

# İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ .....	v
ŞEKİL LİSTESİ .....	vi
ÇİZELGE LİSTESİ .....	vii
ÖNSÖZ .....	viii
ÖZET .....	ix
ABSTRACT .....	x
1 GİRİŞ .....	1
2 TERMODİNAMIĞIN BİRİNCİ KANUNU .....	4
2.1 Kapalı Sistemler İçin Birinci Kanun Analizi .....	4
2.2 Açık Sistemler İçin Birinci Kanun Analizi .....	5
2.2.1 Kütlenin Korunumu .....	5
2.2.2 Açık Sistemler İçin Birinci Kanunun Genel İfadesi .....	5
3 TERMODİNAMIĞIN İKİNCİ KANUNU .....	6
3.1 Termodinamiğin İkinci Kanunun Geleneksel İfade Biçimi .....	6
3.2 Tersinir ve Tersinmez Hal Değişimi .....	6
3.3 Entropi .....	7
3.4 Entropi Üretimi .....	8
3.5 Kullanılabilir Enerji .....	9
3.5.1 Kapalı Sistemlerde Kullanılabilir Enerji .....	10
3.5.2 Açık Sistemlerde Kullanılabilir Enerji .....	11
3.6 Ekserji Analizleri .....	12
3.6.1 Akışsız Sistemler .....	12
3.6.2 Akışlı Sistemler .....	16
3.7 Genelleştirilmiş Ekserji Analizleri .....	18
3.8 Ekserjinin Genel Formülünün Çıkarılması .....	20
4 BİRACILIK .....	22
4.1 Biracılık Tarihi .....	22
4.1.1 Antik Kültürlerde Bira .....	22
4.1.2 Babil'de Bira .....	22
4.1.3 Anadolu'da Bira .....	23
4.1.4 Eski Roma ve Yunanistan'da Bira .....	23
4.1.5 Avrupa'da Bira .....	23
4.1.6 Osmanlı'da Bira .....	25
4.1.7 Cumhuriyet Dönemin'de Bira .....	27

5	BİRANIN ÜRETİMİ	30
5.1	Biranın Hammaddesi .....	30
5.2	Biranın Üretim Süreci.....	32
6	BİRA ÜRETİM AŞAMALARININ TERMODİNAMİK ANALİZİ	41
6.1	Termodinamik Analiz.....	41
6.2	Biranın Üretiminin Ekserjileri .....	41
6.2.1	Pirinç Kazanı .....	43
6.2.1.1	Pirinç Kazanındaki Ekserji Analizi .....	43
6.2.1.1.1	1B Numaralı Akış.....	43
6.2.1.1.2	1C Numaralı Akış.....	44
6.2.1.1.3	1D Numaralı Akış.....	44
6.2.1.1.4	1E Numaralı Akış .....	44
6.2.1.1.5	1F Numaralı Akış .....	45
6.2.2	Mayşe Kazanı .....	45
6.2.2.1	Mayşe Kazanındaki Ekserji Analizi .....	46
6.2.2.1.1	1A Numaralı Akış.....	46
6.2.2.1.2	2 Numaralı Akış.....	46
6.2.3	Süzme Kazanı .....	47
6.2.3.1	Süzme Kazanındaki Ekserji Analizi .....	47
6.2.3.1.1	3 Numaralı Akış.....	47
6.2.4	Kaynatma Kazanı .....	48
6.2.4.1	Kaynatma Kazanındaki Ekserji Analizi .....	49
6.2.4.1.1	4 Numaralı Akış.....	49
6.2.4.1.2	5 Numaralı Akış.....	49
6.2.4.1.3	5A Numaralı Akış.....	49
6.2.5	Plakalı Soğutucu .....	50
6.2.5.1	Plakalı Soğutucudaki Ekserji Analizi .....	50
6.2.5.1.1	6 Numaralı Akış.....	50
6.2.6	Fermantasyon Tankı .....	51
6.2.6.1	Fermantasyon Tankındaki Ekserji Analizi .....	51
6.2.6.1.1	7 Numaralı Akış.....	52
6.2.7	Filtrasyon.....	52
6.2.7.1	Filtrasyonun Ekserji Analizi.....	53
6.2.7.1.1	8 Numaralı Akış.....	53
6.2.8	Kutu Dolum .....	53
6.2.8.1	Kutu Dolum Ekserji Analizi .....	54
6.2.8.1.1	9 Numaralı Akış.....	54
6.2.8.1.2	10 Numaralı Akış.....	54
6.3	Bira Üretimindeki Aşamaların Toplam Ekserjileri .....	56
6.4	Bira Üretimindeki Aşamaların Birim Saatteki Ekserjileri.....	57
6.5	Ünitelerin Elektrik Güçlerinin Ekserji Kayıpları.....	59
6.6	Bira Üretimindeki Ünitelerin Ekserji Kayıpları .....	60
6.6.1	Mayşe Kazanı .....	60
6.6.2	Pirinç Kazanı .....	61
6.6.3	Kaynatma Kazanı .....	62

7	SONUÇLAR	64
	KAYNAKLAR.....	65
	EKLER .....	66
Ek1	Kaynatma Bölümünün Yerleşim Planı .....	66
Ek2	Dinlendirme ve Fermantasyon Bölümlerinin Yerleşim Planı .....	67
	ÖZGEÇMİŞ.....	68

