollü (30°C) hava akımına maruz bırakma,	Zeminde, tablada, teknede, silindirde oksidasyon; sürekli okside ediciler	Yeşilden bakır rengine renk değişimi olur; yapraklar oksitlenir ve renkleri koyulaşır.
Kurutma	Fermentasyonu durdurma; ürün kalitesini muhafaza için içindeki nemi düşürme	Zıt akımlı bir kurutucu içinde sıcak hava akımına maruz bırakma	Geleneksel çay kurutucusu, Tocklai sürekli kurutucusu; akışkan yatak kurutucusu	Nem %4'e kadar düşer. Ürün karakteristik renk ve görünüme sahip olur.

1.2.1.2. Kesme Çay Yöntemi

Çay yapraklarının doğal ve yapay yollarla soldurulmasında yetersiz kalınması ve işlem güçlüklerinin ortaya çıkması nedeniyle bu yöneme vurulmuştur [1,2].

Bu yöntemde soldurulmamış yeşil çay yaprakları tütün kesme makinesine benzer makinelerde kesildikten sonra hafif bir kıvrıma ile fermentasyon ve kıvrıma işlemlerine tabi tutularak çay işlenmektedir. Bazı ülkelerde kesme çay yöntemi rotorvan ile kombine edilerek uygulanmaktadır [1,2].

Kesme çay yöntemine göre işlenen çayın şekli kıvrımlı olmayıp kırıktır. Diğer işlemlere tabi tutulmuş çaylara oranla aminoasit kapsamları düşüktür. Ancak genç ve körpe çay yapraklarına saklı özelliklerin ortaya çıkmaması yüzünden tadı hamdır. Kısa sürede tüketilmelidir. Bu olgu çayların soldurulmamış olmasına dayandırılır. Fabrikaya getirilen yeşil çay yaprakları eleklerde taş, toprak ve benzeri maddelerden temizlendikten sonra kesme makinelerinde ince şeritler halinde kesilir. Kesme makinesinin bıçakları çay icrasının kalınlığına göre ayarlanabilir. Çay yapraklarındaki hücrelerin daha iyi parçalanması ve daha çok hücre suyunun dışarı çıkarılabilmesi için birbirine dik yerleştirilmiş iki kesme makinesi ile yapraklar hem boyuna hem de enine ince şeritler halinde kesilir. Kesilen yapraklar hafif bir kıvrımadan sonra topakların parçalanması ve yaprak parçacıklarının havalandırılması için makinede savrulur. Kesme işlemi ile başlayan fermentasyon, kıvrıma işlemi anında da sürer. Kıvrımadan sonra yaprak topaklarının dağıtılması ve parçacıkların arasına havanın girmesinin sağlanması, fermentasyonun iyi gerçekleştirilmesini sağlamak için yapılır. Fermentasyondan sonra kurutmaya tabi tutulur, derecelendirme ve paketleme işlemi yapılır [1,2].

1.2.1.3 C.T.C. Yöntemi

C.T.C. parçalama, yırtma ve bükme anlamındaki Crushing, Tearing, Curling sözcüklerinin baş harfleridir. Bu yöntem gittikçe yaygınlaşmaktadır.

C.T.C. makinesi temelde iki işleyici yatay parçadan oluşmuştur. Birbiri aksi yönde dönen bu iki parçanın üzerinde yivsetler açılmıştır. Dakikadaki devir sayılan birbirinden farklı olan parçaların arasından soldurulmuş çay yaprakları geçerken parçalanır, yırtılır ve bükülür. Bir bant sistemi ile parçaların (vals) arasına sürekli olarak çay yaprakları verilir [1,2].

C.T.C. yönteminin başarılı olması, çay yapraklarının standartlarına uygun şekilde toplanmış bulunmasına bağlıdır. Çay yaprağı genç ve körpe olmalı, sürgünler en fazla üçüncü yaprağı içermelidir. Dört beş ve daha yaşlı yaprakları içeren sürgünlerin çayın işlenmesinde kullanılması, süresinden önce valslerin körleşerek iş yapamaz hale gelmelerine, çay içerisinde çöp ve lif oranının artarak randımanın düşmesine, maliyetin artmasına ve çayın piyasada tutulmayan kahve renkli çay olmasına neden olur [1,2].

Bu yöntem sürekli dir. Fermantasyon süresinin kısa olması ve otomasyona geçilmiş bulunulması nedeniyle zamandan ve işçilikten tasarruf sağlanmıştır.

C.T.C. makinelere, ortodoks kıvrırma, rotorvan ya da kendi aralarındaki kombinasyonlarla siyah çayın işlenmesinde kullanılmaktadır. Ortodoks kıvrırma / C.T.C. kombinasyonuna göre çayın işlenmesinde, hafif soldurulmuş çay yaprakları hafif basınç uygulanarak kıvrırmaya tabi tutulduktan sonra yaş kalbur eleğinden geçirilmektedir. Elekten geçen küçük çay yaprağı parçacıkları normal fermantasyon işlemine tabi tutulurken, eleğin üstünde kalan kaba yapraklar bir ya da arka arkaya iki-üç C.T.C. makinesinden sonra fermantasyon işlemi uygulanır. Ortodoks / C.T.C. kombinasyonu ile işlenen çayın parçacıkları kıvrımlı ve göreceli olarak daha büyüktür [1,2].

Rotorvan / C.T.C. kombinasyonuna göre çayın işlenmesinde soldurulmuş çay yaprakları rotorvandan sonra C.T.C makinelereinden geçirilmektedir [1,2].

C.T.C./C.T.C. kombinasyonuna göre çayın işlenmesinde ise soldurulmuş çay yaprakları arka arkaya yerleştirilmiş iki ya da üç C.T.C. makinesinde parçalanıp yırtılmakta ve bükülmektedir [1,2].

Yukarıda anlatılan her üç C.T.C. kombinasyonunda da fermantasyon ve kurutmanın normal şekilde gerçekleştirilmesinden sonra siyah çay benimsenen ilkelere uygun olarak derecelendirilip paketlenmektedir [1,2].

1.2.1.4. Rotorvan Yöntemi

Kart, kaba, iri ve uygun şekilde toplanmamış çay yapraklarının işlenmesinde kullanılır.

Rotorvanın işleyicisi silindir gövde içindeki helezon şafttır. Ayrıca silindirin içinde başka bir silindire sabitleştirilmiş, şaftla karşıt olacak şekilde parmaklar bulunmaktadır. Verilen çay yaprakları dövme hareketi sonucu karşıt parmaklarla sıkıştırılıp ezilir ve parçalanır. Çıkıştaki kapak ayarlanarak çay yaprağının ezilip parçalanması artırılır.

Rotorvan makinesinin randımanının yüksek olması;

- Silindir içinde dönen shaftın hızına,
- Parmaklar ile çıkış ağzındaki açıklığın büyüklüğüne,
- Parmaklar sayısına, şekline ve pozisyonuna,
- Çıkış basıncının ayarlanma şekline ve tipine,
- Beslenme oranına,
- Makinenin büyüklüğüne bağlıdır [1,2].

Çay yapraklarının 1-2 dakika içinde Rotorvandan geçmesi en büyük avantajdır. Yaprakların ezilip sıkıştırılması sonucu hücrelerden dışarı çıkan özsu kaybolmaz ve yaprak parçacıklarına bulaşır. Rotorvan yöntemine göre işlenen çayların demleri renkli, parlak ve keskin olmasına karşın burukluk ve aroma yönünden ortodoks yöntemine göre işlenen çaylardan çok daha zayıftır. Anılan özellikler ortodoks yöntemi ile Rotorvanın kombine edilmesi sonucu az da olsa kazanılmaktadır [1,2].

Rotorvan makineleri, ortodoks kıvrırma, C.T.C. kesme makinesi ile ya da kendi aralarındaki kombinasyonlarla siyah çayın işlenilmesinde kullanılmaktadır.

Ortodoks kıvrırma / Rotorvan kombinasyonunda soldurulmuş çay yaprağının niteliğine bağlı olarak bir, iki ya da üç kıvrımdan sonra elek üstünde kalan bölüm Rotorvandan geçirilmektedir [1,2].

Çay-Kur yöntemi ile Rotorvan kombine edilerek ortodoks yöntemi değiştirilip geliştirilmiştir.

Rotorvan / C.T.C. kombinasyonunda Rotorvandan geçirilen soldurulmuş çay yaprakları 60-75 cm genişliğindeki mini C.T.C. makinelerinden geçirilerek işlenmektedir. Bu sistemde kritik nokta çay yaprağı ile beslemenin yeterli düzeyde ve sürekli bir şekilde sağlanmasıdır [1,2].

Kesme makinesi / Rotorvan kombinasyonunda bir ya da iki kesme makinesinden geçirilerek kıyılan çay yaprakları Rotorvana verilmektedir. Bu kombinasyonda taşıyıcı bantlar ve makinenin özelliği nedeniyle zaman ve işçilikten tasarruf edilir.

Rotorvan / Rotorvan kombinasyonunda ise niteliklerine göre çay yaprakları birkaç defa Rotorvandan geçirilmektedir. Bu aşamadan sonra çay yaprakları, yaş çay eleğinden geçirilerek havalandırılır ve küçük yaprak parçacıkları haline getirilir. Fermantasyondan sonra kurutma fırınından geçirilerek siyah çay derecelendirilip paketlenmektedir [1,2].

Yapılan araştırmalar sonucu şu bulgulara ulaşılmıştır, Rotorvan makinelerinde kıvırmaya hazırlık olmak üzere yapılan bir ön düz ortodoks kıvırmadan sonra en ideal kombinasyonun kalite ve kapasite yönünden Rotorvan+kıvırma kombinasyonu olduğu ortaya çıkmıştır [1,2].

1.2.1.5 Triturator Yöntemi

Triturator makinelerinin çalışma ilkeleri Rotorvan makinelerine büyük benzerlik gösterir. Çay yaprakları bu makinelerde çok daha fazla ezilip parçalanmakta ve daha küçük parçacıklara ayrılmaktadır. Bu makinenin rotorvandan tek farkı işleyici eleman olarak silindir içinde çalışan helezonlu ve kesici bir şaftın bulunmasıdır. Çay yaprakları bir taşıyıcı bant ile makineye verilir. İçteki helezonun çay yaprağını aldığı başlangıç hatvesi büyüktür. Son kısımlarda hatve küçülür. Çıkıştaki aralık ayarlanmak suretiyle sıkıştırma basıncı kontrol altında tutulur [1,2].

Triturator makinesinde az soldurulmuş çay yaprakları bu makineden geçirilerek sürekli işleme uygulanmaktadır [1,2].

1.2.2. Ortodoks Yöntemine Göre Siyah Çayın İşlenmesi

1.2.2.1. Soldurma

Uygun şekilde hasat edilen taze çay yaprağının ağırlıkça %75 - 80'ini oluşturan suyun, uygun sıcaklıkta, kontrollü veya normal atmosfer şartlarında %60 - 65 seviyesine kadar indirgenmesi işleme soldurma adı verilir. Çay imalatında en önemli proseslerden biridir.

Soldurma işlemi sırasında, yaprakta iki şekilde solma oluşmaktadır. Bunlar:

- Fiziksel Soldurma
- Kimyasal Soldurma [7]

1.2.2.1.1. Fiziksel Soldurma

Yapraktaki su miktarının arzulan seviyeye düşürülmesinin sağlanmasıdır. Solmuş çay yapraklarında su miktarının azalması nedeniyle hücre özsuyunun yoğunluğu artarken, yaprağın kırılmaksızın ağır ağır kıvrılıp bükülmesini ve aynı zamanda hücre özsuyunun yapraktan dışarı çıkmasını kolaylaştıran fiziksel bir ortam oluşur. Suyunun bir bölümünü yitiren yaprak hücreleri esnek bir durum kazanır. Bu şekildeki hücreler çay yaprağının kırılıp parçalanmasını engeller. Yoğun hale geçen hücre özsuyunun dışarı çıkması için yaprağın geçirgenliği artar. Kıvrırma anında uygulanan basınç nedeniyle yapraktan dışarı çıkan hücre özsuyu ince bir tabaka halinde çay yapraklarına yapışır. Böylece siyah çayın nitelik kazanmasında çok önemli olan enzimler de yaprakların yüzeylerine iyi bir şekilde dağılmış olur [7].

1.2.2.1.2. Kimyasal Soldurma

Kimyasal solma hasattan hemen sonra başlar. Çaydaki su arananın arzu edilen seviyeye düşürülmesi birkaç saat içinde gerçekleşebilse de, hasat edilme ile başlayan katabolik (kimyasal yıkım) değişimler zaman alır. Oksijence zengin hava akımına maruz bırakılan yapraklarda, bu süre içinde büyük organik moleküller daha basit yapılara parçalanırlar. Kimyasal solma süresi, hasattan itibaren 14- 20 saattir [7].

Solma esnasında başlıca şu kimyasal değişiklikler olur:

- Yaprak yapısındaki makro moleküllerin parçalanması ile karbon dioksit ve su açığa çıkar.
- Enzim aktivitesi artar.
- Proteinlerin amino asitlere kısmi parçalanması ile aroma maddelerinin ön maddeleri oluşur.
- Çimensi ve çiçeksi aromayı oluşturan uçucu aroma bileşenleri ortaya çıkar.
- Klorofil miktarı azalır.
- Çay deminin dolgunluğuna, canlılığına katkıda bulunan kafein miktarı artar [7].

Çay yapraklarının protein içeriğinin solma esnasında azaldığı ve çayın hoş koku kazanmasına neden olan serbest amino asit kapsamının arttığı saptanmıştır. Yine siyah

çayın hoş koku kazanmasına neden olan ketoasitleri ve mevalonik asidin soldurma anında olduğu saptanmıştır. Soldurma esnasında polisakkaritlerin parçalanıp, karbondioksitin dışarı verilmesi sonucu kuru maddeler %3- 4 oranında bir azalma görülür. Çay yaprağının %25 civarında olan kuru maddesi %24'e kadar düşebilir. Polisakkaritlerin parçalanması çay yaprağına nişastayla çözülebilir zank maddelerinin azalmasına ve şeker miktarının artmasına neden olur. Soldurma anında çayın polifenol kapsamında değişme olmaz. Fakat polifenol oksidas enzim aktivitesi önemli ölçüde artar. Siyah çay için büyük önem taşıyan oksidasyonun iyi bir şekilde oluşmasında polifenol oksidas enziminin rolü bilinmekte ve soldurma işlemi bu rolüyle önem kazanmaktadır. Mamül çayın nitelik ve tadını olumlu şekilde etkileyen kafein oluşumu soldurma anında artarken, organik asit kapsamlarında da artış olmaktadır. İnorganik fosfat miktarı, çay yaprağındaki enzim aktivitesine bağlı olarak artarken klorofil içeriğinde ise parçalanma sonucu azalma olur. Siyah çayda aroma oluşumunda soldurma işlemi büyük önem taşır [7].

Soldurma ile hem fiziksel hem de kimyasal reaksiyonlar cereyan ederken yaprağın içerdiği nem % 15-20 oranında azalır. Çay yaprağındaki suyun azaltılması kurutma işleminde maliyeti düşürdüğü için ayrıca büyük yarar sağlar. [7]

1.2.2.1.3. Soldurma Yöntemleri

Uygun şekilde hasat edilen çay yapraklarının soldurulması genel olarak iki şekilde yapılabilir:

- Doğal Şartlarda Soldurma
- Kontrollü Şartlarda Soldurma [7]

İster doğal yolla, isterse kontrollü şartlarda olsun soldurma işlemi yaprağın tipine, yaprağın durumuna (ıslak ve kuru oluşu, zedelenmiş olup olmaması, vs), toplama standardına, serme kalınlığına, solmayı sağlayacak havanın sıcaklığına ve nem içeriğine, soldurma süresine bağlı olarak değişir. Genel olarak hasat edilen yaprakta başlayan soldurma işlemi 14-20 saat sürerken sıcaklık 32°C'yi geçmemelidir [7].

Doğal yollarla yapılan soldurmada yapraklar kerevetlere m² 'ye 500-600 gram kadar serilerek soldurmaya bırakılır. Ancak bu yöntem hem zaman alıcı olduğundan hem de homojen ve sürekli solmuş yaprak temini mümkün olmadığından günümüzde yerini kontrollü şartlarda mekanize yöntemler ile soldurmaya bırakmıştır [7].

Kontrollü şartlarda soldurma işlemi için tünel tipi soldurma makineleri, döner silindir kazan şeklindeki soldurma makineleri, sabit traflar ve kontinü traflar kullanılır [7].

Dünya'da soldurma işleminin elektronik olarak gözlenmesi ve kontrol edilmesi için hazırlanmış bilgisayar yazılım ve donanımları (EMCS) kullanılmaya başlanmıştır. [7]

1.2.2.2. Kıvrırma

Ortodoks imalat yönteminde en belirleyici işlemlerden biri kıvrırma işlemidir. Solmuş çay yapraklarında hücre zarının parçalanması ve yaprakların kıvrırılmasını sağlayan bu işlem kıvrırma makinelerinde gerçekleştirilir. Kıvrırma işleminin yapılış sebepleri maddeler halinde aşağıda sıralanmıştır [8].

- Hücre zarı ve hücre duvarlarını parçalayarak hücre özsuyunu açığa çıkarmak
- Yaprak hücresi özsuyunun hava ile temasını sağlayarak oksidasyon işlemini başlatmak
- Solmuş yapraklara arzu edilen kıvrırımı ve görünümü kazandırmak
- Kıvrırılmayan büyük parçaları, daha küçük parçalara ayırmak ve bu şekilde homojen bir görünüm elde edilmesine yardımcı olmak [8]

Kıvrırma makineleri konusunda en önemli gelişmeyi 1873 yılında tablalı kıvrırma makinelerini icat eden araştırmacı W. Jakson sağlamıştır. Bu makine disk şeklindeki yatay bir tabla ile tabla üzerinde dikey konumdaki silindir kazandan oluşur. Bu silindir kazan üç noktadan krankla yataklanmıştır. Kazan, krankların dönme hareketine bağlı olarak sabit tabla üzerinde devir yapar. Kazana doldurulan yapraklar tablanın üzerine oturmuşlardır. Kazan dönerken tabla sabit kaldığından yapraklar tabla yüzeyine sürtünüp kıvrırılır. Bugün de aynı prensiple çalışan kıvrırma makinelerinin kullanımına devam edilmektedir [8].

Tablo 5. Tablalı kıvrırma makinelerinin boyutları, kapasiteleri ve güç ihtiyaçları

Tabla Çapı	Solmuş Yaprak Kapasitesi (kg)	Bir Defa Kıvrılmış Yaprak Olarak (kg)	Güç İhtiyacı (HP)
34inç (0.86m)	150	166	4.5-8.0
36 inç (0.91m)	170	226	7.5-10.0
40 inç (1.02m)	215	283	10.0-12.5
45 inç (1.14m)	283	375	12.5-15.0
47 inç (1.19m)	317	408	15.0-20.0

Tablanın üzerine yerleştirilmiş yivsetler, kazan içindeki yaprak kitlesinin devrilmesini ve homojen şekilde kıvrılmasını sağlar.

Ortodoks imalatta kullanılan kıvrırma makineleri düz kıvrırma, presli kıvrırma ve göbekli kıvrırma adlarını alır. Düz kıvrırma makinelerinde yaprak kitlesi kendi ağırlığının etkisi ile kıvrılırken, presli ve göbekli kıvrırmalarda düz kıvrırmada kıvrılamamış kaba çaylara belli bir basınç uygulanarak cebri kıvrırma ve parçalanma sağlanır. [8]

1.2.2.2.1. Yaş Çay Kalburlama

Kıvrırma esnasında yaprak kitlesinin tablaya ve kazan cidarlarına sürtünmesi sonucu sıcaklığı yükselir. Aynı zamanda yaprakta devam eden oksidasyon sebebi ile de bir miktar ısı açığa çıkar. Bunun yanı sıra kıvrırma esnasında yer yer topaklar meydana gelir. Hem topakların parçalanması, hem de ısınmış yaprakların soğutulması için yaş çay kalburlarından geçirilmesi gerekir. Yaş çay kalburlarının ilk tipi yatayla 20° eğimdeki eksen etrafında dönerek çalışan silindir şeklindeki eleklerdir. Yeni tip yaş çay kalburları ise bir krank vasıtasıyla titreşim yapan yatay elek tablası şeklindedir [9].

1.2.2.3. Oksidasyon

Uzun yıllar fermantasyon işlemi diye adlandırılmış olan bu işlem, aslında çay yaprağında bulunan polifenollerin oksijenli ortamda ve oksidasyon enzimleri vasıtasıyla

yükseltgenmesi işlemidir. Çay yaprağında bulunan ve oksidasyon reaksiyonunu katalizleyerek karakteristik siyah çay aromasının oluşumunu sağlayan iki önemli enzim grubu *polifenol oksidaz (PPO)* ve *peroksidaz (PO)*' dır. Oksidasyon reaksiyonunun arzulanan düzeyde gerçekleşebilmesi için sıcaklık ve bağıl nemin, enzim aktivitesini maksimum düzeye çıkaracak şekilde ayarlanması ve bu seviyede tutulması gerekir [9].

Çay yapraklarında altı farklı kateşin çeşidi bulunmaktadır. Bunlar kateşin (C), epikateşin (EC), epikateşin gallat (ECG), gallokateşin (GC), epigallokateşin (EGC) ve epigallokateşin gallat (EGCG)'dir. Kateşinlerin *epi-* formları da kateşin ile aynı yapısal formüle sahip olmasına rağmen üç boyutlu modellerine bakıldığında farklı yönelmeler gösterirler. Zira bu formlar farklı oksidasyon kapasitelerine sahip olmak gibi farklı kimyasal davranışlar içindedirler [9].

Kateşinler *polifenol oksidaz* katalizörlüğünde *Orthoquinone* adı verilen ve son derece reaktif olan ara bileşenlere dönüşürler. Bunlar da çift çift birleşerek daha büyük molekül yapısına sahip *Theaflavin (TF)*' leri oluştururlar. Böylece altı farklı TF oluşur. Bunlar aşağıda sıralanmıştır [9].

- EGC + EC --- Theaflavin
- EGCG + ECG --- Theaflavin - 3'-3'- digallate
- EGCG + EC --- Theaflavin -3 - monogallate
- EGC + ECG --- Theaflavin -3' - monogallate
- GC + C --- Neotheaflavin
- GC + EC --- Isotheaflavin`dir.

Theaflavinler çözelti halinde iken parlak portakal kırmızısı bir renk gösterirler. Çay deminin niteliği üzerinde olduğu kadar parlaklığı üzerinde de önemli etkiye sahiptir. Bunlar içerisinde theaflavin monogallatlar diğerlerine göre daha parlak ve daha buruk tada sahiptir [9].

Therubigin (TR)' ler ise hem kateşinlerin *peroksidaz* enzimi katalizörlüğünde oksidasyonu ile hem de TF'lerden oluşurlar. TR'lerin karmaşık olan kimyası tam olarak tesbit edilememiştir. Ancak TF ve TR kombinasyonunun doğru şekilde oluşması ile çay deminin parlaklık, dolgunluk ve renk değerleri oluşur [9].

1.2.2.3.1. Oksidasyonu Etkileyen Etmenler

Çayın oksidasyonuna etki eden etmenlerin başlıcaları oksidasyon süresi, sıcaklık, solma derecesi, çay yapraklarının serilme kalınlığı, O₂ konsantrasyonu, oksidasyon odası koşulları ve diğer etmenlerdir [9].

1.2.2.3.1.1. Oksidasyon Süresi

Ortodoks yöntemine göre siyah çayın işlenmesinde kıvrırma dâhil oksidasyon süresi genelde 3,5 ile 4 saat arasında değişir. Sürenin gereğinden fazla uzunluğu ya da kısalığı olumsuz etkilere yol açar. Oksidasyon süresi uzadıkça çay deminin burukluğu ve parlaklığı üzerinde etki yapan theaflavin (TF) kapsamı azalır. Buna karşın çay deminin renk keskinliğine etki yapan thearubigin (TR) kapsamı artar. Kaliteli siyah çay üretimi için oksidasyon süresi dikkate alınmalıdır. Oksidasyon süresi uzatıldığında çay deminde fazla renk, daha az nitelik, süre kısıtlandığında daha az renk daha fazla nitelik oluşur. Bu durum çayda TF ve TR kapsamlarının uygun oranlarda bulunmasını gerektirir. Çayın TR kapsamının artması, yani sürenin uzatılması TF'nin etkisini göstermesine engel olarak çay deminin zayıf ve niteliksiz olmasına yol açar. Çay demindeki parlaklık, burukluk, renk ve nitelik dikkate alındığında iyi bir siyah çayda theaflavinlerin (TF), thearubiginlere (TR) oranı 1/10 dur. Oksidasyon süresi ile oluşan aroma bileşiklerinin miktarı arasında da yakın bir ilişki vardır. Oksidasyon süresi uzadıkça, bir kısım aroma maddeleri artarken, bir kısmı da azalmaktadır [9].

1.2.2.3.1.2. Oksidasyon Sıcaklığı

Oksidasyon aşamasında oluşan yükseltgenme reaksiyonları enzim aktivitesi için gerekli optimum sıcaklık ile yakından ilgilidir. Başta *polifenol oksidaz* olmak üzere çay yaprağındaki tüm yükseltgenme enzimlerinin aktivite gösterdikleri sıcaklık aralığına göre optimum oksidasyon sıcaklık aralığı belirlenir. Genel olarak çayın oksidasyonu 24 °C ile 29 °C derece arasında değişen sıcaklıklarda gerçekleşmektedir [9].

1.2.2.3.1.3. Solma Derecesi

Çay yapraklarının gereğinden fazla soldurulması, oksidasyonu yavaşlatır. Az olan solma ise kıvrırma işleminde yaprak hücre özsuynunun akararak yitmesine sebep olur. Her iki durum da oksidasyon reaksiyonlarını olumsuz etkiler. İdeal solma derecesi kıvrırmadan su akmayacak ve aynı zamanda yaprakta kuruma olmayacak şekilde belirlenir. Uygun olmayan şekilde aşırı solmuş çay yapraklarında optimum enzim aktivitesi için gerekli ortam oluşmaz [9].

1.2.2.3.1.4. Oksijen (O₂) Konsantrasyonu

Oksidasyon işlemi süresince bütün yükseltgenme tepkimelerinin temelini oksijen (O₂) oluşturmaktadır. Bu nedenle oksidasyon reaksiyonları süresince çay yaprağı parçacıklarının hava ile iyi bir şekilde teması sağlanmalıdır. Polifenollerin, *polifenol oksidas* enzime ile yükseltgenmesi ve TF oluşumu için bol miktarda oksijen (O₂) gereksinimi vardır. Oksidasyon anında oksijenin görevini en yüksek düzeyde yapabilmesi için yapraktaki kıvrırma işleminin iyi yapılmış olması gerekmektedir [9].

1.2.2.3.1.5. Çay Yapraklarının Serilme Kalınlığı

Oksidasyon işleminin başarısı soldurulmuş ve kıvrılmış yaprağın serme kalınlığı ile yakından ilgilidir. Zira bu işlem esnasında yaprakların gereğinden ince serilmesi, oksidasyon esnasında oluşan sıcaklığın kaybolmasına, serme kalınlığının artması ise sıcaklığın istenenden fazla olmasına ve yaprakların arasından yeterli oksijen geçememesine dolayısıyla her iki durumda da yeterli oksidasyon elde edilememesine sebep olur. Buna göre serme kalınlığının 5-7.5cm arasında olması uygun olur [9].

1.2.2.3.1.6. Oksidasyon Odası ve Koşulları

Oksidasyon odasının sıcaklığı 27 °C dereceyi geçmemelidir. Oksidasyon odasında yeterli nemin sağlanamaması halinde ise üretilen çayda suda çözülmeyen siyah kahverengi bileşikler oluşur. Bu nedenle oksidasyon ister arabada, ister hareketli veya sabit teknelerde

olsun, yaprağa verilen 24 °C-29 °C derece arasındaki sıcak havanın belli miktarlarda nemi içermesine dikkat edilir [9].

1.2.2.3.1.7. Oksidasyonu Etkileyen Diğer Etmenler

Oksidasyona, yeşil çay yaprağının nitelikleri yanında uygulanan kültürel tedbirler ve coğrafi faktörlerde etki eder. Çay yaprağının körpe veya kart oluşu, toplama standardı, çay ocağının budanma ve gübreleme durumu gelişme koşulları, toprağın yapısı, çay yaprağının toplandığı bahçenin denizden yüksekliği gibi etmenler oksidasyona doğrudan veya direk etki eder. Soldurma ve kıvrıma işlemlerinin iyi yapılp yapılmaması da fermantasyona etki eder.

Enzimler yardımı ile bir seri kimyasal tepkimeler sonucu oluşan oksidasyonun tamamlanıp tamamlanmadığı çeşitli şekillerde belirlenir. Çay yapraklarında oluşan aromaya ve renk değişikliğine bakılarak oksidasyonun durumu üzerine karar verilmesi yaygın şekilde uygulanan bir yöntemdir. Fakat kişiden kişiye değiştiği için görecelidir. Oksidasyonun tamamlanıp tamamlanmadığı en iyi ve doğru şekilde theaflavin (TF) ve thearubigin (TR) oranlarının belirlenmesiyle anlaşılmaktadır. Bu oranın 1/10 olması fermantasyonun en iyi düzeyde olduğunu göstermektedir [9].

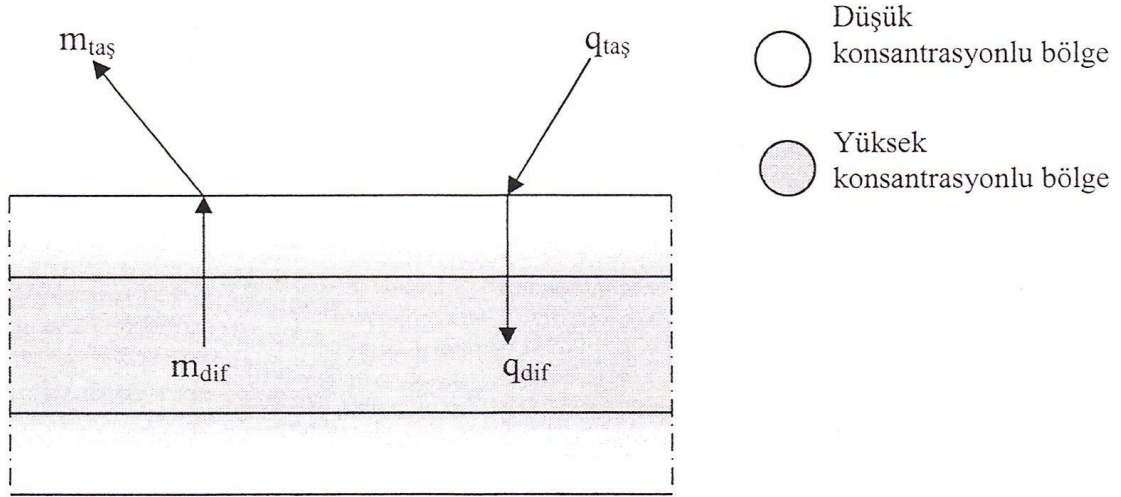
1.2.2.4. Kurutma

Kurutma işlemi, enzim aktivitesini durdurarak oksidasyona engel olmak ve mamul çayın kalitesini koruyabilmek için stabil bir ürün elde edebilmek amacıyla yapılır. Yaş çay yaprağının ağırlıkça %75-80'ini oluşturan su oranı; soldurmada % 15-20 oranında, kurutmada da %55-57 oranında azalarak nihai üründe %3-4'e düşer [10].

1.2.2.4.1. Kurutmanın Tanımı

Kurutma; bir eş zamanlı ısı ve kütle transferi prosesidir. Şekil 7'de kurutma prosesinde meydana gelen ısı ve kütle transferi gösterilmiştir. Kurutma havasından kurutulan ürün yüzeyine taşınım ile ısı transferi gerçekleşirken ($q_{taş}$), ürünün iç kısmına ise difüzyonla ısı transferi (q_{dif}) gerçekleşir. Nem transferi ise, ısı transferinin tam tersi bir yol

izler. Nem iç kısmından ürün yüzeyine difüzyonla (m_{dif}), ürün yüzeyinden kurutma havasına taşınım ($m_{taş}$) transfer olur. Nem, ürün merkezinden yüzeye doğru ya sıvı difüzyonu ya da kılcal kuvvetlerin etkisiyle hareket eder. Genel olarak kılcal kuvvetlerin etkisi gözenekli maddelerde, sıvı difüzyonu ise gözenekli olmayan maddelerde meydana gelir [28,38,45].



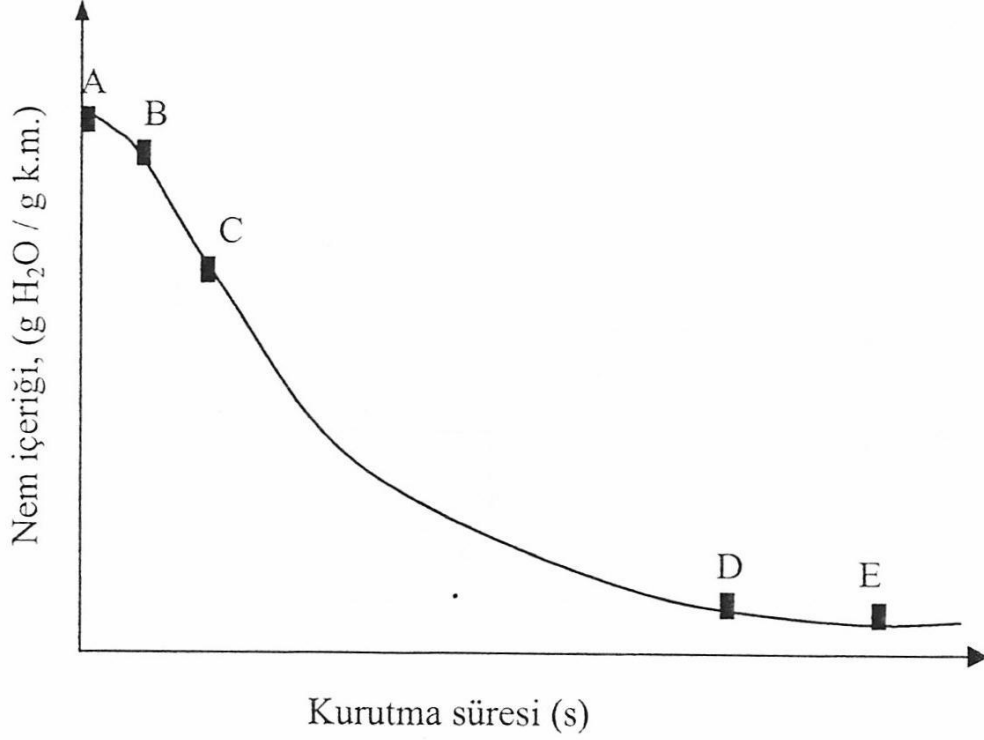
Şekil 7. Kurutma prosesinde eş zamanlı ısı ve kütle transferinin şematik gösterimi

Kurutma prosesine etki eden faktörler iç ve dış olmak üzere iki gruba ayrılabilir: iç faktörler; kurutulan ürüne ait özellikler olup, ürünün termofiziksel özellikleri, parçacık boyutu, katının gözenekliliği, kuruma sırasında ürün yüzeyinin sertleşmesi, ürünün başlangıç nem içeriği, su aktivitesi ve difüzyon katsayısını kapsar. Dış etkenler ise; sadece kurutma havasıyla ilgilidir. Kurutma havasının sıcaklığı, hızı, basıncı ve bağıl nemi dış etkenleri oluşturan parametrelerdir [35,39,45]. Kurutma çalışmalarında iç faktörlerden ziyade dış faktörlerin etkisi daha çok araştırma konusu olmuştur [42,45].

1.2.2.4.1.1. Kurutma Periyodu

Kurutulan bir ürünün nem içeriği ile kurutma süresi arasındaki ilişki kuruma eğrileri ile belirlenir. Şekil 8, 9 ve 10' da kuruma eğrileri görülmektedir. Şekil 8'de, ürün nem içeriğinin kurutma süresiyle değişimi gösterilmiştir. Kuruma hızı, $DR=dM/dt$ birim zamanda üründen transfer edilen nem miktarı olarak tanımlanır. Herhangi bir ürünün kuruma oranı, o ürünün nem içeriğine, kurutma havası sıcaklığı ve bağıl nemine bağlıdır.

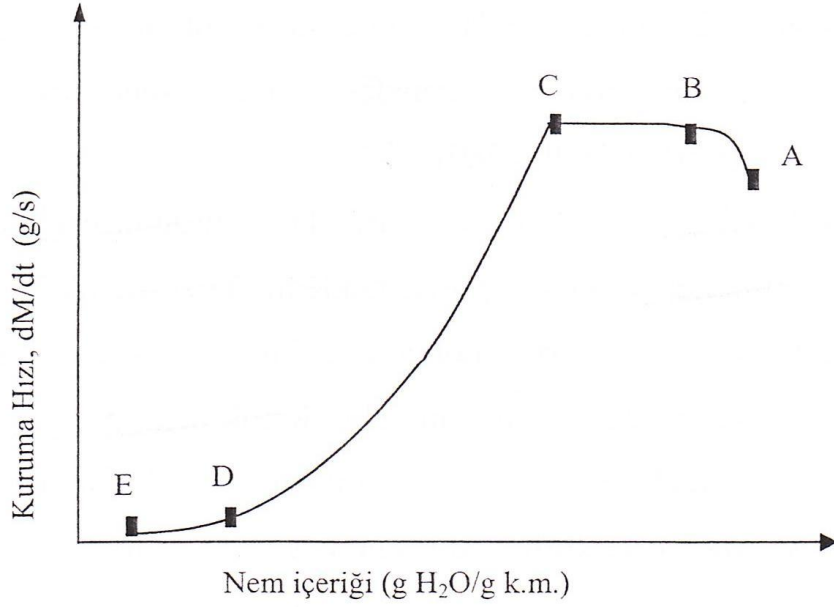
Şekil 9 ve 10'da, kuruma hızının ürün nem içeriği ve kurutma süresine göre değişimleri verilmiştir [40,42,45].



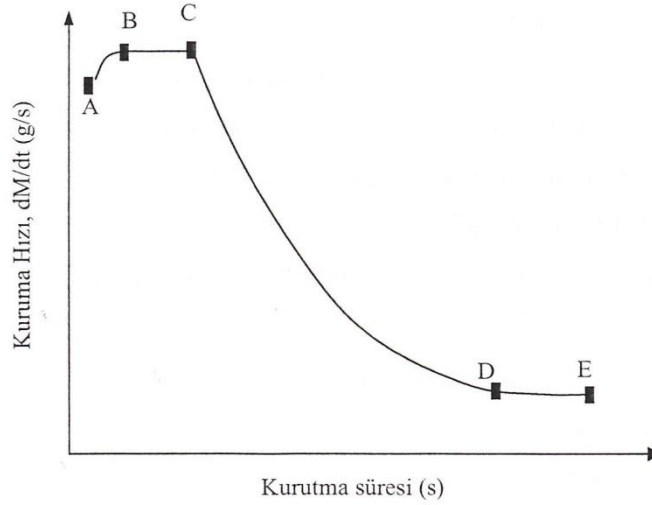
Şekil 8. Ürün nem içeriğinin kurutma süresiyle değişimi

Kurutma eğrilerinden de kolayca anlaşılacağı gibi kurutmada üç önemli aşama meydana gelmektedir [40,42,45].

A-B Bölgesi: Gıda maddesinin yüzey sıcaklığının, ortam sıcaklığıyla dengeye gelmesi sürecidir. Genel olarak, bu bölümde kuruma hızında bir artma görülmekle birlikte tüm kuruma işleminin çok az bir bölümünü oluşturduğundan göz önüne alınmayabilir.