## SİMGE LİSTESİ

g	Yerçekimi ivmesi ( $m/sn^2$ )
m	Kütle ( kg)
v	Hız ( m/sn )
U	Sistemin iç enerjisi ( kJ)
z	Yükseklik ( m )
Q	Isı ( kJ)
W	İş ( kJ )
$c_p$	Sabit basınçta özgül ısı (kJ/kgK)
$c_v$	Sabit hacimde özgül ısı (kJ/kgK)
e	Özgül ekserji (kJ/kg)
E	Ekserji (kJ)
$E_L$	Kayıp ekserji (kW)
$E_K$	Yok edilen ekserji ( kJ)
$\Delta T$	Sıcaklık farkı ( K)
$T_0$	Çevre sıcaklığı ( 25 C)
T	Ürünün kendi sıcaklığı
S	Entropi ( kJ/kg)
$S_0$	Çevre entropisi ( kJ/kg)
$S_{\text{üretim}}$	Entropi üretimi ( kJ/kg)
t	Zaman ( s)
v	Özgül hacim ( $m^3/kg$ )
V	Hacim ( $m^3$ )
h	Entalpi ( kj/kg )
$h_0$	Çevre entalpisii ( kj/kg )
k	Akışsız durumda maddenin kullanılabilirliği
$k_a$	Akış halindeki maddenin özgül kullanılabilirliği
z	Zaman
t	Sıcaklık

## ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 3.1 Bir Gazın sanki-dengeli genişletilmesi ve sıkıştırılması.....	7
Şekil 3.2 Tersinir ve tersinmez hal değişimlerinden oluşan bir çevrim.....	8
Şekil 3.3 Akışkan olmayan sistemlerin çevre ile anlaştığı termik, mekanik denge.....	13
Şekil 3.4 Karışım akışının çevre ile termik, mekanik ve kimyasal dengede olduğu düzenli akış cihazı.....	16
Şekil 3.5 Çevre ile ısı, iş ve kütle değişimi yapan genel açık sistem.....	19
Şekil 3.6 Akışsız toplam kimyasal ve fiziksel ekserjiler arasındaki ilişki .....	19
Şekil 3.7 Akışlı toplam fiziksel ve kimyasal ekserjiler arasındaki ilişki .....	20
Şekil 5.1 Türkiyedeki bir bira fabrikasının üretim süreci.....	33
Şekil 6.1 Bira üretim prosesinin akım şeması ve akış numaraları.....	42
Şekil 6.2 Pirinç kazanı.....	43
Şekil 6.3 Mayşe kazanı.....	45
Şekil 6.4 Süzme kazanı.....	47
Şekil 6.5 Kaynatma kazanı .....	48
Şekil 6.6 Palakalı eşanjör.....	50
Şekil 6.7 Fermantasyon tankı.....	51
Şekil 6.8 Filtre bölümü.....	52
Şekil 6.9 Kutulama bölümü .....	53
Şekil 6.10 Akışların birim ekserjileri .....	55
Şekil 6.11 Akışların toplam ekserjileri.....	57
Şekil 6.12 Akışların birim saatteki ekserjileri.....	58
Şekil 6.13 Ünitelerin elektrik güçlerinin ekserj kayıpları.....	59
Şekil 6.14 Mayşe kazanı.....	60
Şekil 6.15 Pirinç kazanı.....	61
Şekil 6.16 Kaynatma kazanı.....	62
Şekil 6.17 Ünitelerin birim saatteki ekserji kayıpları .....	63

## ÇİZELGE LİSTESİ

Çizelge 5.1	Arpanın kimyasal bileşeni.....	31
Çizelge 5.2	Nişastanın kimyasal bileşeni.....	31
Çizelge 5.3	Elfüzyon metodunun kaynama diyagramı.....	35
Çizelge 6.1	Akışların birim ekserjileri.....	55
Çizelge 6.2	Akışların toplam ekserjieri .....	56
Çizelge 6.3	Akışların birim saatteki ekserjileri.....	58
Çizelge 6.4	Ünitelerin elektrik güçlerinin ekserji kayıpları .....	59
Çizelge 6.5	Ünitelerin birim saatteki ekserji kayıpları .....	63

## ÖNSÖZ

Dünyamızda enerji kaynaklarının tükenmesi giderek daha geniş çevrelerce enerji tasarrufunun öneminin benimsenmesine neden olmaktadır. Bu düşünce bilimsel platformlarda da konuşulmakta ve var olan enerjinin nasıl daha verimli kullanılabilceği ile ilgili çalışmaların yapılmasını sağlamaktadır.

Enerjinin bir türden diğeri bir türe dönüştürülmesi için termodinamikten yararlanılır. Termodinamiğin birinci yasası enerjinin niceliği ile, ikinci yasası ise enerjinin niteliği ile ilgilidir. Termodinamik tasarım yapılırken en çok ikinci yasa kullanılmaktadır.

Enerjinin termodinamik sistemlerde verimli kullanılması için yararlanılan araçlardan biri de kullanılabilir enerji analizi yani ekserji analizidir. Bu çalışmada bira üretim tesisisi için ekserji analizinin nasıl uygulanabileceğinin açıklaması amaçlanmıştır.