Şekil 9. Kuruma hızının ürün nem içeriğiyle değişimi



Şekil 10. Kuruma hızının kurutma süresi ile değişimi

B-C bölgesi: Bu bölge, sabit hızda kuruma periyodu olarak bilinir. Bu periyot sırasında, kuruyan ürün yüzeyinin tamamıyla ıslak olduğu kabul edilir. Bu bölgede kuruma hızı tamamıyla dış etkenlere bağlıdır. Kurutma havası ile ürün yüzeyi arasındaki ısı ve kütle taşınım katsayıları bu periyotta sürükleyici kuvvetlerdir. Sabit hızda kuruma periyodunda difüzyon etkileri ihmal edilebilir seviyededir. Bu periyot, kurutma prosesinin başlangıcında etkindir. Bu sürecin, gıda ürünlerinin kurutulmasında çok kısa sürmesi ve

süreç boyunca çok az miktarda nem transfer edilmesi sebebiyle, teorik çalışmalarda genellikle ihmal edilir [41,45].

C-D bölgesi: Şekil 8'deki C değeri kurutulacak ürünün özellikleri ile ilgili birçok faktöre bağlı olan kritik nem miktarını göstermektedir. Yüzeyde ilk kuru noktanın olduğu duruma *kritik nokta* adı verilir. Kritik nokta sabit kuruma periyodunun sonunu ve azalan hızda kuruma periyodunun başlangıcını simgeler. Kritik nem, her gıda maddesi için farklı düzeyde olup, o gıda maddesinin bileşimiyle ilişkili bir değerdir. Kritik nemden itibaren yüzey sıcaklığı yükselmekte ve kuruma durumuna göre kuru termometre sıcaklığına doğru yaklaşmaktadır. Bu periyotta, malzeme yüzeyinde ıslak alan miktarında sürekli azalma söz konusudur. Bu devredeki ürünün kuruma hızı, iç gözenek yapısının ve katının içindeki nemin yüzeye doğru akmasına neden olan kuvvetlerin etkisi altındadır. Bu periyotta difüzyon etkileri hakimdir. Genellikle gıda ürünleri azalan kuruma periyodunda kururlar [28,29,45]. Şekillerden de görüldüğü gibi azalan hız periyotları birinci (C-D bölgesi) ve ikinci (D-E bölgesi) olmak üzere ikiye ayrılır. Bu periyotta, kurutma havası hızının, kuruma hızına etkisi çok zayıf olup, onun yerini katının içyapı özellikleri almıştır. Kurutma prosesi bu devrede, ürün içerisindeki nemin sıvı difüzyonu yoluyla ürün yüzeyine erişmesi ve yüzeye ulaşan nemin uzaklaştırılması şeklinde gerçekleşir [41,45].

D-E Bölgesi: İkinci azalan hız periyodu olarak bilinen bu bölgede, ürün içindeki su yüzeye çok yavaş difüze edilir.

Azalan hızda kuruma periyodunda, ürünlerdeki nem:

- a) Difüzyonla sıvı hareketi,
- b) Difüzyonla buhar hareketi,
- c) Kılcal sıvı hareketi,

şeklinde transfer edilebilir [27,45].

1.2.2.4.1.2. Difüzyon

Difüzyonla kütle transferi, konsantrasyon farkından kaynaklanan moleküllerin gelişigüzel hareketidir. Kütle, konsantrasyonu yoğun olan bölgeden düşük olan bölgeye doğru hareket etmektedir. Kütle difüzyonuna basit bir örnek olarak, ürün yüzeyindeki su buharının havada yayılması verilebilir. Burada, yüzeydeki su buharı konsantrasyonu ile havanın içindeki nem konsantrasyonu farklıdır.

Katılarda ısı ve kütle transferi mekanizmaları oldukça benzerdir. Isı transferinde sıcaklık gradyanı gerekirken, kütle transferinde konsantrasyon gradyanına gerek vardır. Aşağıda bu iki mekanizmanın benzerliği gösterilmektedir.

Isı Transferi

$$J_k = -k \frac{\partial T}{\partial x}$$

$$\frac{\partial T}{\partial x} = \alpha \frac{\partial^2 T}{\partial x^2}$$

Kütle Transferi

$$J_m = -D \frac{\partial M}{\partial x} \quad (1.1)$$

$$\frac{\partial M}{\partial t} = D \frac{\partial^2 M}{\partial x^2} \quad (1.2)$$

Her iki mekanizmanın matematiksel gösterimi aynı olsa da gerçekte fiziksel mekanizmaları tamamen farklıdır. Difüzyonla ısı transferinde, yüksek enerjili moleküllerden düşük enerjili moleküllere, moleküller arasındaki etkileşimler sonucunda enerji aktarım gerçekleşir. Difüzyonla kütle transferinde ise, moleküller; yüksek konsantrasyonlu bölgeden düşük konsantrasyonlu bölgeye doğru hareket ederler [45].

1.2.2.4.1.2.1. Sıvı Difüzyon Modeli

Sıvı moleküllerinin, yüksek konsantrasyonlu bölgeden düşük konsantrasyonlu bölgeye doğru katı içerisindeki hareketidir. Yapışkan suyun hareketi sıvı difüzyonuyla gerçekleşir. Difüzyon modelini kurutma prosesinde ilk olarak Lewis (1921) uygulamıştır. Sonra, Sherwood (1929), azalan hızda kuruma periyodu boyunca, kurutmayı karakterize etmede difüzyon denklemini kullanmıştır. Difüzyon denklemi, kurutma süresini belirlemede birçok ürün için başarıyla uygulanmıştır. Gıda maddeleri gibi higroskopik maddelerin kurutulmasında katı içerisinde sıvının difüzyonu söz konusudur ve difüzyon denklemi bu durumu tanımlamaktadır [28,45].

1.2.2.4.1.2.2. Buhar Difüzyon Modeli

Buhar difüzyonu; gözenekli malzemelerde, gözenek içerisinde bulunan nemin buharlaşarak kurutma havasına transfer olmasıdır. Sıvı difüzyonunda olduğu gibi buhar

difüzyonunda da kütle transferini tanımlamada difüzyon denklemi uygulanır. Ancak, bu modelde difüzyon katsayısı buhar basıncına bağlı olarak değişir [28,45].

1.2.2.4.1.2.3. Kılcal (Kapiler) Akış

Kılcal akış; katı ile sıvı molekülleri arasındaki etkileşim sonucu boşluklar (gözenekler) içindeki sıvının yüzeye doğru hareketi olarak tanımlanmaktadır. Sıvı molekülleri ile katı arasındaki bu etkileşimden kaynaklanan kuvvetlere *adhezyon kuvvetleri* denir. Adhezyon kuvvetleri, sıvının yüksek konsantrasyonlu olduğu yerden düşük konsantrasyonlu olduğu bölgeye doğru bir mini kanal içinde hareket etmesini sağlar[28][45]. Kılcal akışa doğada çok sık rastlanmaktadır. Suyun yerin altından yüzeye doğru çıkması, bir ağacın kökündeki suyun yapraklarına doğru hareketi, canlılarda kanın dolaşımı kılcal akışa örnek olarak verilebilir. Gıdalarda kuruma davranışı modellenirken, gıdaların azalan hız periyodunda kurumasından ve higroskopik malzemeler olmasından dolayı, kılcal etkilerin olmadığı düşünülür [28,45].

1.2.2.4.1.3. Malzemelerin Sınıflandırılması

Kurutma prosesindeki kütle transferi mekanizması, ürünlerin doğasına bağlıdır. Bünyesinde barındırdığı nemin karakteristiğine göre maddeler higroskopik ve higroskopik olmayan maddeler olarak ikiye ayrılırlar. Higroskopik olmayan maddeler, kum, kil, cam, seramik, v.b. gibi maddelerdir. Bu maddeler bünyelerinde yapışkan su içermediklerinden dolayı, hangi ortamda bulunurlarsa bulunsunlar nem alış verişinde bulunmazlar. Çünkü malzeme içindeki suyun kısmi basıncı ile serbest halde bulunan suyun buhar basıncı birbirine eşittir [28,45].

Higroskopik malzemeler ise organik ürünler v.b. gibi bünyelerinde yapışkan su içeren maddelerdir. Bu malzemelerdeki serbest suyun kısmi basıncı, çevreleyen havanın su buharı basıncından farklı olduğu için, buldukları ortamla nem alış verişinde bulunabilirler. Bu malzemeler ancak denge nem içeriğine erişinceye kadar kurutulabilirler.

Gözeneklilik (porozite), ϵ , bir malzeme içinde bulunan boşluk hacminin toplam hacme oranı olarak tanımlanabilir. Bir malzemenin gözenekli olabilmesi için gözeneklilik

değerinin 0.25 den büyük olması gerekmektedir. Gıda maddeleri düşük gözeneklilik değerlerinden dolayı ($\epsilon < 0.25$) gözenekli değillerdir [45].

1.2.2.4.1.4. Katılarda Nemin Bağlanış Şekli

Kurutma prosesinde transfer edilen nem, ürüne farklı şekillerde bağlanabilir. Kurutma prosesinde, hangi periyotta (ısınma, sabit hız ve azalan hız) hangi tür nemin üründen transfer edilmekte olduğu bu tip bağlı nemlerden anlaşılabilir. Aşağıda nemin ürüne bağlanış tipleri verilmiştir.

Yüzey nemi: Bu tip nem, ürünün dış yüzeyinde ince bir film tabakası şeklinde bulunur. Kurutma havası sıcaklığı ve bağıl neminin belli bir değerinde üründen ayrılan ilk nemdir. Gıda ürünlerinin kurutulmasında, bu şekilde bulunan su, sabit hızda kuruma periyodunda kısa sürede ürünü terk eder. Toplam kurutma süresinin yanında çok az bir zaman aldığı için teorik hesaplamalarda bu süre dikkate alınmamaktadır [45].

Yapışkan nem: Su moleküllerinin katı moleküllerine çok sıkı bir şekilde bağlanmasıdır. Bütün gözenekli olamayan higroskopik ürünlerin iç yapısında bulunan nem türüdür [34,45]. Bu tür nem, ancak kurutma havasının farklı koşullarında üründen ayrılabilir.

Yapışkan olmayan nem: Su moleküllerinin katı moleküllerine daha gevşek bağlanmasıdır. Higroskopik malzemelerdeki yapışkan olmayan su, kurutulan üründe bulunan ve denge nem içeriğinden yüksek olan nemdir [31,45].

Serbest nem: Toplam nem içeriği ile verilen kurutma havası koşullarındaki denge nem içeriği arasındaki farka eşittir. Üründe serbest nem olduğu müddetçe kurutma işlemi sürdürülebilir. Serbest su hem yapışkan suyu hem de yapışkan olmayan suyu içerebilir [45].

1.2.2.4.1.5. Su Aktivitesi ve Denge Nemi

Gıda maddelerinde, çeşitli tipte kimyasal reaksiyonların başlaması, sporların çimlenmesi, mikroorganizmaların büyümesi için gerekli olan suyun bünyede bulunması, üründeki suyun buhar basıncına veya su aktivitesine bağlıdır [43,45].

Su aktivitesi, gıda maddeleri tarafından tutulan suyun özelliğini gösteren bir terimdir ve gıda maddesinin içerdiği suyun buhar basıncının (p), aynı sıcaklıktaki saf suyun buhar basıncına (p_1) oranı olarak tanımlanır [32,36,37,43,45].

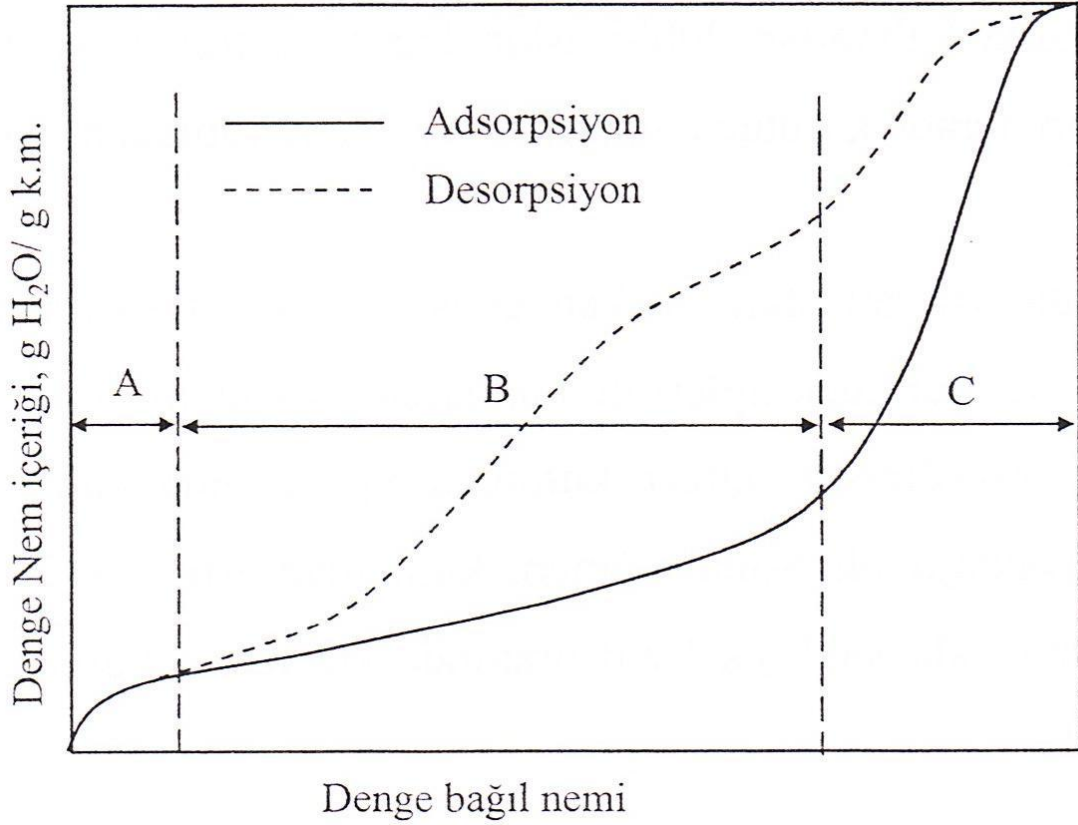
$$a_w = \frac{p}{p_1} = \frac{\text{Havanın denge bağıl nemi}}{100} \quad (1.3)$$

Nem içeriği bilinen bir gıda maddesi, sıcaklığı ve bağıl nemi sabit bir ortamda yeterli süre bekletilirse, havadaki su buharı basıncıyla üründeki suyun buhar basıncı dengeye erişinceye kadar nem alış verişinde bulunur. Denge halinde ise ürün tarafından tutulan suyun buhar basıncı ile havadaki suyun buhar basıncı eşittir. Denge halinde bulunan gıda maddesinin içerdiği nem miktarına *denge nemi*, denge halindeki ürünü çevreleyen havanın bağıl nemine de *denge bağıl nemi* denir. Kurutma işlemi sırasında denge nemi, kurutma havası sıcaklığına ve kurutma havası bağıl nemine bağlı olarak, kuru ürünün içerebileceği en az nem miktarını gösterir. Sadece higroskopik malzemeler, denge nem içeriğine sahiptir. Örneğin, sahil kumu higroskopik olmayan bir maddedir ve denge nem içeriği sıfırdır [28,45]. Gıda maddelerinin belirli sıcaklık ve bağıl neme sahip ortamlarda ulaşacağı denge nemi değerlerinin bilinmesi, kurutma ve depolama işlemleri sırasında önemli kolaylıklar sağlamaktadır.

Denge nem içeriği ile denge bağıl nemi arasındaki ilişki olarak tanımlanan sorpsiyon eğrisinin belirlenmesinde, gıdanın yaş veya kum olmasının etkisi vardır. Çünkü yaş gıdanın nem vermesi (desorpsiyon) ile kum gıdanın nem alması (adsorpsiyon) olgusu tam olarak aynı yolu izleyen bir dönüşüm değildir. Islak maddenin farklı bağıl nemli ortamlarda tutulup denge nemine erişmesiyle elde edilen grafiğe "desorpsiyon eğrisi", buna karşın kum olan aynı maddenin, farklı bağıl nemli ortamlarda tutulup denge nemine erişmesiyle elde edilen eğriye "adsorpsiyon eğrisi" denir. Her ikisine beraber "sorpsiyon eğrisi" denir. Uygulamalarda genellikle kum madde kullanılarak denge nem içeriği tayin edilmektedir [45].

Şekil 11'de, gıda maddelerinin sorpsiyon eğrisinin genel şekli gösterilmiştir. Ürün içindeki suyun bağlanış şekline göre sorpsiyon eğrisi üç bölgeye ayrılmıştır: A, B ve C. A bölgesinde, ürünün bünyesindeki su ürüne çok sıkı bir şekilde bağlanmıştır ve bu su üründe kimyasal reaksiyona giremeyecek ölçüde az miktardadır. Bu bölgede adsorpsiyon ve

desorpsiyon çizgileri çakışıkır, aralarında açıklık yoktur. B bölgesinde, bünyedeki su daha gevşek bağlıdır ve küçük gözeneklere hapsedilmiştir. Bu yüzden, ürün içindeki suyun buhar basıncı bulunduğu ortamın buhar basıncından farklıdır. C bölgesinde ise, su artık çok daha gevşek bağlıdır ve büyük gözenekler içinde tutulur. Bu bölgedeki su miktarının fazla olması sebebiyle reaksiyonlar hızlanır [43,45].



Şekil 11. Adsorpsiyon ve desorpsiyon izotermi

1.2.2.4.1.6. Kuru Gıdalarda Kalite Değişimleri

Kurutulmuş gıda maddelerinde büzülme, tekrar su alma yeteneğinin azalması, kuru madde kaybı ve sertleşme, kurutma sırasında sebze ve meyvelerin dokularında meydana gelen değişim, homojen kuruma olmayışı ve renk değişimleri kaliteyi düşüren etkenlerdir [40,45].

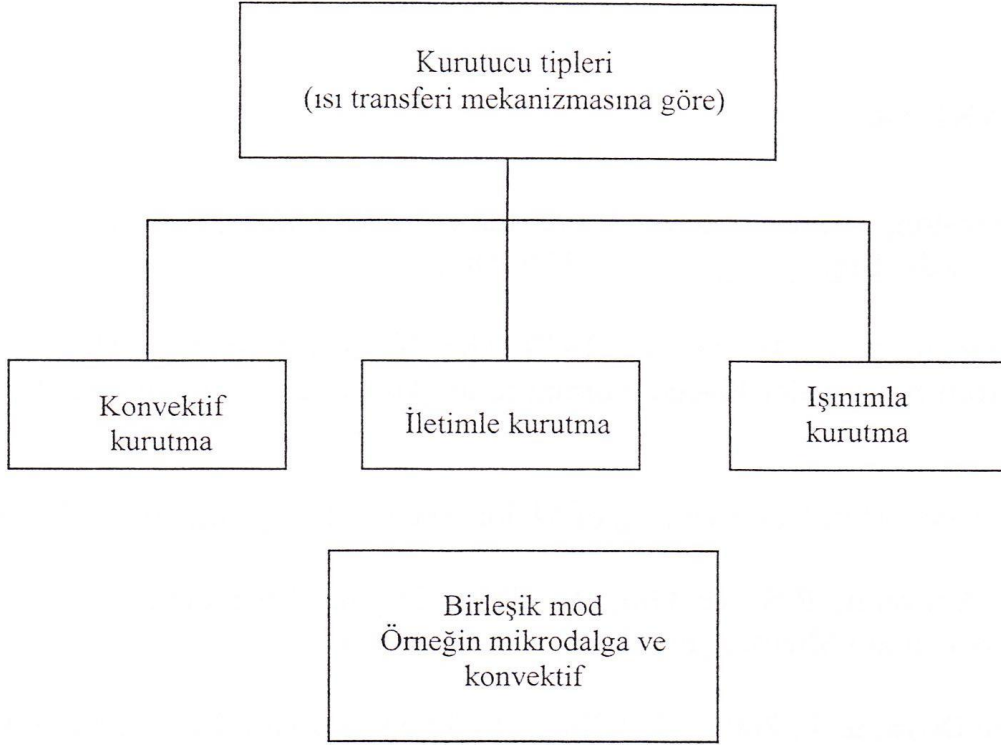
Yüksek sıcaklıklarda yapılan kurutmada ürün yüzeyi sertleşmekte, büzülme ve çatlamaktadır. Ürün yüzeyinin sertleşmesi ise, ürün merkezinden yüzeye doğru gerçekleşen kütle difüzyonuna karşı direnç oluşturacağı için kurutma süresinin uzamasına sebep olmaktadır [25,26,44,45].

Yüksek bağıl nemli ortamlarda yapılan kurutmada ise kuruma sonrasında ürünün son nem içeriği, mikroorganizmal etkileri harekete geçirebilecek ($M_e > \%10$) düzeydedir [35,45]. Bu durumda ise, ürün daha çabuk bozulmaktadır. Bu sorunun giderilmesi ve daha kaliteli kurutulmuş gıda eldesi için, kurutma havası şartlarının belirlenmesi son derece önemlidir.

1.2.2.4.1.7. Temel Kurutucu Tipleri

Gıda, tekstil, ağaç v.b. gibi endüstride, kurutma çok önemli bir prosestir. Büyük ölçekte enerjinin harcandığı bu proseste, ürün kalitesi ve enerji tasarrufu açısından kurutucu seçimi oldukça önemlidir. Ayrıca, çevresel etkiler ve kurutma işleminin güvenli bir şekilde devam edebilmesi de kurutucu seçiminde önem arz etmektedir. Endüstride, çeşitli uygulamalarda kullanılan 200'ü aşkın kurutucu tipi mevcuttur. Ancak bunlardan yaklaşık 20 kadarı temel kurutucu tipleridir ve bu kurutucular yaygın olarak kullanılır [43,45].

Şekil 12'de ısı transferi mekanizmasına göre (konveksiyon, iletim, ışıınım) sınıflandırılmış temel kurutucu tipleri ile bunlardan birkaçının birlikte kullanıldığı birleşik kurutucu tipleri gösterilmiştir. Diğer kurutucu tipleri gıda kalitesi ve enerji tasarrufu yönünden daha avantajlı olmasına rağmen, kullanılabilirliğinin kolay olması sebebiyle, gıdaların kurutulmasında yaklaşık %90 oranında konvektif kurutucu tercih edilmektedir [43,45].

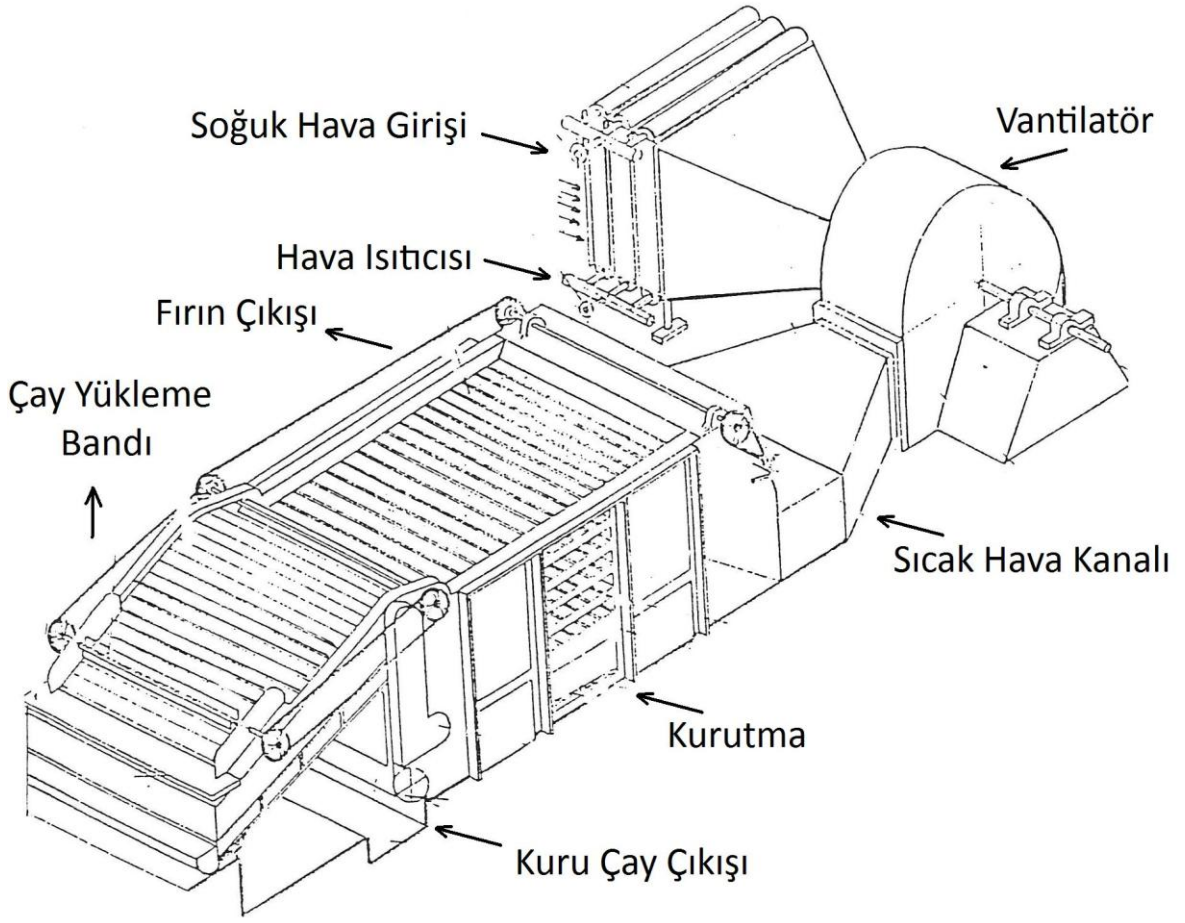


Şekil 12. Isı transferi mekanizmasına göre temel kurutucuların sınıflandırılması

1.2.2.4.2. Çay Kurutma Tekniği

Kurutmanın temeli, sıcak hava ile temas ettirilen okside olmuş çay yaprağının nem kapsamını belli bir düzeye indirmektir. Bu işlemde kayda değer önemli bir nokta sıcak havanın önce en kuru çay yaprağı ile temas ettirilmesidir [1].

Yüzlerce yıl önce çay yaprağı mangal kömürü ateşi üzerinde tepsi içerisinde kurutuluyordu. Zamanla artan çay tüketimini karşılayabilmek için kurutmada mekanizasyona geçildi. Eski kurutma makinelerinde, sistematik olarak yer değiştiren tepsilere konulmak suretiyle çay yaprakları kurutuldu. Bu makinelerle çalışırken kuruma işlemi tamamlanan bir tepsi makineden dışarı alınırken fermente olmuş çay yaprağını içeren bir başka tepsi kurutma fırınına konuluyordu. Teknolojik ilerlemelere paralel olarak geliştirilen modern makinelerde tepsi yerine sonsuz zincir şeklinde hareket eden kademeli tablalar yerleştirildi. Tablaların kademeli oluşunun bir yararı yüksek sıcaklıkla birden karşılaşan çay yapraklarında kabuk bağlamayı (case hardening) önlemek ve bir yararı da sıcaklığın ekonomik şekilde kullanılmasını sağlamaktır [1].



Şekil 13. Kurutma fırınının şematik gösterimi

Çay kurutma fırınları başlıca 3 bölümden oluşur. Bunlar fırın, hava ısıtıcısı ve vantilatördür. Şekil 13'de bir çay kurutma makinesinin çalışma şeması verilmiştir. Şekil 13'den izlenebileceği gibi ocak içerisine yerleştirilmiş bulunan ısıtma borularını kat ederken ısınan hava, bir vantilatör aracılığıyla emilerek fırın kısmına basılmaktadır. Fırın içinde sonsuz zincir şeklinde hareket eden tablalar yerleştirilmiştir. Tablalar yan yana aralık bırakmayacak şekilde dizilmiş paletlerden oluşurlar. Paletler, elek şeklinde delikli levhalardan yapılmıştır. Fırının ön kısmında düz levha paletlerinden oluşturulmuş besleme bandı bulunmaktadır. Besleme bandına verilen çay yaprağı döner kanatlı yayıcı ile banda düzgün ve istenilen kalınlıkta serilir. Çay yaprakları besleme bandından fırının içindeki üst tablaya dökülür. Üst tabla başlangıcındaki döner kanatlı yayıcı, çay yapraklarını kurutma tablasına eşit kalınlıkta yayar. Tabla üzerindeki yaprakların arasından geçen sıcak hava, buharlaşan suyu da alıp götürür. Tabla sonlarında, paletlerin düşmesini sağlayan mekanik düzen sayesinde, çay yaprakları bir alt tablaya dökülür. Böylece fırın içinde çay yaprakları

altı kez git gel hareketiyle yol alır. Altıncı tabla sonunda kuru siyah çay fırının dışındaki boşaltma kanalına aktarılır [1].

Fırın içerisindeki kurutucu tablalarına hareket veren kasnak beş kademelidir. Birinci kademede çay yaprağının fırın içinde 32 dakika, ikinci kademede 27 dakika, üçüncü 21 dakika, dördüncüde 17 dakika ve beşincide 12 dakika kalması sağlanır. Tablalar üzerindeki yaprak tabakası kalınlıkları, tablaların hızı, basılan havanın sıcaklık ve hacmi modern kurutma cihazlarında otomatik olarak ayarlanmıştır. Aynı şekilde kurutma fırınına giren ve çıkan havanın sıcaklıkları da otomatik olarak kaydedilmektedir [1].

Şekil 13'den de izlenebileceği gibi fırın içerisinde üst tablolardan alt tablolara aktarılan çay yaprakları giderek daha yüksek sıcaklıktaki hava ile karşılaşır. Çay yapraklarında bulunan su buharlaştıkça sıcak havanın kuru termometrede sıcaklığı düşer. Sıcaklık düşüşü buharlaşan su miktarı ile orantılı şekilde artar. Kurutma fırınına terk eden havanın sıcaklığı, buharlaşan su miktarı ve özellikle üst tabladaki çay yapraklarından buharlaşan su miktarı hakkında iyi bir fikir vermesi yönünden önem taşır [1].

Kurutma işlemi, oksidasyonu en kısa süre içerisinde durdurarak aşırı oksidasyonu önleyecek biçimde düzenlenmelidir. Ancak bu şekilde üretilen çayın üstün nitelikli olması ve genel beğeni kazanması sağlanabilir [1].

Günümüzde en çok kullanılan modern çay kurutma cihazlarında, klasik kurutuculara göre önemli değişiklikler gerçekleştirilmiştir. Örneğin fırına basılan sıcak havanın hızı olabildiğince azaltılarak küçük ve ince çay yapraklarının havaya uçması önlenmiştir. Bu uygulama Ortodoks yönteminde olduğu kadar özellikle siyah çay üretiminde kullanılan öteki yöntemlerde de yararlı ve gerekli bulunmuştur. Fırın içerisindeki tabla sayısı 6'dan 8'e yükseltilecek ve tablaların uzunlukları artırılarak kurutmanın daha iyi ve daha kısa süre içerisinde gerçekleştirilmesine çalışılmıştır [1].

Modern fırınların klasik kurutma fırınlarından ayrıldığı bir başka yönü de bunlarda şok kurutmanın uygulanmasıdır. Şok kurutma, çay yapraklarının kısa bir süre yüksek sıcaklığın etkisinde bırakılması şeklinde tanımlanabilir. Ön ısıtıcı fırın (Hot feed dryer) şok kurutmanın yapıldığı fırına bir örnektir. Anılan fırına çay yaprağının verildiği besleme bandına, fırın içindeki paletlerin benzeri olan delikli ve havayı geçiren tipte paletler monte edilmiştir. Fırının ısıtıcısından ayrı diğer bir ısıtıcıdan alınan sıcak hava, besleme bandına verilerek çay yaprakları ön kurutma işlemine tabi tutulmaktadır. Uygulanan yüksek sıcaklığın etkisiyle kurutma kapasitesinin artırılması yanında, çay yapraklarındaki enzimler kısa sürede etkisiz hale dönüştürülerek oksidasyonun durdurulması sağlanmaktadır [1].

Kurutma işleminin kalitesine etki eden etmenler, giriş ve çıkış sıcaklığı, kurutma havasının debisi, dış hava sıcaklığı, kurutulacak çayın serme kalınlığı ve kurutmanın süresidir [1].

Kurutma Giriş Çıkış Sıcaklığı: Kurutma işleminde kullanılan havanın fırına giriş sıcaklığı 95-100 °C ve fırın çıkış sıcaklığı 50-55 °C arasında olmalıdır.

Kurutma Havasının Debisi: Kurutma havasının debisi, uzaklaştırılacak rutubet miktarına ve seçilecek kurutma süresi ve sıcaklığına göre değişir [10].

Yaprağın Serme Kalınlığı: Kurutulacak çay yaprakları, içerdikleri su miktarına, yaprağın kıvrılma durumuna, fırında kalacağı süreye ve kurutmada kullanılan havanın debisine bağlı olarak düzgün bir tabaka oluşturacak şekilde yayılır. Fırın içindeki çayın serme kalınlığı azaldıkça kurutma kalitesi artar [10].

Kurutma Süresi: Kurutma süresi yaprağın solma derecesine, kullanılan sıcaklık derecesine, yaprağın serme kalınlığına ve kurutmada kullanılan havanın debisine bağlı olarak değişir. Nihai ürünün rutubeti % 3-4 oluncaya kadar kurutma işlemine devam edilir.

Siyah çay imalatında kurutma işleminde en yaygın olarak kullanılan fırınlar, 140 cm ve 210 cm'lik fırınlardır. Bu fırınlar saatte 400-450 kg/h su buharlaştırma kapasitesine sahiptirler [10].

1.2.2.4.3. Kurutma İşlemi Esnasında Oluşan Kimyasal Olaylar

- Kurutma ile *polifenol oksidaz (PPO)* ve *peroksidaz (PO)* gibi yükseltgenme enzimlerinin inaktive olmaları sonucu biyokimyasal olaylar sonlanır.
- Sıcaklığın yükselmesi ile klorofil degradasyonu olarak feofitin ve feoforbide dönüşerek siyah çayın renginin oluşumuna katkıda bulunur.
- Sıcaklığın yükselmesi ile proteinler ve polifenoller kompleks kimyasal yapılar oluşturur ve bu reaksiyon çaydaki burukluk düzeyini azaltır.
- Yine yüksek sıcaklıkta karbonhidratlar ve amino asitler arasında oluşan kimyasal reaksiyonlar aroma bileşenlerinin oluşumunu sağlar [10].

1.2.2.5. Çayın Tasnif Edilmesi ve Derecelendirilmesi

Fırın çıkışı çaylar, homojen değildirler. Değişik tanecik büyüklüğüne ve yoğunluğuna sahiptirler. Bunların belli şekilde tasnifi ve standardizasyonu gereklidir. Bu amaçla fırın çıkışı çaylar tasnife tabi tutulur [11].

Çaylar tasnif sisteminden geçirilerek belli nevilere ayrılır ve tasnifte elenmeyen kaba çaylar kırıcılardan geçirilip kırılarak tekrar aynı tasnif sisteminden geçirilir. Bu işlem sonucunda tanecik büyüklükleri aynı fakat kalitesi daha düşük ikinci bir seri daha elde edilir [11].

Fırın çıkışı çaylar önce midilton eleklerinden, daha sonra ise pakka eleklerinden elenip en iyi kalitedeki belli sınıf çaylar elde edilir. Kalan kaba çaylar ise kırıcılardan geçirilerek tekrar aynı tasnif işlemine tabi tutulur [11].

1.2.2.6. Çay Parçacıklarının Ayrılması

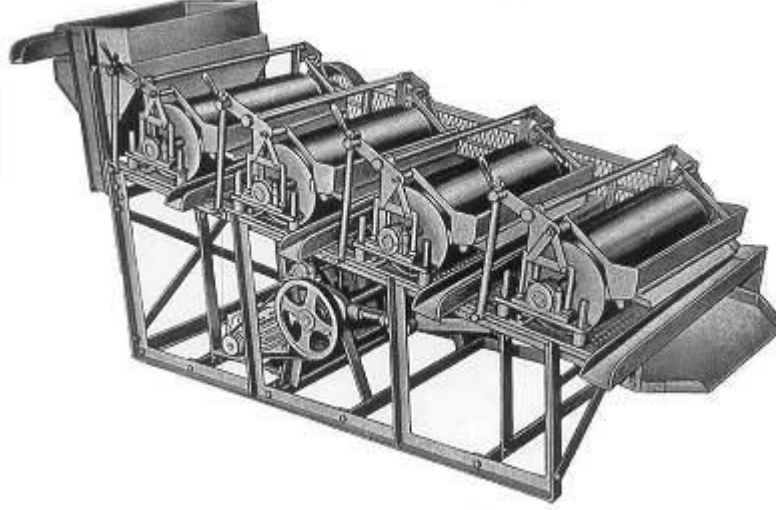
Değişik derecelerdeki çaylar, özellikle sap ve lif parçacıklarından oluşan miktarları farklı parçacıkları içerirler. Kırmızı sap ve liflerin çayın içerisinde bulunması istenmez. Usulüne ve standardına uygun şekilde toplanan yeşil çay yapraklarından yapılan çaylarda sap ve lif parçacıkları miktarca azdır. Kaba ve kart çay yapraklarından işlenen çayın sap ve lif kapsamı yüksektir [1].

Kırmızı sap ve lifler, değişik yöntemler uygulanmak suretiyle çaydan ayrılır. Başlangıçta uzun yıllar elle yapılan bu iş, sonraları **elek tipi** ya da **elektrostatik** çöp ayırıcılar kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Elek tipi sap ve lif ayırma makinesi, yatay ve iki katlı elek tablasından oluşmuştur. Bir krank aracılığıyla ileri - geri titreşim yapan bu ayırıcıda elek yüzeylerinde dış bükey bombeler basılmış ve bombe tepesine yuvarlak delik açılmıştır [1].

Kırma makinesinden geçirilen çay, sap ve lif ayırıcının üst eleğine verilir. Ayırma makinesindeki titreşimle elek yüzeyinde kayan çay parçacıkları bombenin deliğinden aşağı düşerek sap, çöp ve liflerden ayrılır [1].

Elektrostatik ayırıcıların çalışma ilkeleri diğer ayırıcılardan tamamen farklıdır. Bu aletlerde ayırma işi yaprak ve sapların elektrostatik farklılıklarına dayanılarak yapılır. Son yıllarda elektrostatik ayırıcılar çay fabrikalarında derecelendirme odalarının vazgeçilmez bir demirbaşı olmuştur. Çünkü bu aletler sayesinde iyi ve temiz görünümlü çay elde

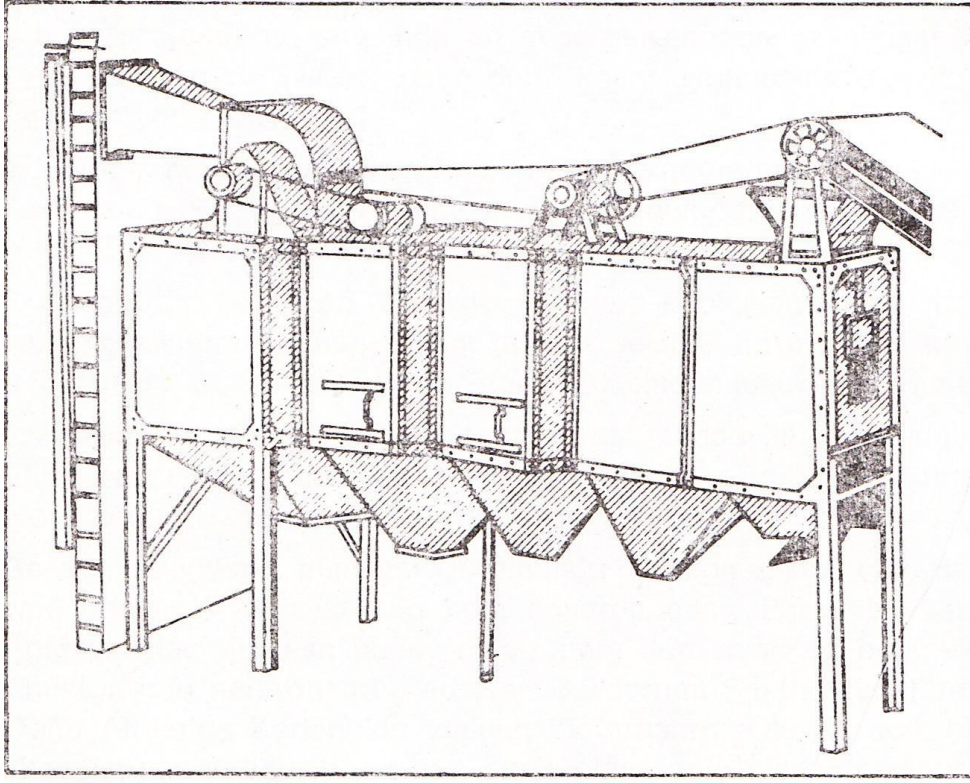
edilmesi mümkün olabilmiştir. Çayın statik elektrikle yükü bir valsin üzerinden geçirilmesi halinde sap, lif ve tozlar, çay yapraklarına göre daha fazla nem içerdikleri için elektriklelenerek valse yapışırlar. Kuru olan çay parçacıkları ise valse yapışmadıklarından kolayca ayrılırlar (Şekil 14) [1].