Bu çalışma sırasında desteği ve yönlendirmeleri ile bana yardımcı olan Sayın Hocam Prof. Dr. Galip TEMİR 'e, yardımlarını esirgemeyen Efes Pilsen Fabrikası Teknik Müdürü Sayın Erkan AKÇAKAYA 'ya ve benden yardımlarını esirgemeyerek sorularına anlayışla cevap veren tüm Efes Pilsen İstanbul Fabrikası çalışanlarına teşekkürü bir borç bilirim.

# BİRA ÜRETİMİNDEKİ EKSERJİ KAYIPLARININ ANALİZİ

Cemal Ahmet AKÇAKAYA  
Makine Mühendisliği, Yüksek Lisans Tezi

Bira üretimindeki ekserji kayıplarını irdeleyen bu çalışmada termodinamiğin 1. ve 2. yasalarının birleştirildiği bir yöntem kullanılmıştır kaynatma, süzme, fermantasyon filtreleme ve kutulama prosesleri için ayrı ayrı analizler yapılmış ve bunların sonuçları yorumlanmıştır.

Ekserji analizinde, kaynatma, filtreleme, fermantasyon prosesinde her ünite için ayrı ayrı hesaplama yapılmaktadır. Öncelikle sistemlerdeki birim ekserji, daha sonra toplam ekserji ve en son olarak ta birim saatteki ekserji kaybı hesaplanmıştır. Bu noktalardaki giriş ve çıkış ekserji ileri hesaplanıp çizelgeler halinde sunulmuştur.

Bu çalışmada ekserji analizinin bir sistem üzerinde uygulanması irdelenmiştir. Burada amaç enerjinin maksimum kullanımını sağlayabilmektir. İyileştirmenin nasıl yapılacağı yorumlamak için ekserji kayıplarını incelemek gerekmektedir. Burada göz ardı edilmemesi gereken bir diğer husus enerjiyi maksimum kullanmak için seçilen ekipmanların ömrünün uzun süreli olmasının gerekliliğidir.

**Anahtar Kelimeler:** Ekserji analizi, ikinci kanun analizi, termoekonomik analiz, bira üretimi

JÜRİ :

1. Prof. Dr. Galip TEMİR
2. Prof. Dr. Esen BOLAT
3. Prof. Dr. Olcay KINCA

Kabul Tarihi : 23.02.2009

Sayfa Sayısı : 78

# BİRA ÜRETİMİNDEKİ EKSERJİ KAYIPLARININ ANALİZİ

Cemal Ahmet AKÇAKAYA

Makine Mühendisliği, Yüksek Lisans Tezi

A method combining 1. and 2. laws of thermodynamics was used for this study which examines the economic analysis of the beer production process. Separate analyses were performed for brewing and fermentation processes.

In the exergy analysis separate calculations for each unit were performed for brewing and fermentation processes. Moreover input and output exergies were calculated and presented in the forms of tables. Firstly exergy per unit then total exergy and finally exergy loss per unit hour was calculated.

The objective was to ensure maximum utilization of energy. Exergy losses should be examined in order to interpret how the improvement can be made. Another point that should not be disregarded is the necessity of long life equipments selecting for the maximum utilization of energy.

**Keywords:** Exergy analysis, second law analysis, thermoeconomic analysis, beer production

JÜRİ :

1. Prof. Dr. Galip TEMİR
2. Prof. Dr. Esen BOLAT
3. Prof. Dr. Olcay KINCAI

Kabul Tarihi : 23.02.2009

Sayfa Sayısı : 78

## 1. GİRİŞ

Termodinamiğin birinci kanunu enerjinin niceliği ile ilgilidir ve bir sisteme giren, üretilen, çıkan ve depo edilen enerji miktarlarının toplamının sıfır olduğunu ifade eder. Birinci kanun enerjinin niteliği ile ilgili herhangi bir değerlendirme yapmaz.

Termodinamiğin ikinci kanunu ise enerjinin niteliği ile ilgilidir ve enerjinin niteliği ile ilgili değerlendirmelerin yapılmasını mümkün kılan araçları içerir. İkinci kanun, enerjinin bir şekilden diğer bir şekle dönüşümü sonucunda toplam miktarında değişiklik olmasa bile niteliğinde değişikliklerin olacağını ifade eder. Örneğin, ısının tamamının dönen mil işine dönüştürülmesinin mümkün olmayacağını; ısının bir kısmı dönen mil işine dönüşürken kalan kısmın daha düşük sıcaklıktaki bir ortama verilmesi gerektiği, termodinamiğin ikinci kanununun bir sonucudur. Ayrıca, ısının düşük sıcaklıktaki bir ortamdan yüksek sıcaklıktaki bir ortama dışarıdan herhangi bir iş etkisi almadan aktarılmasının imkansız olması; yine termodinamiğin ikinci kanununun bir sonucudur.

Termodinamiğin ikinci kanununa göre ısının işe dönüştürülmesi için kullanılacak çevrimler arasında dönüştürme verimi en yüksek olan çevrim Carnot çevrimidir. Carnot çevrimi ısının yüksek sıcaklıktaki bir ortamdan düşük sıcaklıktaki bir ortama geçmesini sağlayarak iş üretir. Carnot çevrimi tersinir bir çevrimdir, dolayısıyla tersine çalışması da mümkündür. Carnot çevrimi tersine çalıştırılırsa, dışarıdan iş alarak ısının düşük sıcaklıktaki bir ortamdan yüksek sıcaklıktaki bir ortama geçmesini sağlar. Tersine çalışan Carnot çevrimine "Ters Carnot Çevrimi" veya "İdeal Soğutma Çevrimi" adı verilir.