Şekil 14. Lif alıcı makine [11]

Çaylar fırından çıkarıldıktan sonra elektrostatik ayırıcıdan geçirilebileceği gibi paketlemeden önce ya da başka uygun bir zamanda da geçirilerek sap, lif ve tozlar çaydan ayrılır. Ancak iletkenliğin giderek azalması nedeniyle fırından çıkarıldıktan sonra soğutulan çayın, 24 saat içerisinde elektrostatik ayırıcıdan geçirilmesi yeğlenmelidir [1].

Çay içerisinde bulunan toz, yaprak tüyleri ve küçük liflerin hava akımı ile savrulurarak uzaklaştırılmasında savurma makinesi (Winnower) kullanılır. Savurma makinesi içerisinde oluşturulan hava akımına çayın tabi tutulması sonucu ağır olan çay parçacıkları alta çöker. (Şekil 15) Hafif olan toz, yaprak tüyleri ve küçük lifler çökme fırsatı bulmadan vantilatörle emilir ve dışarı atılır [1].



Şekil 15. Çay içerisinde bulunan, toz, yaprak tüyleri ve küçük liflerin hava akımı ile ayrılmasını sağlayan savurma makinesinin şematik görünümü[11]

1.2.2.7. Çayın Depolanması

Çayın raf ömrü, çayın cinsine ve depolama koşullarına göre değişir. Örneğin siyah çayın yeşil çaya göre daha uzun ömrü vardır. Bazı çiçek çayları bir ay içinde bozulma gösterebilir. Pu-erh çayı yıllandıkça kalitesini artırır. Yeşil çay tazeliğini bir sene içerisinde kaybeder. Çay; kuru, ılık, karanlık ve havalandırması iyi olan yerde tazeliğini korur. İçi parlak metalle kaplı çay poşetlerinde siyah çay iki yıla kadar durabilir. Depoda saklanan çayın nem miktarı üzerinde etki yapan etmenlerden bazıları şunlardır [1,2].

- Çayın depoya konduğu andaki nem kapsamı
- Deponun açılma sayısı
- Depo büyüklüğü ve miktarı
- Depoya konulan çayın küçük ve büyük parçacıklı olması
- Deponun inşa biçimi ve yalıtım durumu
- Çayın depoda bulundurulduğu süre ile paketlenme anında genel havalandırma koşulları [1,2]

1.2.2.8. Çayın Paketlenmesi

Öncelikle değişik dereceli çayların belli oranları isteğe uygun harman edilir. Nem oranları farklı olduğu için paketleme öncesi çayların nem kapsamlarının bilinmesinde zorunluluk vardır [1,2].

Nem kapsamı normalin üzerinde ise, çay son kurutmaya tabi tutulur. Bu işlem çaya hiçbir özellik kazandırmaz. Ancak yüksek nem nedeniyle çayda başlamış bulunan özellik kaybolmasını yavaşlatır veya durdurur. Bu yüzden son kurutma çayda bulunan özelliklerin korunması yönünden koruyucu bir önlemdir. Fırın sıcaklığının yükseltilmesi ve fırında kalış süresinin uzun olması sakıncalıdır. Çayın özelliklerini bozmayacak şekilde paketleme yapılması önemlidir [1,2].

ay genellikle paketleme makinelerinde bazen de elle paketlenir. Metal parçacıkların karışmasını önlemek için paketleme makinelerinde mıknatıs düzeneği vardır [1,2].

ay paketlerinin içine nem geçirmeyen ve kokusu çaya bulaşmayan ince bir örtü yerleştirilmelidir. Paketleme malzemesi kuru ve taşımaya dayanıklı olmalıdır. Önceden kurşun folyoları ince ambalaj kâğıtları ile kullanılırdı. Bu arada kauçuktan üretilen pliofilm ile öteki plastik malzemeler kullanılmıştır. Yapılan araştırmalar pliofilmin, alüminyum kadar etkili olduğu ve çaya etki yapmadığı göstermiştir. Kolay yırtılır olması ise pliofilmin dezavantajıdır [1,2].

Plastik malzemelerin ayı uzun süre saklama özelliği olmadığı için koku, aroma gibi özelliklerini olumsuz yönde etkiler. Bu yüzden plastik malzemelerin kullanımı istenmez.

Günümüzde ayın bir yerden bir yere gönderilmesinde içleri alüminyum folyolarla kaplanmış kutular yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu malzemelerin avantajları, taşımada dayanıklı olması ve az yer kaplamasıdır [1,2].

2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

2.1. Endüstriyel Helezon Çay Kurutma Makinesi

2.1.1. Endüstriyel Helezon Çay Kurutma Makinesinin Çalışma Prensibi

Günümüz çay kurutma teknolojilerinde çayın kalitesi ve üretim miktarının dengesini optimum düzeye getirebilmek için çeşitli araştırmalar yapılmaktadır. Klasik çay kurutma yönteminde okside olmuş çay yapraklarına yüksek derecede sıcak hava üflenerek yaprağın içindeki suyun buharlaştırılarak kuruması sağlanmaktadır. Fakat bu yöntemde ısıtılan hava bacadan atıldığından harcanan enerjinin önemli bir kısmı kaybedilmektedir. Aynı zamanda dışarı atılan hava ile küçük çay partikülleri bacadan atılarak ürün kaybına neden olmaktadır. Bu olumsuzlukları giderebilen helezon çay kurutma makinesi prensibi Şekil 16'da verilmektedir [13].

Oksidasyon işleminden çıkan kıvrılmış ve okside olmuş çay yaprakları bir bant vasıtasıyla helezon çay kurutma makinesi haznesine dökülür. Elektrik motoru tarafından tahrik edilen helisel kanatlı boru çayı ileri doğru karıştırarak iter. Bu arada sıcaklığı yüksek olan helezon boru ve su ceketini çaya ısı transferi ile çayın içindeki suyu buharlaştırır. Ayrıca çayı kurutmak için gerekli olan nem oranı düşük hava, bir fan yardımıyla davlumbazlardan helezon üzerine gönderilir. Davlumbazların içine yerleştirilen hava yönlendiricileri ile hava çayın üzerine iletilir. Nemli hava davlumbaz arkasındaki kapaklardan dışarı atılır. İlk makineden çıkan çay ikinciye, ikinciden çıkan çay üçüncüye dökülür. Üçüncü makineden çıkan kurumuş çay tasnif işlemine gönderilir. Fabrikada kurulan sistemin resmi Şekil 19'da gösterilmektedir.

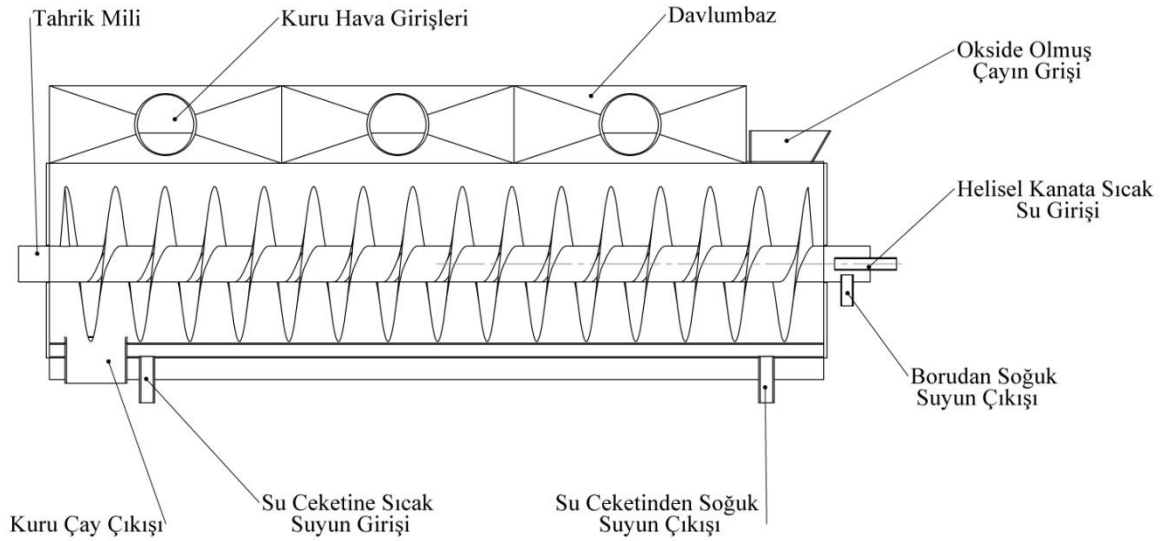
Helezon çay kurutma makinesinin çalışma prensibi diğer klasik kurutma fırınlarından farklıdır. Bu sistemde, sıcak metal ceket içinde ileri doğru itilip ve ceket içinde karıştırılan çayın içerdiği su buharlaştırılır. Çayın temas ettiği tüm yüzeyler paslanmaz çelikten (AISI304) yapılmıştır. Ayrıca sıcak su kapalı bir sistemde dolaştığından kullanılmayan ısının çok büyük bir bölümü sistem içinde kalmaktadır.

Helezon çay kurutma makinesi boyutları yaklaşık olarak 6.5 m genişliği 1.35 m yüksekliği ve 1.5m derinliğe sahiptir. Solidworks 2010 ile tasarlanmış kısmi kesiti alınmış

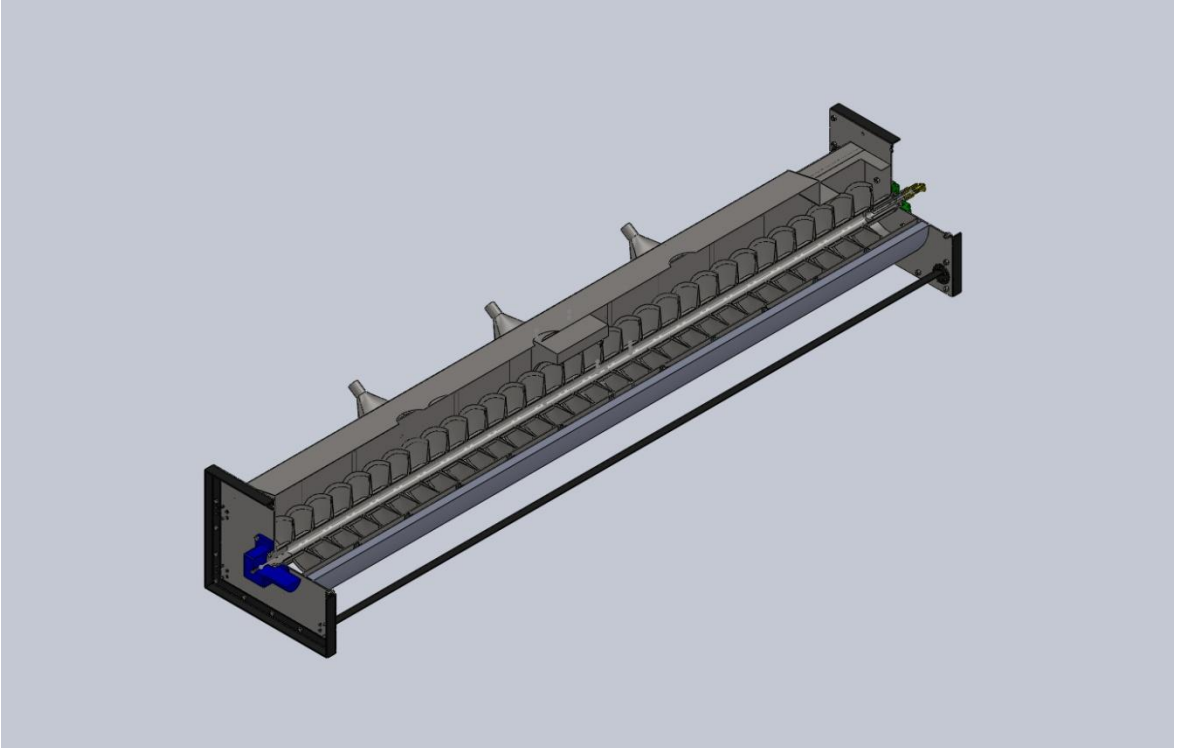
helezon çay kurutma makinesinin resmi Şekil 17’de gösterilmektedir. Şekilde görüldüğü gibi makinenin içinden helezon kanatlı boru bulunmaktadır.

Fabrikada kurulan makine tesisatının üç boyutlu çizimi Şekil 18’de görülmektedir. Burada 3 tane helezon çay kurutma makinesi üst üste koyularak sistem oluşturulmuştur. Sistemdeki su eşanjörden geçerek bir pompa ile devri daim olarak dolaştırılmaktadır. Bir buhar kazanından gelen buhar, bir eşanjör yardımıyla sistemdeki suyu ısıtmaktadır. Sistemde iki pompa kullanılmaktadır. Pompaların biri su ceketinde sıcak suyu dolaştırırken diğeri helisel kanatlar ve helezon boruda suyun dolaşımını sağlamaktadır. Çayın kuruması için gerekli olan hava, bir ısıtıcı serpantin-fan ünitesi ile sağlanıp helezon kanatlı boru ve çayın bulunduğu su ceketini üzerine gönderilmektedir.

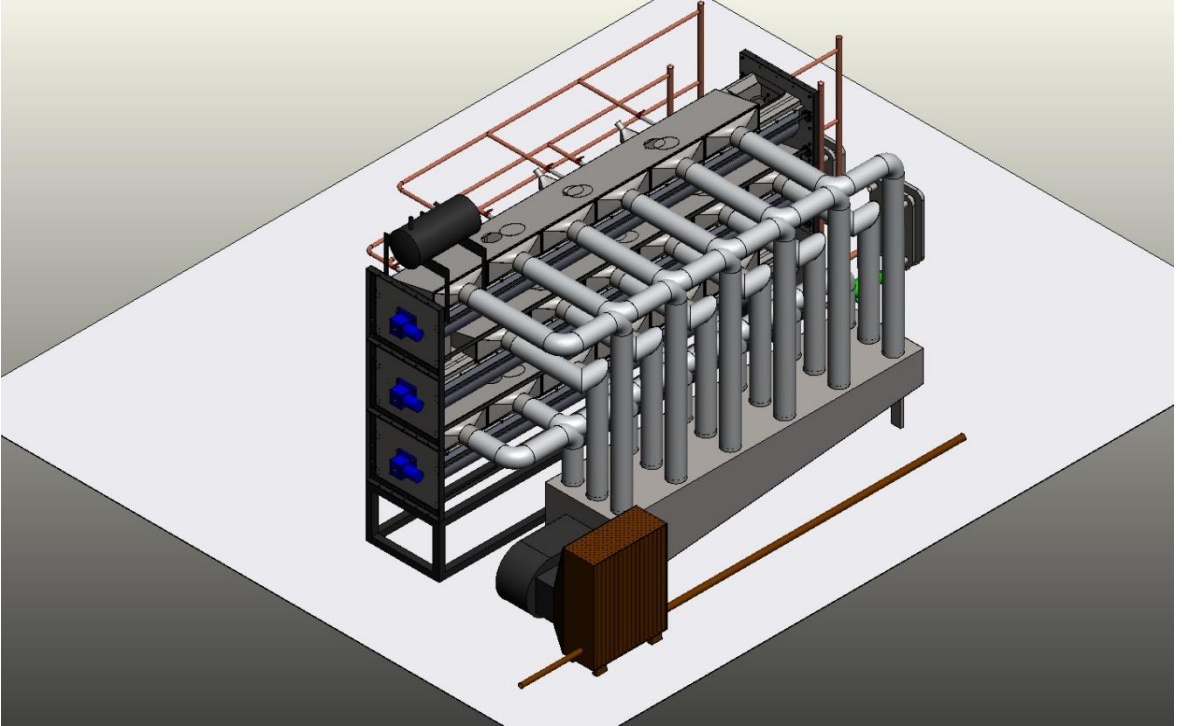
Sistemde her makinede 3 olmak üzere toplam 9 tane sıcaklık sensörü ile makinenin belirli noktalarında anlık ölçüm yapılabilmektedir. Fanın devir sayısı, pompaların kontrolü ve sıcaklık sensörlerinin gösterdiği değerlerin okunması, PLC kontrol panosundan gerçekleştirilmektedir.



Şekil 16. Helezon çay kurutma makinesinin donanımının çalışma prensibi



Şekil 17. Helezon çay kurutma makinesi kısmi kesiti



Şekil 18. Helezon çay kurutma makinesi donanımlarıyla beraber 3 boyutlu resmi

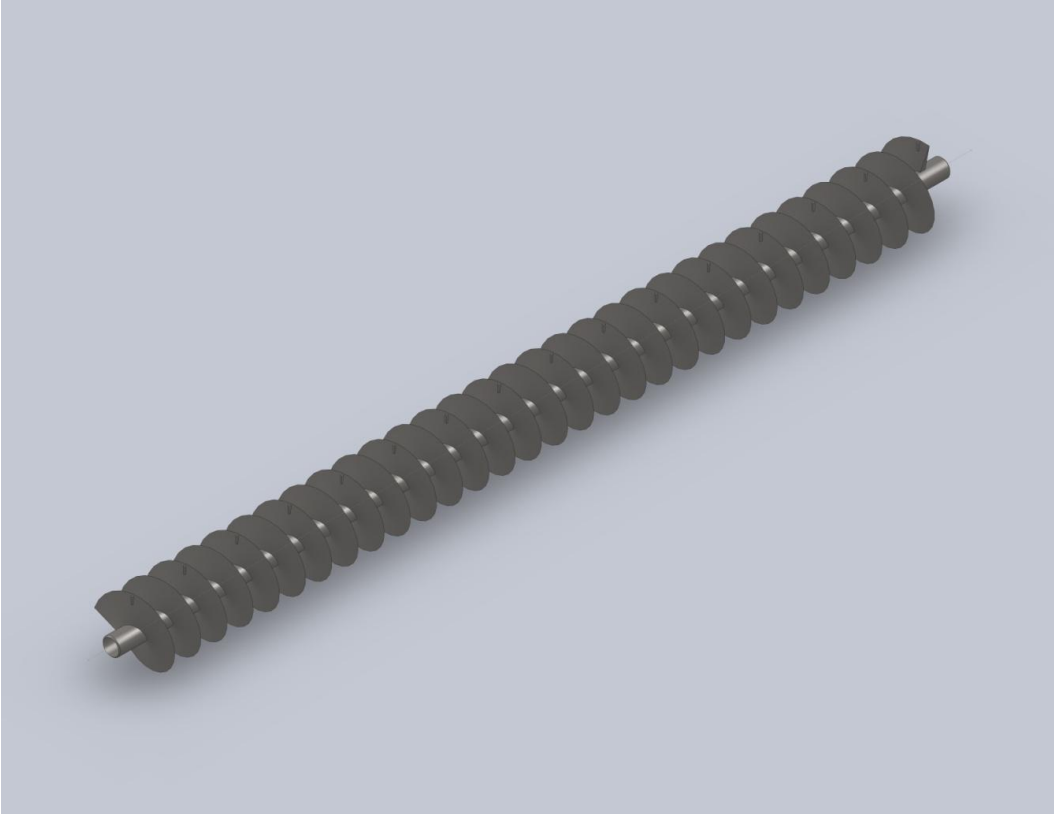


Şekil 19. Helezon çay kurutma makinesi

2.1.1.1. Helisel Kanatlı Boru ve Özellikleri

Borunun dış çapı 127 mm (5" boru), cidar kalınlığı 7 mm, boyu 6 metredir. Bu helisel kanatlı borunun içinden sıcak su geçmektedir. Sıcak su girişi sifon borusu yardımıyla helisel kanatlardan olup, dönüşü boru içerisindedir. Helisel kanatların dış çapı 50 cm'dir. Helisel kanat 30 adımdan oluşup 5.7 m boyu vardır (Şekil 20).