Carnot çevriminde olduğu gibi verimi en yüksek soğutma çevrimi Ters Carnot çevrimidir ve Ters Carnot çevriminin de pratikte uygulanması çok zordur ve ekonomik değildir. Bu nedenle Ters Carnot çevrimi soğutma çevrimlerinin karşılaştırılmasında bir referans olarak kullanılır.

Termodinamik sistemlerin analizinde sadece birinci kanun analizi ile elde edilecek sonuçların değerlendirilmesi bazı hatalara neden olabilir. Bu nedenle birinci kanun analizi ile birlikte ikinci kanun analizinin yapılması daha doğru sonuçlar verecektir.

İkinci kanun analizi entropiye dayalı (entropi analizi) veya kullanılabilir enerjiye dayalı (kullanılabilir enerji analizi) olabilir. Entropi analizinde, entropi değişimi ve entropi üretiminin hesaplanması karmaşık işlemler gerektirebilir; ayrıca, entropi enerjinin sadece

niteliğini ve kalitesini ifade eder, miktarı hakkında bilgi içermez. Kullanılabilir enerji analizinde ise kontrol hacmi sınırı uygun seçilirse işlemler çok basitleşebilir, ayrıca kullanılabilir enerji (eksejji), enerjinin niteliği ile birlikte miktarını da belirtir.

Burada yapılan çalışma tamamen kullanılabilir enerji analizine dayandırılacak olup, bu çalışmanın kullanılabilir enerji analizinin soğutma sistemlerine uygulanması konusunda önemli bir örnek teşkil etmesi amaçlanmaktadır.

Kullanılabilir enerji analizinin temelleri on dokuzuncu yüzyılın ikinci yarısından sonra atılmaya başlanmıştır. 1871 yılında, Maxwell ilk olarak "kullanılabilir enerji" terimini kullanmıştır. 1873 yılında Gibbs, "mümkün olan en fazla net iş (dönen mil işi)" adı altında kullanılabilir enerji için analitik bir hesap yöntemi geliştirmiştir. 1875 yılında yine Maxwell, kendisinin "Theory of Heat" adlı kitabının dördüncü baskısında "mümkün olan en yüksek brüt iş" ismi ile çok basit bir analiz yapmıştır. 1889 yılında Guoy'in akış olmayan sistemlerde kullanılabilirlikle ilgili çalışmaları yayımlanmıştır. Ancak, buradaki ifadeler Gibbs'in verdiği ifadelerden daha basitti. 1989 yılında Stodola, akış olmayan bir işlemde mümkün olan en fazla brüt iş ile ilgili bir ifade vermiştir. Stodola, bu çalışmasında kayıp brüt iş potansiyeli ile entropi arasında bir ilişki olduğunu göstermiştir.

19. yüzyıldan beri kullanılabilir enerji analizi prensipleri konusunda bir çok insanın çalışmalar yapmış olmasına rağmen, kullanılabilir enerji kavramı mühendislik uygulamalarına 1920 ve 1930'larda girmiştir. 1932 yılında J. Keenan, Gibbs'in vermiş olduğu sonuçları daha basit ve daha kullanışlı kavramlarla ifade etmiş ve mümkün olan en yüksek net iş (dönen mil işi) için "kullanılabilirlik" terimini kullanmıştır. 1956 yılında Rant, Bosnjaković'in daha önce kullandığı "iş yeteneği" terimi yerine "exergy" teriminin kullanılmasını önermiştir.

Kullanılabilir enerji analizinde özellikle 1970'lerdeki petrol krizinden sonra hızlı gelişmeler olmuştur. F. Bosnjakovic, J. Keenan, Z. Rant, J. Szargut ve R. Gaggioli kullanılabilir enerji analizleri metodunun gelişmesinde önemli roller oynamışlardır.

Kullanılabilir enerji analizinin gelişmesinin özetleri 1980'lerin son yıllarında Kotas (1985) ve Szargut (1988) tarafından ortaya konulmuştur. Geçen on yıl içerisinde ASME ileri Enerji Sistemleri Bölümü üyeleri gelişmelerde ön sıralarda olmuşlardır. Konuyla ilgili olarak anahtar niteliğindeki çalışmalar, 1990'lı yıllarda Tsatsaronis ve Moran tarafından yapılmıştır. Moran, kullanılabilir enerji analizinin termodinamik sistem analizinde kullanılan temel ifadeleri belirlemiş, Tsatsaronis de kullanılabilir enerji analizi metoduna dayanan termoeconomik optimizasyonu (exergoeconomic optimization) konularında çok önemli çalışmalar yapmıştır.

1992 yılında Boehrn kullanılabilir enerji analizi yönteminin termodinamik sistem tasarımında uygulanabilirliğini göstermiştir. Kuremenos ve Tsatsaronis (1991) enerji sistemlerinin analizinde kullanılabilir enerji analizini kullanmışlardır. Stecco ve Moran (1992) kullanılabilir enerji analizi yöntemi ile Dünya enerji rezervlerinin gelecekteki durumlarını tespit etmeye çalışmışlardır. Valero ve Tsatsaronis (1992) kullanılabilir enerji analizini kullanarak enerji sistemlerinde verimlilik ve maliyet optimizasyonu ve simülasyonu konularında bir çalışma yapmışlardır. 1994 yılında M. J. Moran ve E. Sciubba, ekserji analizlerinin temel prensiplerini açıklayarak, fiziksel ve kimyasal ekserji kavramlarını tanımlamış ve bunları formüle ederek güç sistemlerine nasıl uygulanabileceğini anlatmışlardır. Bunlardan başka, A. Öztürk (1998) Clausius eşitsizliği yerine entropiden bağımsız ısının ve işin kullanılabilirliğine dayanan yeni bir eşitsizlik tanımlamıştır. Öztürk bu yeni eşitsizliğe dayanarak, entropi içermeyen bir kullanılabilir enerji dengesi ifadesi yaratmıştır .

Görüldüğü gibi kullanılabilir enerji kavramının çok eski bir tarihi olmasına rağmen, mühendislik uygulamalarında bugüne kadar çok kullanılmaması ilginçtir. Tarihsel süreç gösteriyor ki, kullanılabilir enerji analizi, enerjinin pahalı olduğu zamanlarda yapılmış, fakat ucuz ve bol olduğu zamanlarda yapılmamıştır.

## 2. TERMODİNAMİĞİN BİRİNCİ KANUNU

Termodinamiğin birinci kanunu enerjinin yoktan var edilemeyeceğini ve var olan enerjinin de yok edilemeyeceğini söyler. Yani, birinci kanun bir sistemde enerjinin bir şekilden diğerine dönüşümü ile ilgilidir. Bu dönüşümler sonucunda sistemin toplam enerjisinin değişmeyeceğini ifade eder. Termodinamiğin birinci kanununun genel ifadesi şu şekildedir:

$$Q - W = E \quad (2.1)$$

Termodinamik sistemlerin analizinde sınırları belirlemek çok önemlidir. Belirlenen sistem sınırına göre, sistem kapalı sistem veya açık sistem olarak incelenebilir. Sistem sınırlarını uygun şekilde belirlemek hesapları kolaylaştırır. Temel olarak, sistem sınırları içerisinde sistem içine veya dışına kütle aktarımı oluyorsa sistem "açık sistem" olarak, olmuyorsa sistem "kapalı sistem" olarak tanımlanır.

### 2.1 Kapalı Sistemler İçin Birinci Kanun Analizi

Verilmiş bir kapalı sistem içindeki  $m$  kütle elemanının birim kütle için toplam enerjisi,

$$e = u + \frac{v^2}{2} + gz \quad (2.2)$$

eşitliği ile verilir. Hal değişiminin başında ve sonunda sistem denge halinde olduğu için sistemin bütününe ait toplam enerji ifadesi,

$$E = U + \frac{mv^2}{2} + mgz \quad (2.3)$$

ifadesi haline alır.

Termodinamiğin birinci kanununun genel ifadesinden yola çıkarsak, 1 denge halinden 2 denge haline geçen herhangi bir kapalı sistem için bu ifade şu şekli alır :

$$\int_1^2 dQ - \int_1^2 \delta W = E_2 - E_1 \quad (2.4)$$

$$Q_{1,2} - W_{1,2} = (U_2 - U_1) + (KE_2 - KE_1) + (PE_2 - PE_1) \quad (2.5)$$

$$Q_{1,2} - W_{1,2} = U_2 - U_1 + m \frac{(v_2^2 - v_1^2)}{2} + mg(z_2 - z_1) \quad (2.6)$$

## 2.2 Açık Sistemler İçin Birinci Kanun Analizi

### 2.2.1 Kütlelerin Korunumu

Kütlelerin korunumunun açık sistemler için genel ifadesi:

$$\sum \dot{m}_g - \sum \dot{m}_\varphi = \frac{\partial m}{\partial t} \quad (2.7)$$

Şeklindedir.

Sürekli akışlı açık sistemlerde, kontrol hacmi içindeki toplam kütle zamanla değişmez ( $m_{KH} = \text{sabit}$ ). Bu durumda, kütlelerin korunumu ilkesi uyarınca kontrol hacmine giren toplam kütle, kontrol hacminden çıkan toplam kütleyle eşit olması gerekir. Bu ifade aşağıdaki gibidir:

$$\sum \dot{m}_g = \sum \dot{m}_\varphi \quad (2.8)$$

### 2.2.2 Açık Sistemler İçin Birinci Kanunun Genel İfadesi

$$\sum_{giren} \dot{m} \left( h + \frac{1}{2} v^2 + gz \right) - \sum_{çikan} \dot{m} \left( h + \frac{1}{2} v^2 + gz \right) + Q - W = \frac{\partial E}{\partial t} \quad (2.9)$$

Şeklindedir.