Helisel kanatlı boruya sıcak suyun girişi ve çıkışı aynı tarafta olup döner başlıklı bağlantı elemanı ile sağlanmıştır (Şekil 21).

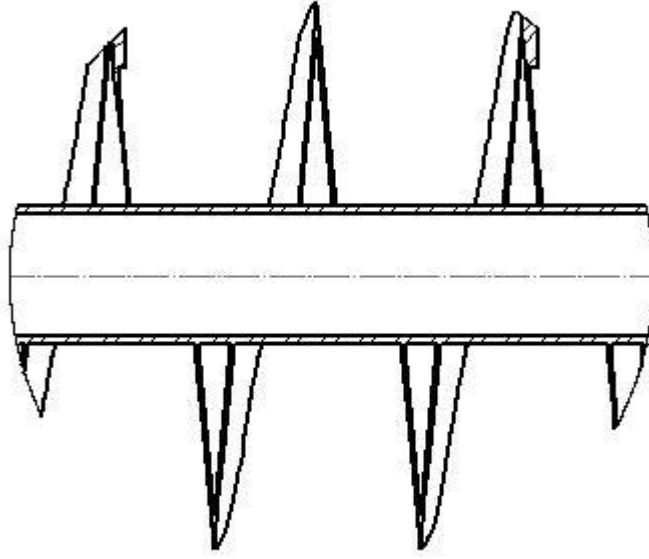


Şekil 20. Helisel kanatlı borunun 3 boyutlu resmi



Şekil 21. Döner başlıklı bağlantı elemanı

Helezon boru üç yerden yataklanmıştır. Boru, makinenin aynalarına ve borunun sehimini almak için su ceketinin ortasında bir mekanizma ile yataklanmıştır. Helisel kanatlar su ceketinin ortasındaki yatağa teflon bir bant ile desteklenmiştir. Böylece hem yatağa hem de su ceketine sürtünerek hareketini sağlamaktadır. Ayrıca bu mekanizma eğer sistemde boruda bir sebepten dolayı eğrilme veya sıkışma gibi durumlar olursa devreye girerek sistemi kapatmaktadır.



Şekil 22. Helisel kanatların profili

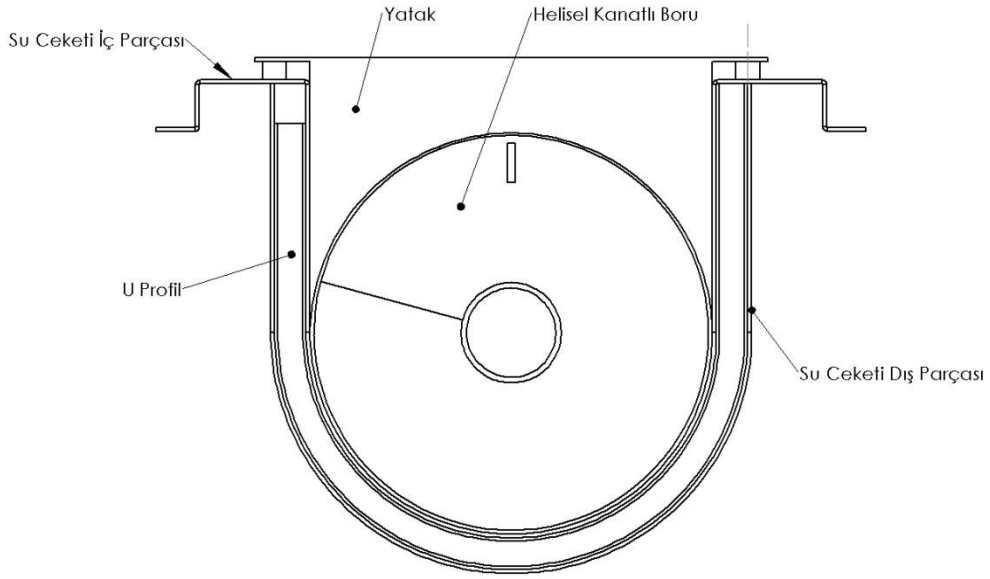
2.1.1.2. Su Ceketi Özellikleri

Su ceketi Şekil 23’de gösterildiği gibi iç ve dış ceket olmak üzere iki parçadan oluşmaktadır. Su ceketinin iç ve dış parçaları arası 40 mm olup suyun ceket aralarında homojen bir şekilde sıcaklığı düzgün dağıtması için ayrıca dış ceketin iç cekete destek olması bakımından I profiller 0.5 m arayla yerleştirilmiştir.

Su ceketi paslanmaz çelikten imal edilmiştir ve kalınlığı 5 mm’dir. Ceketler kaynak ile birleştirilmiştir. Ceketin alt yüzeylerine 10 cm kalınlığında çelik levha cıvata ile monte edilmiştir. Ayrıca bu plakanın içindeki çayla temas halinde olabilecek yüzeylere paslanmaz çelik bir levha yerleştirilmiştir.

Sistemdeki helisel kanatlı borunun yatakları ve tahrik motoru su ceketini aynalarına cıvata ile monte edilmiştir.

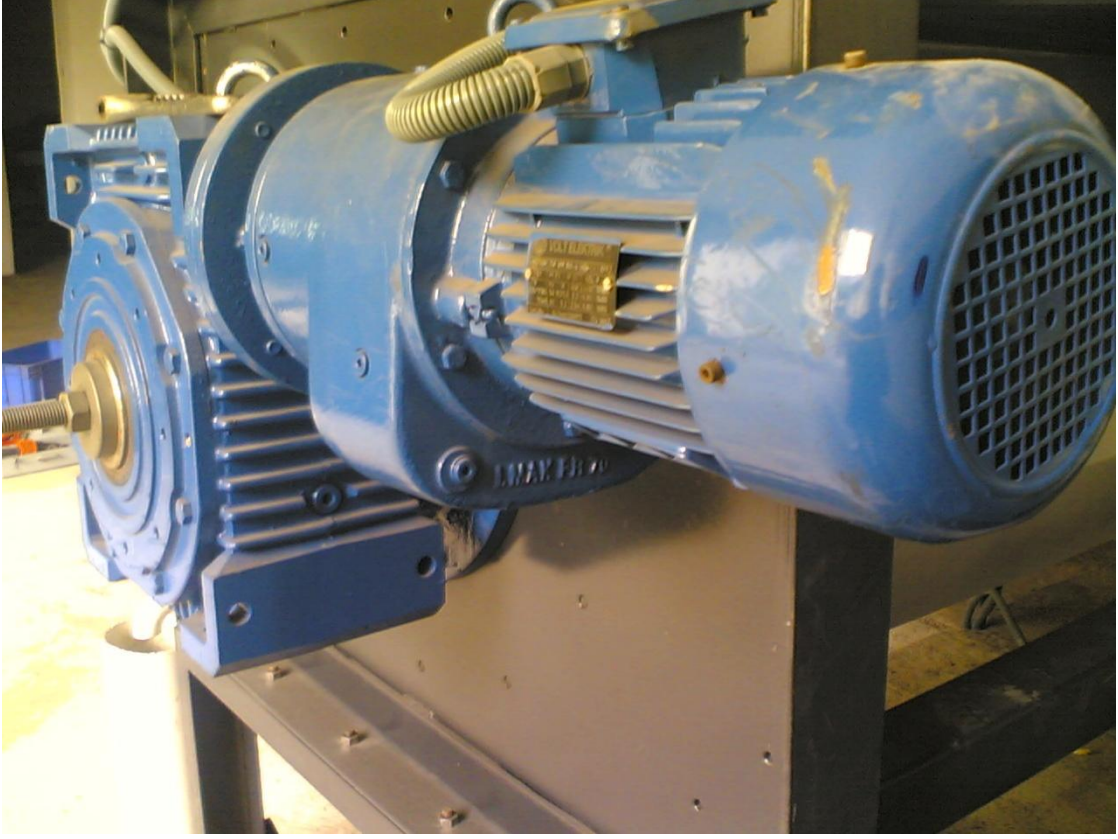
Su ceketini yüzeyinden büyük ısı kaybı olacağından su ceketinin dış yüzeyi 7 cm kalınlığında yalıtım maddesi ile yalıtılmıştır. Ayrıca su ceketinin iç ve dış parçaları arasında belirli noktalarda bir boruyla bağlantısı yapılarak termokupulların iç ceketin yüzeyine bağlanması sağlanmıştır.



Şekil 23. Su ceketini kesiti

2.1.1.3. Tahrik Sistemi

Helezon çay kurutma makinesi dakikadaki devri $n=1400$ d/dk (şekil 29) 3kW gücünde, $i=333$ çevrim oranına sahip, 4048 Nm moment verebilen sonsuz vida mekanizmalı redüktörler kullanılmıştır. Redüktörün çıkış devir sayısı $n=4$ d/dk olup elektronik bir hız kontrol mekanizması ile $n=0.45$ d/dk kadar düşürülebilmektedir.



Şekil 24. Redüktör

2.1.1.4. Hava Basma ve Emiş Sistemi

Helezon çay kurutma makinesi içinde bulunan çay atmosfere açık olmayan bir hacim içerisinde bulunduğundan çayın kuruması için sisteme ısıtılmış hava verilmektedir. Şekil 25’de görülen fan tarafından emilen hava ısıtıcı serpantin (Şekil 26) içinden geçerek önce bir depoya daha sonra esnek borular yardımıyla makine girişlerine gönderilmiştir (Şekil 27). Her makinede 6 olmak üzere toplam 18 adet hava girişini sağlayan davlumbazlar bulunmaktadır. Davlumbazların içine hava yönlendirici paneller yerleştirilmiştir. Böylece havanın çayla olan temasının daha iyi olması sağlanmıştır (Şekil 28). İçerideki nemli hava Şekil 29’da görülen çıkış kapaklardan boşalmaktadır. Isıtıcı serpantin için gerekli ısı kazandan gelen su buharından sağlamaktadır.



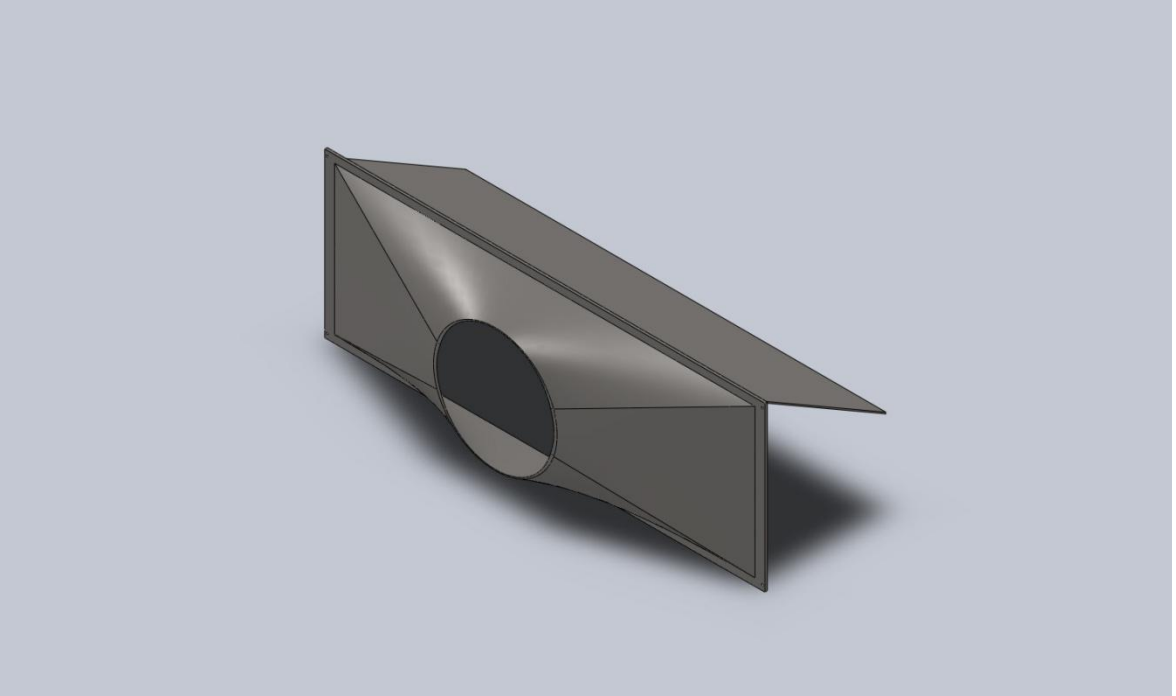
Şekil 25. Isıtıcı serpantine bağlanmış fan ünitesi



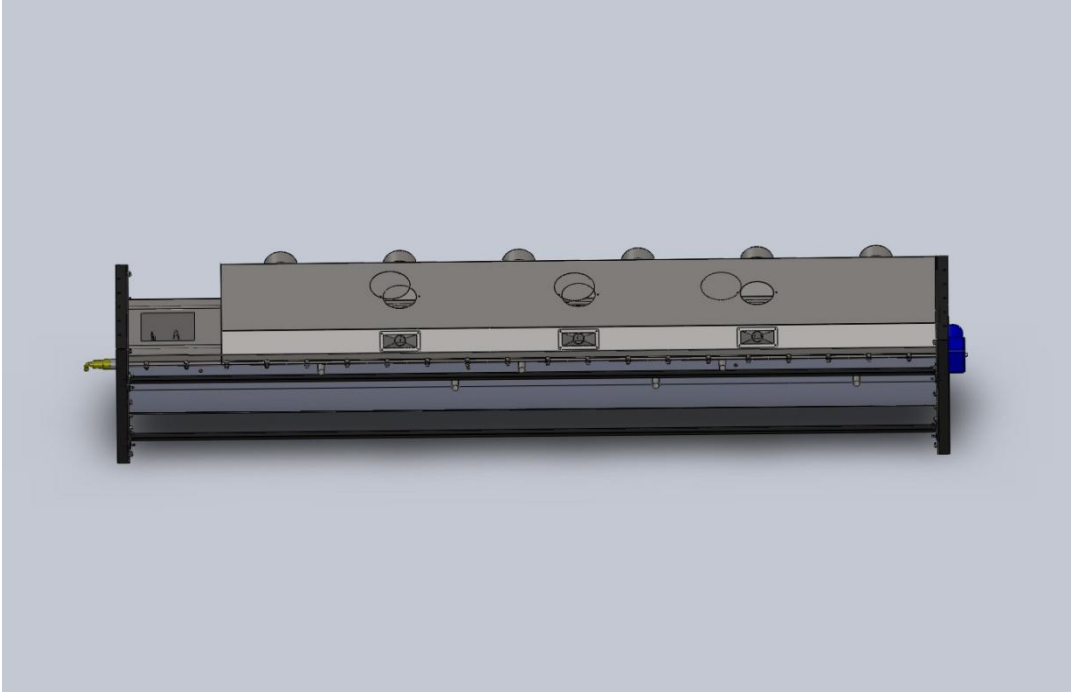
Şekil 26. Isıtıcı serpantin



Şekil 27. Esnek boruların davlumbazlara bağlantı şekli



Şekil 28. Yönlendirici kanatın 3 boyutlu resmi



Şekil 29. Davlumbaz kapakları 3 boyutta gösterimi

2.1.1.5. Isıtma Tesisatı ve Sirkülasyon Pompası

Çayın içindeki suyu buharlaştırmak için gerekli olan ısı helezon çay kurutma makinesine gönderilen sıcak su ile sağlanmaktadır. Suyun ısıtılması için çift pompa ve bu pompalara bağlı olan iki ayrı plakalı eşanjör (Şekil 30) kullanılmaktadır.



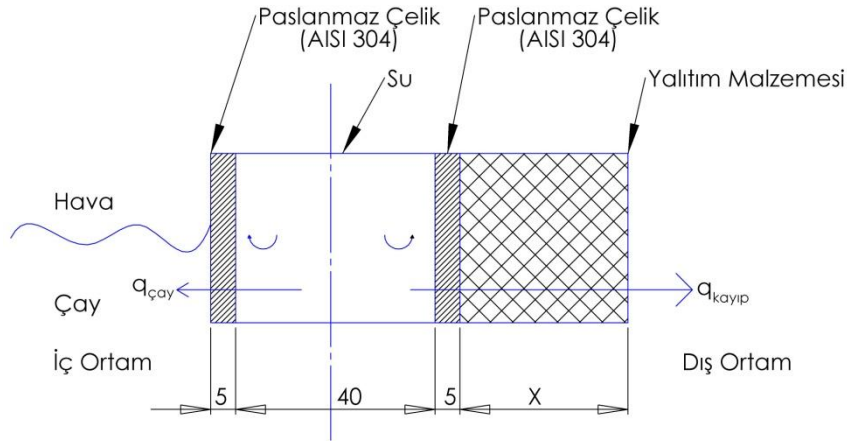
Şekil 30. Eşanjör ve Pompa Sistemi

Eşanjörler kazandan gelen buhar vasıtasıyla sistem içindeki suyun ısıtmaktadır. Pompaların özellikleri sırasıyla $P=1.5$ kW, $n=1400$ d/dk, $\dot{Q}=16\text{m}^3/\text{h}$ diğeri ise $P=11$ kW, $n=2900$ d/dk $\dot{Q}=280$ m³/h'tir. 11kW'lık pompa sıcak suyu sadece su ceketine göndermektedir. 1.5kW'lık pompa ise suyu helisel kanatlı boruya iletmektedir. Dönüş hattına bağlı olan termostatik vana ile sistemin sıcaklığı istenilen değere (50°C...100°C arası) ayarlanabilmektedir.

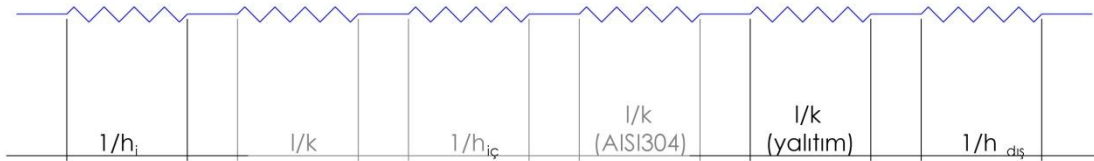
2.1.2. Sistemin Teknik Hesapları

Bu konu, başlangıçta suya verilmesi gereken ısıyı yaklaşık olarak belirlemek için yapılan hesaplamaları içermektedir.

2.1.2.1. Yalıtım Kalınlığının Hesabı



Şekil 31. Yalıtım kalınlığının hesabı için su ceketinin sembolik gösterimi



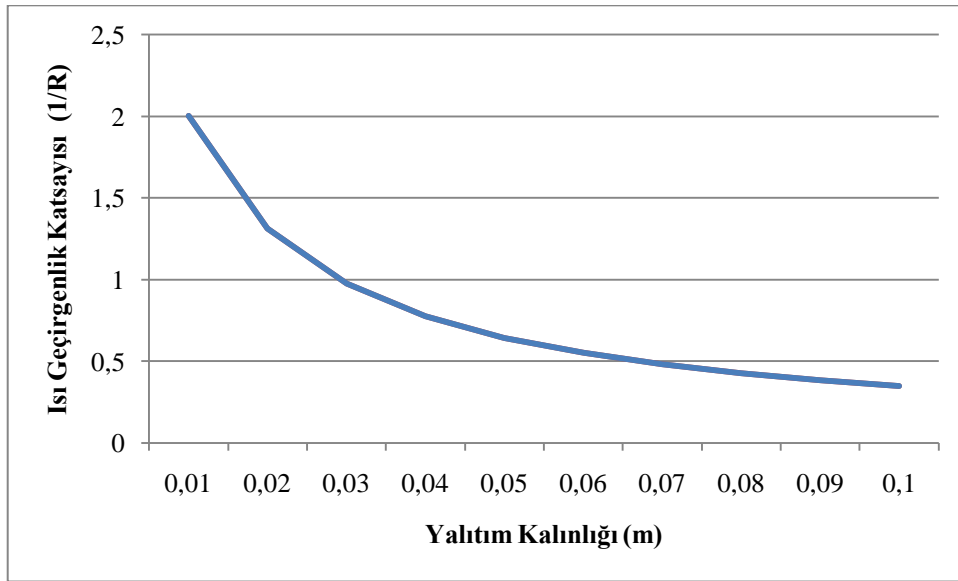
$$\frac{1}{R} = \frac{1}{\frac{1}{h} + \frac{l}{k} + \frac{1}{h} + \frac{l}{k} + \frac{1}{h}} \quad (2.1)$$

Şekil 32. Yalıtım kalınlığının hesabı için su ceketinin ısı direnç şeklinde gösterimi

Su ceketı kesıtinde dış ortam sıcaklığı 25°C, su ceketını içindeki hava ise 85 °C olarak llmüştür. Su ceketı içindeki suyun sıcaklığı sistemdeki suyun dönüş sıcaklığı olan 100 °C olarak kabul edilmiştir. Buna göre yalıtım kalınlığının hesabının yapılması için malzeme kalınlıkları, gerekli ısı iletim ve taşınım katsayıları Tablo 6'da gösterilmiştir.

Tablo 6. Yalıtım kalınlığı hesabı için gerekli değeler

	Kalınlık l, (m)	Isı İletim Katsayısı k, (W/mK)	Isı Transfer Katsayısı h, (W/m ² K)
AISI304	0.005	16	-
Su (100 °C)	0.04	0.68	4.36
Cam Yünü	X	0.038	-



Şekil 33. Yalıtım kalınlığının ısı dirence etkisi

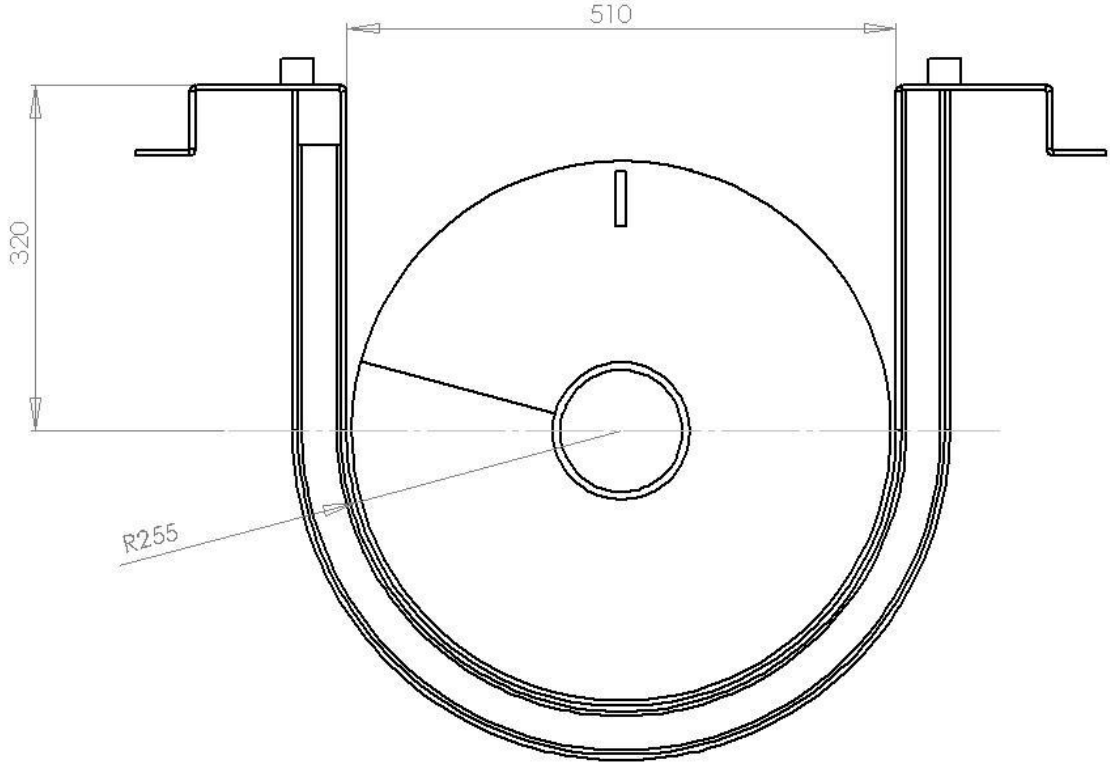
Uygun yalıtım kalınlığı ısı direnç hesaplanarak grafiği Şekil 33'de zilmüştir. Uygun kalınlık olarak 7 cm seçilmiştir.

2.1.2.2. Makineye Yüklenebilecek Çay Miktarı

- Ceketin boyu $l=6040$ mm
- Her makinenin 5.5 metresinden sonra çay bir alttaki makinenin girişine dökülür. Efektif olarak kullanılan boy 5.5 m.
- İç ceketin hacmi $V_{i,c}= 6.04 \times [(0.32 \times 0.51) + (0.255^2 \times \pi \times 0.5)] = 1.602 \text{ m}^3$
- Helisel kanatlı borunun ceket içinde kapladığı hacim (Solidworks programı yardımıyla hesaplanmıştır)
 $V_{hx} = 0.156 \text{ m}^3$
- Okside olmuş çayın yoğunluğu $\rho \approx 300 \text{ kg/m}^3$
 $m = 300 \times [(0.255^2 \times \pi \times 0.5) \times 6.04 - 0.156 \times 0.5] = 161,67 \text{ kg}$

Helezon çay kurutma makinesi içerisindeki çay miktarını hesaplarken burada helezon kanatlı borunun yarısına kadar çay ile dolu olarak göz önüne alınmıştır. (Şekil 34)

- Helezon kanatlı boru üst yüzeyine kadar dolu iken alabileceği okside olmuş çayın hacmi
 $V_{ct} = 1.602 - 0.156 = 1.446 \text{ m}^3$
- Helezon kanatlı borunun yarısına kadar dolu iken alabileceği okside olmuş çayın net hacmi
 $V_{cn} = (0.255^2 \times \pi \times 0.5) \times 5.5 - 0.156 \times 0.5 \times (5.5/6.04) = 0.491 \text{ m}^3$



Şekil 34. Su ceketi boyutları

2.1.2.3. Makineye Yüklenen Okside Olmuş Çay Miktarının Hesabı

Makinenin önerilen maksimum kapasitesi 161.7kg okside olmuş çaydır. Bir makinenin dolması için gereken süre 45 dakika olarak düşünülmüştür. Buradan çay miktarı olarak,

$$\dot{m} = 161.7\text{kg}/45\text{dak} = 0.06\text{kg/s}$$

bulunur.

2.1.2.4. Su Kapasitesi

Şekil 39'dan görüldüğü gibi su ceketinin iki parçadan oluşmaktadır. Su ceketinin iç kısmının yarıçapı 260mm ve dış kısmının yarıçapı 300mm'dir. Ceketin içinde ceket destek olması amacıyla 11 tane I profil kullanılmaktadır.

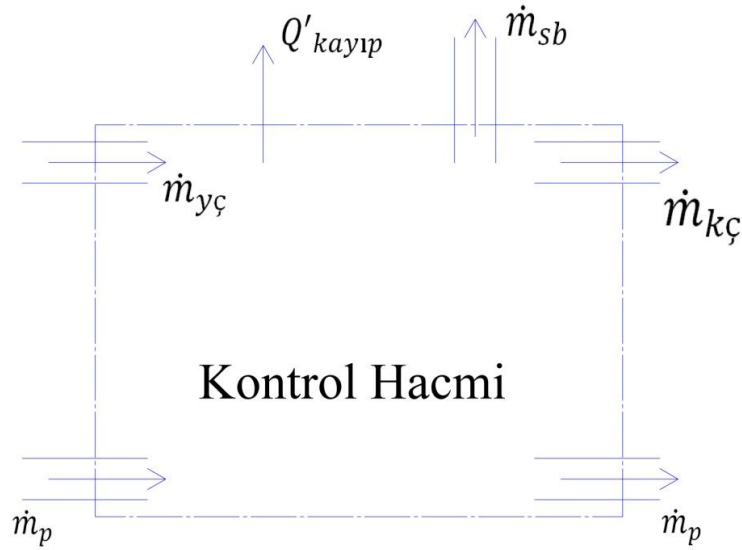
- $V_{I, \text{profil}} = 0.000653 \text{ m}^3$ (Solidworks yardımıyla)
- $V_{\text{ceket, iç}} = 2 \times 0.04 \times 0.32 \times 6.04 + (\pi \times 0.3^2 \times 0.5 - \pi \times 0.26^2 \times 0.5) \times 6.04 - 0.000653 \times 11$
 $V_{\text{ceket, iç}} = 0.36 \text{ m}^3$ (Çay boşaltım haznesinin hacmi ihmal edilmiştir)
- $V_{\text{helisel kanat}} = 0.066 \text{ m}^3$ (Solidworks yardımıyla)
- $V_{\text{helisel boru}} = 6.04 \times 0.113^2 \times \pi \times 0.25 + 0.066 = 0.1266 \text{ m}^3$
- $V_{\text{su, ceket}} = V_{\text{ceket iç}} + V_{\text{helisel boru}}$
- $V_{\text{su, ceket}} = 0.4866 \text{ m}^3$ (sadece bir helezon çay kurutma makinesi için)

2.1.2.5. Gereken Isı Miktarı

Sistem kurulurken çayı kurutmak için gereken ısı miktarının hesaplanması için şu kabuller yapılmıştır:

- Akış sürekli rejim halinde kabul edildi.
- Sistemdeki kuru hava basan fan yok kabul edildi.
- Kurutma işlemi sonucunda sistemden çıkan nemli havanın debisi, sistemden çıkan kuru çayın debisiyle orantılı olarak alındı.
- Okside olmuş çayın %60'ının su olduğu kabul edildi.
- Sıcak su giriş ve çıkış sıcaklığı sırasıyla 95°C ve 60°C kabul edildi.
- Yaş çayın giriş sıcaklığı 25°C olarak alındı.
- Emniyet katsayısı olarak 1.25 seçildi. Sistemdeki kayıplar, suyun hücre çeperinden çıkması ve buharlaşan suyun nemli hava içindeki ısı kayıpları hesaba katılmadı.
- Kuru çay için özgül ısı olarak tahtanın özgül ısısı alındı.

Hesaplarda maddelerin gereken termofiziksel özellikleri [12] nolu kaynaktan alınmıştır.



Şekil 35. Isı Gereksinimi Hesabı İçin Kontrol Hacmi

- $\dot{m}_{y\check{c}} = 0.06 \text{ kg/s}$
- $\dot{m}_{k\check{c}} = 0.024 \text{ kg/s}$
- $\dot{m}_{sb} = 0.036 \text{ kg/s}$
- $25 \text{ }^\circ\text{C}$ 'de doymuş sıvı suyun entalpisi $h_f = 104.9 \text{ kJ/kg}$
- $60 \text{ }^\circ\text{C}$ 'de doymuş sıvı suyun entalpisi $h_f = 251.13 \text{ kJ/kg}$
- $95 \text{ }^\circ\text{C}$ 'de doymuş sıvı suyun entalpisi $h_f = 397.96 \text{ kJ/kg}$
- Kuru çayın özgül ısı $c_p = 1.76 \text{ kJ/kg.K}$
- 95°C 'de doymuş su buharının entalpisi $h_g = 2668 \text{ kJ/kg}$

Sistemdeki genel enerji dengesi denklemi

$$\dot{E}_g - \dot{E}_\check{c} = \left(\frac{dE}{dt} \right)_{cv} \quad (2.2)$$

şeklinde olup sürekli rejim halinde geçerli olan $\left(\frac{dE}{dt} \right)_{cv} = 0$ bağıntısı yerine yazılarak, diğer terimler açıldığında denklem

$$(\dot{m}_{y\check{c}} h_{y\check{c}})_g + (\dot{m}_p h_{su})_g - (\dot{m}_{k\check{c}} h_{k\check{c}})_\check{c} - (\dot{m}_p h_{su})_\check{c} - (\dot{m} h_g)_{sb} - Q'_{kayıp} = 0 \quad (2.3)$$

Halini alır. Son denklemdeki $(\dot{m}_{y\zeta} h_{y\zeta})_g$ terimini hesaplamak için yaş çayın %60'ının su ve geri kalan %40'ında kuru çay karışımından oluşan bir madde olduğu kabul edilmiştir. Denklem 2.3'teki yer alan terimlerin termofiziksel özelliklerinin alındığı sıcaklık değerleri şu şekildedir:

- $(\dot{m}_{y\zeta} h_{y\zeta})_g = (\dot{m}_{su} h_{su})_g + (\dot{m}_{k\zeta} h_{k\zeta})_g$; (T = 25 °C)
- $(\dot{m}_p h_{su})_g$; (T = 95 °C)
- $(\dot{m}_{k\zeta} h_{k\zeta})_\zeta$; (T = 60 °C)
- $(\dot{m}_p h_{su})_\zeta$; (T = 60 °C)
- $(\dot{m} h_g)_{sb}$; (T = 95 °C)

Bunlara göre;

$$(\dot{m}_{su} h_{su})_g + (\dot{m}_{k\zeta} h_{k\zeta})_g + (\dot{m}_p h_{su})_g - (\dot{m}_{k\zeta} h_{k\zeta})_\zeta - (\dot{m}_p h_{su})_\zeta - (\dot{m}_{su} h_g)_{sb} - Q'_{kayıp} = 0 \quad (2.4)$$

Ortak paranteze alırsak;

$$\dot{m}_{k\zeta} (h_{k\zeta,g} - h_{k\zeta,\zeta}) + \dot{m}_{su} (h_{su,g} - h_g) + \dot{m}_p (h_{su,\zeta} - h_{su,g}) - Q'_{kayıp} = 0 \quad (2.5)$$

Ayrıca

$$- \Delta h_{k\zeta} = c_p \cdot \Delta T \quad (2.6)$$

$$- \text{Cidardan ısı kaybı } Q'_{kayıp} = k \cdot \frac{\Delta T}{x} \cdot A + \frac{2 \cdot \pi \cdot l \cdot k \cdot \Delta T}{\ln(r_2/r_1)} \quad (2.7)$$

Burada cam yünü için ısı iletim katsayısı $k=0.038 \text{ W/mK}$, cidar sıcaklığı 100°C , dış hava sıcaklığı 25°C , yalıtım kalınlığı $x=0.07 \text{ m}$, yalıtım uzunluğu $l=6 \text{ m}$ olarak alınmıştır. Buna göre;

$$Q'_{kayıp} = 0.038x \frac{100 - 25}{0.07} x 6x0.64 + \frac{2x\pi x 6x0.038x(100 - 25)}{\ln(0.375/0.305)}$$

$$Q'_{kayıp} = 676.36 \text{ W}$$

Yerine koyarsak

- $0.024x(1.76x35)+0.036x(104.9-2668)+ \dot{m}_p x(397.96-251.13)-0.676= 0$
- $\dot{m}_p = 0.634 \text{ kg/s}$
- $\dot{Q} = 2.28 \text{ m}^3/\text{h}$

Hesaplamaları yaparken yukarıda ön gördüğümüz bazı kabuller yapmıştık. Bunlardan doğabilecek olumsuzlukları göz önüne olarak $\dot{m}_p=5 \text{ m}^3/\text{saat}$ alınmıştır. Buna göre gereken ısı miktarı

Üç makine için;

$$Q'_{toplama} = 3xm_p(h_{su,g} - h_{su,\phi})$$

$$Q'_{toplama} = 526405 \text{ kCal/saat}$$

2.2. Deneylerin Yapılışı Hakkında Bilgi

Deneylerin yapılış amacı endüstriyel helezon çay kurutma makinesinin karakteristik özelliklerini belirlemek, optimum çalışma şartlarını bulmak ve makinenin performansını artırmaya yöneliktir.

Endüstriyel helezon çay kurutma makinesi deneyleri Rize'nin İyidere ilçesinde İSAR GIDA SANAYİ A.Ş. fabrikasında, makineye ayrılmış özel bir bölmede yapılmıştır. Deney ölçümleri 3. çay sezonundaki yani Eylül ayındaki toplanmış çaylarla yapılmıştır. Eylül ayındaki yeşil çaylar mineral içeriği en düşük çaylar olup deney sonunda belirlenen bazı değerlerin düşük çıkmasına sebep olmuştur.

Deney değişken ortam sıcaklığı ve nem miktarı şartlarında yapılmıştır. Deneyde fabrikanın geleneksel çay kurutma makinelerine gelen okside olmuş çay, bir bantlı konveyör ile bekletilmeden helezon çay kurutma makinesine gönderilmiştir. Helezon çay kurutma makinesi değişik devir sayılarında çalıştırılıp deney sonuçları alınmıştır. Makineyi devreye sokmak yaklaşık olarak 1.5 saat sürmektedir

Deney esnasında ortamın gerekli nem, sıcaklık değerleri CEM DT-8820 Environment Meter cihazı yardımıyla ölçülmüştür. Deneyler, makine sırasıyla 15, 30 ve 60 dakika okside olmuş çay yüklenerek ve 0.5 devirde yapılmıştır. Deney sonunda çıkan kurutulmuş çay aynı gün klasik kurutma fırınından çıkan numunelerle karşılaştırılmıştır. Rutubet oranları Presicion Xm60 nem analiz cihazıyla ölçülmüştür. Rutubet ölçümü, kurutulmuş çaydan lifler alınmış ve sadece siyah renkli kurumuş çay yaprakları koyulmuştur.

3. BULGULAR

3.1. Ölçülen Değerler

Tablo 7. Helezon çay kurutma makinesi kurutma deneyi şartları -I-

29.09.2009	
Devir Sayısı	0.5 d/dk
Ortam Sıcaklığı	18.8°C
Ortamın Nem Miktarı	%56.1
Okside Olan Çayın Dolum Süresi	15 dakika
Sistemdeki Su Basıncı	0.5-1 Bar
Sistemdeki Suyun Giriş Sıcaklığı	105°C
Sistemdeki Suyun Dönüş Sıcaklığı	95°C
Kuru Hava Fanın Çalışma Devri	5.5kw 1100 d/dk @45Hz.
Sisteme Gönderilen Kuru Havanın Yaklaşık Bağlı Nem Oranı	%16
Sisteme Gönderilen Kuru Havanın Sıcaklığı	83°C

Tablo 8. Helezon çay kurutma makinesi kurutma deneyi şartları -II-

29.09.2009	
Devir Sayısı	0.5 d/dk
Ortam Sıcaklığı	15°C
Ortamın Nem Miktarı	%56.1
Okside Olan Çayın Dolum Süresi	30 dakika
Sistemdeki Su Basıncı	0.5-1 Bar
Sistemdeki Suyun Giriş Sıcaklığı	100°C
Sistemdeki Suyun Dönüş Sıcaklığı	95°C
Kuru Hava Fanın Çalışma Devri	5.5kw 1100 d/dk @60Hz.
Sisteme Gönderilen Kuru Havanın Yaklaşık Bağlı Nem Oranı	%16
Sisteme Gönderilen Kuru Havanın Sıcaklığı	83°C

Tablo 9. Helezon çay kurutma makinesi kurutma deneyi şartları -III-

29.09.2009	
Devir Sayısı	0.5 d/dk
Ortam Sıcaklığı	14.9°C
Ortamın Nem Miktarı	%59.2
Okside Olan Çayın Dolum Süresi	60 dakika
Sistemdeki Su Basıncı	0.5-1 Bar
Sistemdeki Suyun Giriş Sıcaklığı	105°C
Sistemdeki Suyun Dönüş Sıcaklığı	100°C
Kuru Hava Fanın Çalışma Devri	5.5kw 1100d/dk @60Hz.
Sisteme Gönderilen Kuru Havanın Yaklaşık Bağlı Nem Oranı	%16
Sisteme Gönderilen Kuru Havanın Sıcaklığı	83°C

3.2. Belirlenen Değerler

Tablo 10. Deneyler Sonucunda Belirlenen Değerler

	Klasik Fırın	Helezon Çay Kurutma Makinesi
Kütlece ekstrakt oranı (%)	%31.3	%31.1
Nem oranı (%)	%2.5	%3.22
Saatte çıkan kuru çay miktarı (kg)	280	25

Tablo 10'daki değerler 2009 üretimi 2. Sürgün üretiminden alınmıştır. Klasik fırından elde edilen çay, liflerinden arındırılarak dört kademede elenmiş 2 nolu elek çayında ekstrat miktarı %31.3 bulunmuştur. Fırından alınan çayın rutubeti %2.5, miktarı 280kg/saattir.