Sürekli akışlı açık sistemlerde, kontrol hacminin toplam enerjisi sabittir ( $E = \text{sabit}$ ). Bu, kontrol hacminin toplam enerjisinde değişim olmadığı anlamına gelir. Böylece sürekli akışlı açık sistemlerde, kontrol hacmine ısı, iş veya kütle akışı olarak giren enerjinin çıkan enerjiye eşit olması zorunludur. Buna göre sürekli akışlı açık sistemlerde termodinamiğin birinci yasası şöyle yazılır:

$$\sum \dot{m} \left( h + \frac{1}{2} v^2 + gz \right) - \sum \dot{m} \left( h + \frac{1}{2} v^2 + gz \right) + Q - W = 0 \quad (2.10)$$

$$Q - W = \sum \dot{m} \left( h + \frac{1}{2} v^2 + gz \right) - \sum \dot{m} \left( h + \frac{1}{2} v^2 + gz \right) \quad (2.11)$$

### 3. TERMODİNAMİĞİN İKİNCİ KANUNU

Termodinamiğin birinci kanunu herhangi bir hal değişiminde sistemle çevre arasındaki alınan ve verilen iş ve ısı ile iç enerjide meydana gelen değişim arasındaki bağıntıyı vermektedir. Fakat bu yasa bize tasarlanan bir hal değişiminin gerçekleşip gerçekleşmeyeceği hakkında bir bilgi vermemektedir. Oysa ki doğadaki hal değişimlerinin ve enerji dönüşümlerinin sadece belirli yönlerde kendiliğinden gerçekleşebileceğini göstermektedir. Termodinamiğin ikinci kanunu bize ısı dönüşümlerinin hangi oranda olabileceği hakkında bilgiler verir. İkinci kanuna göre ıyıı dönüştüren hiçbir güç makinasının verimi %100 olamaz, yani ısının tamamı işe çevrilemez.

#### 3.1 Termodinamiğin İkinci Kanunu'nun Geleneksel İfade Biçimleri

**Clausius İfadesi :** Isı hiç bir zaman kendiliğinden sıcaklığı düşük olan bir cisimden sıcaklığı daha yüksek olan bir cisme geçemez.

**Kelvin İfadesi :** Sürece katılan cisimlerde başkaca bir değişiklik olmaksızın bir tek ısı kaynağından ısı çekerek bunu tamamen işe dönüştüren bir makina yapma olanağı yoktur.

**Kelvin-Planck İfadesi :** Periyodik olarak çalışan ve bir tek ısı kaynağı ile ısı alışverişi yaparak sürekli olarak iş veren bir makina yapma olanağı yoktur.

Bu ifadelerin hepsi, ısının tümünün işe çevrilemeyeceğini söylemektedirler. İkinci kanun bu gerçeği dile getirirken nedenini de söyler: Doğal olan hiç bir süreç çevre ve sistemde bir etki bırakmaksızın geriye doğru işletilemez. Yani çevre ve sistemde bir etki oluşmaksızın hiç bir süreç gerçekleşmez.

#### 3.2 Tersinir ve Tersinmez Hal Değişimleri

Hal değişimleri belirli bir yönde gerçekleşmektedir. Bu hal değişimleri gerçekleştikten sonra, sistemin çevreyle aynı etkileşimleri ters yönde gerçekleştirerek yeniden ilk haline dönmesi olanaksızdır. Bu tür hal değişimlerine "tersinmez hal değişimi" denir.



**Şekil 3.1** Bir gazın sanki-dengeli genişletilmesi ve sıkıştırılması. (Çengel, 1996 )

Bir yönde gerçekleştikten sonra, çevre üzerinde hiçbir iz bırakmadan ters yönde de gerçekleşebilen hal değişimine "tersinir hal değişimi" denir (Şekil.3.1). Bir başka deyişle, ters yöndeki hal değişiminden sonra hem sistem hem de çevre ilk hallerine geri dönerler. Bu ancak, her iki yöndeki hal değişimi birlikte ele alındığı zaman, net ısı geçişi ve net iş sıfır olursa mümkündür.

Bir sistem, ister tersinir ister tersinmez olsun, bir dizi hal değişiminden geçerek yeniden ilk haline dönebilir. Vurgulanması gereken husus, çevrimin tersinir hal değişimlerinden oluşması durumunda, çevrede net bir değişimin olmamasıdır. Tersinmez hal değişimlerindeyse, çevre sistem üzerinde bir miktar net iş yapar ve bu nedene ilk haline geri dönmez.

Doğada tersinir hal değişimlerine rastlanmaz. Tersinir hal değişimleri, gerçek hal değişimlerinin kurumsal benzerleridir. Bazı gerçek hal değişimleri, tersinir hal değişimlerine yaklaşabilir, fakat hiçbir zaman tersinir olamaz. Bir başka deyişle, doğadaki tüm hal değişimleri tersinmezdir

### 3.3 Entropi

Entropi, enerjinin kalitesini, kullanılabilirliğini belirleyen bir termodinamik özelliktir. Termodinamik sistemlerin entropi değişiminin bilinmesi, sistemin entropisinin bilinmesinden daha önemli ve daha kullanışlıdır.

Bütün tersinir hal değişimleri için entropinin genel ifadesi,

$$dS = \frac{dQ}{T} \quad (3.1)$$

Sistem 1 halinden tersinir bir hal değişimi ile 2 haline gelirse,

$$S_2 - S_1 = \left[ \int_1^2 \frac{dQ}{T} \right]_{\text{tersinir}} \quad (3.2)$$

Burada,

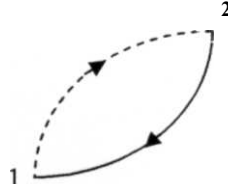
$dQ$  : Elemental ısı geçişi

$T$  : Sistemin mutlak sıcaklığı

$S_2 - S_1$  : sistemin 1 ve 2 halleri arasındaki entropi değişimi

### 3.4 Entropi Üretimi

İki hal değişiminden oluşan bir çevrimde (Şekil.3.1), 1-2 hal değişimi tersinir veya tersinmez herhangi bir hal değişimi, 2-1 hal değişimi ise tersinirdir.



**Şekil 3.2** Tersinir ve tersinmez hal değişimlerinden oluşan bir çevrim

Bu durumda (3.2) ifadesi, (3.3) haline dönüşür;

$$S_2 - S_1 \geq \int_1^2 \frac{dQ}{T} \quad (3.3)$$

(3.3) ifadesindeki eşitsizlik denklem haline getirilmelidir. Tersinmez hal değişimi sırasında bir miktar entropi üretilir veya var edilir, entropi üretimi tamamen tersinmezlikle ilgilidir. Bir hal sırasında üretilen veya var edilen entropi, "entropi üretimi" olarak adlandırılır ve  $S_{\text{üretim}}$  ile gösterilir. Bu durumda (3.3) ifadesi denklem olarak yazılabilir;

$$S_2 - S_1 = \int_1^2 \frac{dQ}{T} + S_{\text{üretim}} \quad (3.4)$$

$$S_{\text{üretim}} = (S_2 - S_1) - \int_1^2 \frac{dQ}{T} \quad (3.5)$$

Yukarıdaki ifadelerden aşağıdaki sonuçlar çıkarılabilir:

- Tersinir işlemlerde entropi üretimi sıfırdır.
- Tersinmez işlemlerde entropi üretimi sıfırdan büyüktür
- Bir işlemde entropi üretimi ne kadar büyükse, işlemin tersinmezliği o kadar fazladır
- Entropi üretimi hal değişimi sırasında izlenen yola bağlıdır ve termodinamik bir özellik değildir. Entropi değişimi ise yoldan bağımsızdır ve termodinamik bir özellik olup entropi üretimi ile karıştırılmamalıdır.
- Entropi üretimi sıfırdan küçük olamaz
- Verimi en yüksek çevrimler tersinir hal değişimlerinden oluşan çevrimlerdir. Dolayısıyla, bir çevrimin verimini yükseltmek için çevrimdeki tersinmezliklerin azaltılması, yani entropi üretiminin minimize edilmesi gereklidir.
- Termodinamiğin birinci kanunundan "enerji yok edilemez ve yoktan var edilemez" sonucu çıkarken, termodinamiğin ikinci kanunundan "entropi yoktan var edilebilir ama asla yok edilemez" sonucu çıkar.

### 3.5 Kullanılabilir Enerji

Bir sistem, içinde bulunduğu çevre ile termodinamik dengede ise çevre ile sistem arasında herhangi bir ısı ve iş etkileşimi olamaz. Bu hale "ölü hal" adı verilir. Ölü haldeki sistem iş üretemez. Ölü haldeki özellikler  $O$  (sıfır) indisi ile gösterilir ( $T_o$ ,  $P_o$ ,  $S_o$  gibi).

Bütün işlemlerin tersinir olduğu ideal hal değişimleri ile elde edilen işe tersinir iş adı verilir. Güç üretme sistemlerinde tersinir iş, bir sistemin ilk halden son hale geçerken yaptığı maksimum işler. Soğutma sistemlerinde tersinir iş ise belirli bir miktar soğutmayı yapabilmek için gerekli minimum iştir.

Bir sistemin hareketli sınır işinin bir kısmı civara karşı yapıldığından; sistemin ilk halden son hale geçerken yaptığı maksimum işten (tersinir iş), civara karşı yapılan iş çıkarılarak "maksimum faydalı iş" bulunur.

Verilen bir haldeki sistemin sadece çevresi ile etkileşimde bulunarak ölü hale geçmesi sonucu elde edilebilecek maksimum faydalı işe; sistemin kullanılabilir enerjisi, kullanılabilirliği veya ekserjisi denir. Bu durumda, faydalı işin maksimum olması için sistemdeki bütün işlemlerin tersinir olması gerektiği görülür.

Enerji ile kullanılabilir enerji (ekserji) arasında bazı farklar vardır:

- Enerji yok edilemez, kullanılabilir enerji ise yok edilebilir.
- Kullanılabilir enerji, sistemin bütün halleri için sıfırdan büyük veya sıfıra eşit olur.
- Kullanılabilir enerji, sistemin bulunduğu halin ölü hale göre sapmasını gösterir.
- Kullanılabilir enerji, sistemler arasında transfer edilebilir ve içlerindeki tersinmezliklerde yok edilebilir.

### 3.5.1 Kapalı Sistemlerde Kullanılabilir Enerji

Sadece çevresi ile ısı alışverişinde bulunan akışsız bir kapalı sistemde termodinamiğin birinci kanunu:

$$\partial Q - \partial W = dE \quad (3.6)$$

Tersinir işlemlerde

$$\partial Q = T_0 dS \quad (3.7)$$

Buradan,

$$T_0 dS - \partial W = dE \quad (3.8)$$

Sistem sadece çevre ile ısı alışverişinde bulunduğundan;

$$\partial W = T_0 dS - dE \quad (3.9)$$

Yukarıdaki ifadede verilen halden ölü hale geçişte sağlanacak maksimum tersinir işi bulmak için integral alınır, maksimum tersinir iş:

$$W_{tr,max} = (E - E_0) - T_0 (S - S_0) \quad (3.10)$$

olarak bulunur.