Helezon çay kurutma makinesinden alınan çaydan elde edilen örneklerin ekstrat miktarı ise %31.1 bulunmuştur. Kuru çaydaki rutubet %3.22 olup, saate 25kg kuru çay işlenebilmektedir. Bu miktar az olup, helezon kanatlara ve boru üzerine ilave hava üfleyen elemanlar ilave edilerek yaş çayın daha etkili kuruması sağlanacaktır.

4. İRDELEME

Bu tezde helezon çay kurutma makinesinin tasarımı, imalatı ve bir çay fabrikasında kuruluşu gerçekleştirilerek deneysel çalışmaları yapılmıştır. Bölüm 2’de helezon çay kurutma makinesinin yapımı esnasında gereken hesaplar ve tasarımı belirtilmiştir.

Fabrikadaki deneysel çalışmalar temmuz ayının başından eylül ayının sonuna kadar geçen çay sezonu esnasında yapılmıştır.

Makinenin tasarım çalışmaları ve geliştirmeler, imalat aşamasında da devam etmiştir.

Helezon çay kurutma makinesi helezonunun devir sayısı $n=0.45$ d/dk, $n=0.5$ d/dk, $n=0.75$ d/dk, $n=1$ d/dk, $n=2$ d/dk, $n=3$ d/dk, $n=4.3$ d/dk ayarlanarak deneyler yapılmıştır. En ideal sonucu $n=0.5$ d/dk verdiği yapılan çalışmalar sonucunda görülmüştür.

Deneyler esnasında görülen en büyük sıkıntı okside olmuş çayın düşük devirde helezon çay kurutma makinesine dökülürken nemli olan çayın birbirine yapışmasından karışmamasıydı. Birbiri üzerine istiflenen okside olmuş çay kurutmada sıkıntı yarattığı görüldü. Helisel kanatlara kaynak yapılan $20 \times 50 \times 3$ mm boyutlarındaki paslanmaz çelik parça ile çayı karıştırma sorunu çözüldü.

Daha yüksek devirlere çıkılamamasının en büyük nedeni makine içine yeterince kuru hava girmediğindendir. Dolayısıyla çayın, kuru hava ile teması çok iyi olmadığından suyun hava içine difüzyonu iyi olamamaktadır. Bu da kapasitenin yükselmesine engel olmuştur. Bundan dolayı deneyler esnasında ısıtıcı serpantinin ısıttığı havanın nemi %60’lardan %16’lara düşürülerek makineye fan yardımıyla basılmıştır.

Bölüm 2’de bahsettiğimiz üzere, klasik çay kurutma makinesinin bir eksiği çayın içindeki kimyasal minerallerin hava ile uçup gitmesiydi. Her ne kadar deneyler esnasında sisteme kuru havada versek de, helezon çay kurutma makinesinden çıkan çayın ekstraktı aynı gün normal fırından çıkan çayın ekstratından daha yüksek olduğu görülmüştür.

Deneyler esnasında her bir makineden çıkan çayın nem ölçümleri yapıldı. İlk makine sonunda dökülen çayın nem oranı okside olmuş çayın nem oranından %3 daha az olduğu görüldü. İkinci makineden çıkışındaki çayın nem oranının okside olmuş çayın nem oranından

%20 daha az olduğu belirlendi. Üçüncü makineden çıkışındaki çayın nem oranı okside olmuş çayın nem oranından %60 daha az olduğu ortaya çıkmıştır.

5. SONUÇLAR

- Helezon ay kurutma makinesi test sonuçlarında beklenildiği gibi çay normal fırından daha yüksek ekstratlı olarak çıkmıştır.

- Okside olmuş çayın makineye dökümü esnasında az ve homojen bir Şekilde konulması, kurutmayı iyileŐtirmiŐtir.

- Test sisteminde helisel kanatlı boru $n=0.75$ devir/dakika hızdan daha yüksek hızlarda hareket ettirildiğinde kurutmaya olumsuz etki etmiştir. En ideal hız $n=0.5$ devir/dakika olduğu gözlemlenmiŐtir. Gözlemlenen bu ideal devir sayısına göre yaş çay sisteme $\dot{m}=50-60\text{kg/saat}$ debisinde dökülmelidir.

- Sistem bir kere kurulduktan sonra iş gücüne gerek yoktur.

- Yüksek verim alınabilmesi için, ilk yatırım maliyeti yüksektir.

6. ÖNERİLER

Helezon çay kurutma makinesinden çıkan çayın kimyasal analizi yapılarak mevcut sistemlerle karşılaştırılması yapılabilir.

Akışkan olarak su yerine termal yağ kullanılması ilk maliyeti artırsa da daha yüksek sıcaklıklara çıkılabileceği için kurutma işlemini iyileştirmeye yardımcı olacaktır.

Helisel kanatlı borunun tasarımında değişiklikler yapıp en ideal helisel kanatlı boru boyutları araştırılmalıdır. Daha öncede bu tezde bahsedildiği gibi daha çok adımlı helisel kanatların kurutmayı iyileştirileceği tahmin ediliyor. Ayrıca boru çapının büyümesi kurutmaya ne kadar fayda getirileceği araştırılabilir.

Oksidasyondan sonra çıkmış çayın helezon çay kurutma makinesine dökülmesi esnasındaki sorunu çözebilmek için helisel kanatlı borunun geometrisine ve hızına bağlı olarak bir mekanizma ile en ideal senkronizasyonu bir sistem ve yazılım ile sağlanmalıdır.

Özel kurutma cihazlarıyla sisteme gönderilecek havanın ideal nem oranı ayarlanıp sisteme verildiği zaman kurutmayı iyileştirecektir.

Sisteme eğer hava basılacaksa çayla havanın temasının iyi olabilmesi için helisel kanatlı boru içinden kuru hava geçirilerek sisteme hava basılabilir. Böylece çay içinden sıcak hava geçirerek kurutma daha verimli hale getirilebilir.

Helisel kanatlı borunun hatve sayısının artması çayın ceket içinde daha az istiflenmesine sebep olacağından kurutmayı iyileştirecektir.

7. KAYNAKLAR

1. Kacar, B., Çayın Biyokimyası ve İşletme Teknolojisi, D.S.İ. Basım ve Foto – Film İşletme Müdürlüğü Matbaası, Ankara, 1987.
2. Yumuk, K., Çay İşleme Teknolojisinde Helezon Kurutma Makinesinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, K.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 1997.
3. Heiss, M. ve Robert, J., The Story of Tea: A Cultural History and Drinking Guide, Berkeley Ten Speed Press, (2007) 197-198.
4. <http://wals.info>, 5 Ekim 2010.
5. <http://www.caykur.gov.tr/detay.aspx?ID=11922>, 20 Kasım 2009.
6. <http://www.caykur.gov.tr/detay.aspx?ID=11963>, 20 Kasım 2009.
7. <http://www.caykur.gov.tr/detay.aspx?ID=11947>, 6 Ekim 2009.
8. <http://www.caykur.gov.tr/detay.aspx?ID=11946>, 6 Ekim 2009.
9. <http://www.caykur.gov.tr/detay.aspx?ID=11944>, 8 Ekim 2009.
10. <http://www.caykur.gov.tr/detay.aspx?ID=11943>, 9 Ekim 2009.
11. <http://www.caykur.gov.tr/detay.aspx?ID=11942>, 11 Ekim 2009.
12. Çengel, Y. ve Boles, M., Mühendislik Yaklaşımıyla Termodinamik, İkinci Basım, McGraw- Hill Book Co., İstanbul, 1999.
13. T.C. Sanayi ve Ticaret Bakanlığı, Resmi Sınai Mülkiyet Gazetesi, Helezon Çay Kurutma Makinesi, Patent No: 235332, Uluslararası Tasnif Kodu: A24B3/02, TC Sanayi ve Ticaret Bakanlığı (281), (15.12.1990), 6.
14. Venables, M., Hulston, C., Cox, H. ve Jeukendrup, A., Green tea extract ingestion, fat oxidation, and glucose tolerance in healthy humans, Am. J. Clin. Nutr., 87,3(2007) 778–784.
15. Dulloo, A., Duret, C. ve Rohrer, D., Efficacy of A Green Tea Extract Rich In Catechin Polyphenols and Caffeine In Increasing 24-h Energy Expenditure and Fat Oxidation In Humans, Am. J. Clin. Nutr., 70,6 (1999) 1040–1045.
16. <http://www.newscientist.com/article/mg18124397.000-the-last-word.html>, 20 Ekim 2009

17. Iso, H., The Relationship between Green Tea and Total Caffeine Intake and Risk for Self-Reported Type 2 Diabetes among Japanese Adults, Annals of Internal Medicine, 144 (2006) 554–556.
18. Juneja, L., Chu, D., Okubo, T., Nagato, Y. ve Yokogoshi, H., L-Theanine - A Unique Amino Acid of Green Tea and Its Relaxation Effect In Humans, Trends in Food Science & Technology, 10,2 (1999) 199-204.
19. Kuriyama, S., Green Tea Consumption and Cognitive Function: A Cross-Sectional Study From The Tsurugaya Project The American Journal of Clinical Nutrition, 83 (2006) 355-361.
20. Roberts, E. ve Shorter, J., Escaping amyloid fate, Nature Structural & Molecular Biology, 15 (2008) 544–546.
21. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/17013636>, 5 Mart 2010.
22. <http://news.bbc.co.uk/2/hi/5405686.stm>, 5 Mart 2010.
23. Nance, C., Williamson M., McCormick, G., Paulson, S. ve Shearer, W., Epigallocatechin Gallate, Green Tea Catechin, Binds to the T Cell Receptor, Journal of Allergy and Clinical Immunology, 117, 2 (2006) 325.
24. Yamada, T., Textbook of Gastroenterology, Lippincott Williams & Wilkins, Fourth Edition, 2003.
25. Şimal, S., Deya, E., Frau, M. ve Rossello, C., Simple Modelling of Air Drying Curves of Fresh and Osmotically Pre-Dehydrated Apple Cubes, J. Food Eng., 33 (1997) 139-150.
26. Şimal, S., Rossello, C., Berna, A. ve Mulet, A., Drying of Shrinking Cylinder-Shaped Bodies, J. Food Eng., 37 (1998) 423-435.
27. Van Arsdel, W.B., Copley, M.J. ve Morgan, A.I., Food Dehydration, AVI Publishing, Co., Westport, CT,1963.
28. Roberts, J.S., Understanding The Heat and Mass Transfer of Hygroscopic Porous Materials, Doktora Tezi, The State University Of New Jersey, Food Science, New Brunswick, New Jersey,1999.
29. Saravacos, G.D. ve Charm, S.E., A Study of The Mechanism of Fruit and Vegetable Dehydration, Food Tech., 16, 1 (1962) 78-81.
30. Sherwood, T.K., The Drying of Solids-I, Ind. Eng. Chem., 21, 1 (1929) 12-16.
31. Quirijns, E.J., Boxtel, A.J.B., Loon, W.K.P ve Straten G., Sorption Isotherms, GAB Parameters and Isothermic Heat of Sorption, J. Sci. Food Agr., 85 (2005) 1805-1814.

32. Mclaughlin, C.P. ve Magee, T.R.A., The Determination of Sorption Isotherm and The Isosteric Heats of Sorption for Potatoes, J. Food Eng., 35(1998) 267-280.
33. Lewis, W. K., The Rate of Drying of Solid Materials, Journal of Industrial and Engineering Chemistry, 13, 5 (1921) 427-432.
34. Karel M., Dehydration of Foods. In: "Principles of Food Science, Part II, Physical Principles of Food Preservation." (Edited by O.R. Fennema, D.B. Lund ve M.Karel). Marcel Dekker, Inc., New York, 1975.
35. Hussain, M.M., Investigation of Heat and Moisture Transfer During Solids Drying, Yüksek Lisans Tezi, King Fahd University of Petroleum and Minerals, Dhahran, Suudi Arabia,2001.
36. Hamdami, N., Monteau, J.Y. ve Bail, A.L., Moisture Diffusivity and Water Activity of Part-Baked Bread at Above and Sub-Freezing Temperatures, Int. J. Food Sci. Tech., 41(2006) 33-44.
37. Fennema, O., Water Activity of Subfreezing Temperatures. In: "Water Activity: Influences on Food Quality." (Edited By L.B. Rockland ve G.F. Stewart), Academic Pres, New York,1981.
38. Geankoplis, C.J., Transport Processes and Unit Operations, 3rd Edition, Prentice Hail, Englwood Cliffs, NJ, London,1993.
39. Dincer, I. ve Hussain, M.M., Development of A New Biot Number and Lag Factor Correlation for Drying Applications, Int. J. Heat Mass Tran., 47(2004) 653-658.
40. Doymaz, İ., Üzüm ve Kahramanmaraş Biberinin Kuruma Karakteristiklerinin İncelenmesi, Doktora Tezi, Y.T. Ü., Fen-Bilimleri Enstitüsü, İstanbul,1998.
41. Carl, P.E. ve Hall, W., Drying and Storage of Agricultural Crops, The Avi Publishing Company, INC., Westporn, 1980.
42. Demirtaş, C., Ayhan, T. ve Kaygusuz, K., Drying Behaviour of Hazelnuts, J. Sci. Food Agr., 76 (1998) 559-564.
43. Baker, C.G.J., Industrial Drying of Foods, First edition. Blackie Academic and Professional, New York, 1997.
44. Brennan, J.G., Butters, J.R., Cowell, N.D. ve Lilly, A.E.V., Dehydration, Food Enginnering Operations, Applied Science Publishers Limited, London, 1976.
45. Kaya, A., Kurutmada Isı ve Kütle Transferinin Teorik ve Deneysel Olarak İncelenmesi, Doktora Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon, 2008.
46. <http://faostat.fao.org/DesktopDefault.aspx?PageID=567&lang=en#ancor>, 20 Ekim 2009.

8. EKLER

Ek 1: Tablo 7 için Termokupulların Çay Sisteme Girdikten Sonra Zamana Göre Okunan Değerleri

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
15.dak	100.2°C	99.5°C	96.4°C	102.9°C	102 °C	101.2°C	94.8°C	97.1°C	90.5°C
30.dak	101°C	99.6°C	97.9°C	102.5°C	101.7°C	101.5°C	94.2°C	96.7°C	90.4°C
45.dak	101.6°C	100.4°C	97.5°C	103.5°C	102. °C	101.6°C	95.8°C	97.7°C	92.4°C
60.dak	101.6°C	99.8°C	93.7°C	103.2°C	102.5°C	101.4°C	95.8°C	97.9°C	92.1°C
75.dak	99.3°C	96.2°C	93.5°C	101.5°C	106°C	101.1°C	95.1°C	98.5°C	90.6°C
90.dak	101.1°C	99.5°C	96°C	103°C	102.1°C	101.9°C	95.4°C	97.9°C	99.2°C
105.dak	99.3°C	98.3°C	95.8°C	102.1°C	101.3°C	101.2°C	95.4°C	98°C	91.1°C
120.dak	101.1°C	99.6°C	96°C	103.3°C	102.4°C	101°C	95.7°C	97.9°C	91.5°C
135.dak	100.7°C	99.6°C	98.2°C	102.2°C	101.3°C	101.2°C	93°C	96.8°C	89.5°C
150.dak	103.5°C	102.6°C	100°C	106.7°C	103.8°C	101.2°C	93.3°C	96.1°C	90°C

Ek 2: Tablo 8 için Termokupulların Çay Sisteme Girdikten Sonra Zamana Göre Okunan Değerleri

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
15.dak	85.8	80.3°C	71°C	83°C	82.9°C	83°C	83.7°C	89.3°C	78.2°C
30.dak	82.1°C	78.3°C	73°C	91.1°C	90.3°C	87.3°C	84.6°C	91.1°C	79.4°C
45.dak	96.6°C	91.1°C	85.5°C	93.3°C	87°C	84.8°C	85°C	91.7°C	81°C
60.dak	97.4°C	92.6°C	87.5°C	94.5°C	85.7°C	84.2°C	90.8°C	87.7°C	85.2°C
75.dak	98.8°C	97.3°C	85.4°C	103.6°C	101.2°C	98.2°C	91.7°C	98.7°C	82.5°C
90.dak	100.1°C	99°C	97.2°C	101.7C	109°C	104.5°C	96.9°C	102.6°C	83.3°C
105.dak	101.2°C	99.4°C	95°C	103.7°C	102.6°C	103.5°C	92.6°C	98°C	88.6°C
120.dak	100.7°C	99.6°C	98.2°C	102.2°C	101.3°C	100.8°C	93°C	96.8°C	89.5°C
135.dak	103.5°C	102.6°C	100°C	106.7°C	103.8°C	102.2°C	93.3°C	96.1°C	90°C
150.dak	102.2°C	101.5°C	99.1°C	103.6°C	102.8°C	102.9°C	94.2°C	97 °C	90.4°C

Ek 3: Tablo 9 için Termokupulların Çay Sisteme Girdikten Sonra Zamana Göre Okunan Değerleri

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
15.dak	103.5°C	102.6°C	100°C	106.7°C	103.8°C	102.2°C	93.3°C	96.1°C	90°C
30.dak	102.2°C	101.5°C	99.1°C	103.6°C	102.8°C	102.9°C	94.2°C	97 °C	90.4°C
45.dak	102.1°C	101.3°C	99°C	103.7°C	102.8°C	102.8°C	94°C	96.8°C	90.3°C
60.dak	101°C	99.6°C	97.9	102.5°C	101.7°C	101.5°C	94.2°C	96.7°C	90.4°C
75.dak	101.6°C	100.8°C	98.2°C	103.1°C	102.2°C	100.3°C	94.7°C	97.1°C	90.9°C
90.dak	101.4°C	100.3°C	98.2°C	101.3C	101.6°C	100.4°C	94.9°C	97.2°C	90.4°C
105.dak	101.1°C	99.8°C	96.5°C	103.1°C	102.2°C	101.9°C	94.8°C	97.1°C	90.9°C
120.dak	101.5°C	99.8°C	95.9°C	102.9°C	102.1°C	101.7°C	94.9°C	97.1°C	90.9°C
135.dak	102.8°C	99.6°C	95.5°C	103.6°C	102.8°C	101.9°C	95.2°C	97.3°C	91.1°C
150.dak	101°C	100°C	95°C	103°C	102.6°C	101.6°C	95.4°C	97.2°C	92°C

ÖZGEÇMİŞ

1983 yılında Trabzon'da doğdu. İlk ve orta öğretimini Trabzon'da tamamladı. 2001 yılında kazandığı Karadeniz Teknik Üniversitesi Makine Mühendisliği 2006 yılında bitirdi. Aynı yıl Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimler Enstitüsünde Makine Mühendisliği anabilim dalı Yüksek Lisans eğitimine başlamıştır. İyi derecede İngilizce bilmektedir.