Sistemin çevreye karşı yaptığı iş:

$$W_{cev} = \int p dV = p_0 \int_V^{V_0} dV = p_0 (V_0 - V) \quad (3.11)$$

Çevreye karşı yapılan iş, maksimum tersinir işten çıkarılırsa, akılsız kapalı sistemlerde kullanılabilirlik;

$$K = \underbrace{(E - E_0) - T_0(S - S_0)}_{W_{ir,max}} - \underbrace{p_0(V_0 - V)}_{W_{gev}} \quad (3.12)$$

Şeklinde bulunur.

Özgül kütle kullanılabilirlik:

$$k = (e - e_0) - T_0(s - s_0) - p_0(v_0 - v) \quad (3.13)$$

olur. Burada  $e = u + \frac{V^2}{2} + gz$  'dir. Böylece (3.13) denklemi şu şekli alır:

$$k = (u - u_0) - T_0(s - s_0) - p_0(v_0 - v) + \frac{V^2}{2} + gz \quad (3.14)$$

Kullanılabilirlik, kapalı sistemler için termodinamik bir özelliktir.

Sadece çevre ile ısı alışverişinde bulunan bir kapalı sistemde iki hal arasındaki kullanılabilir enerji değişimi ise aşağıdaki ifadeden bulunur:

$$K_2 - K_1 = (E_2 - E_1) - T_0(S_2 - S_1) - p_0(V_1 - V_2) \quad (3.15)$$

### 3.5.2 Açık Sistemlerde Kullanılabilir Enerji

Akışsız durumda maddenin kullanılabilirliği (k);

$$k = (e - e_0) - T_0(s - s_0) - p_0(v_0 - v) \quad (3.16)$$

Akış halindeki maddenin özgül kullanılabilirliği ( $k_a$ );

$$k_a = k + (pv - p_0v) \quad (3.17)$$

$$k_a = (e - u_0) - T_0(s - s_0) - p_0(v_0 - v) + (pv - p_0v) \quad (3.18)$$

$$k_a = \left(u + \frac{V^2}{2} + gz - u_0\right) - T_0(s - s_0) + (pv - p_0v) \quad (3.19)$$

$h = u + pv$  ve  $h_0 = u_0 + p_0v_0$  denklemleri (3.19)'da yerine konulursa;

$$k_a = h - h_0 - T_0(s - s_0) + \frac{v^2}{2} + gz \quad (3.20)$$

Ölü halde Gibbs fonksiyonu;

$$g_0 = u_0 + P_0 v_0 - T_0 s_0 \quad (3.21)$$

Böylece;

$$k_a = h - T_0 s - g_0 + \frac{v^2}{2} + gz \quad (3.22)$$

Olur.

Açık sistemlerde iki hal arasındaki kullanılabilir enerji değişim ifadesi;

$$k_{a_1} - k_{a_2} = (h_1 - h_2) - T_0(s_1 - s_2) + \frac{v_1^2 + v_2^2}{2} + g(z_1 - z_2) \quad (3.23)$$

### 3.6 Ekserji Analizleri

#### 3.6.1 Akızsız Sistemler

$N_1, N_2, \dots, N_n$ 'e kadar  $n$  adet molün karmaşık karma yığını göz önünde bulundursun. Bu yığın karma sistem olarak ele alınacaktır. Sistemin başlangıç denge durumunda çevrenin yerini tutan yoğunluğundan farklı olarak ( $T_0, P_0, \mu_{0,1}, \mu_{0,2}, \dots, \mu_{0,n}$ ), sıcaklık ( $T$ ), basınç ( $P$ ) ve  $n$  tane kimyasal potansiyel ( $\mu_i$ ) karakterize edilir. Başka bir deyişle, bu yığın sistemi karşılıklı olarak termal, mekanik ve kimyasal dengede değildir.



çevrede yapılan iş ( $P_0 dV/dt$ ) artı kullanılabilen unsuru  $E_w$ 'yi ( ekserji olarak adlandırılır) verir.

$$N_i^{(2)} - N_i^{(1)} = \int_1^2 \dot{N}_i dt \quad (i = 1, 2, \dots, n) \quad (3.27)$$

$$U^{(2)} - U^{(1)} = Q_0 - E_w - P_0 (V^{(2)} - V^{(1)}) + \sum_{i=1}^n \bar{h}_{0,i} \int_1^2 \dot{N}_i dt \quad (3.28)$$

$$\dot{S}_{gen} = S^{(2)} - S^{(1)} - \frac{\dot{Q}_0}{T_0} - \sum_{i=1}^n \bar{s}_{0,i} \int_1^2 \dot{N}_i dt \quad (3.29)$$

$Q_0$ ' ı ihmal edip  $\int \dot{N}_i dt$  integralini çözersek;

$$E_w = U^{(1)} - T_0 S^{(1)} + P_0 V^{(1)} - \sum_{i=1}^n \mu_{0,i} N_i^{(1)} - \left[ U^{(2)} - T_0 S^{(2)} + P_0 V^{(2)} - \sum_{i=1}^n \mu_{0,i} N_i^{(2)} \right] - T_0 S_{gen} \quad (3.30)$$

Burada  $\mu_{0,i} = \bar{g}_{0,i} = \bar{h}_{0,i} - T_0 \bar{s}_{0,i}$  ' dir. Sonuç olarak,  $T_0$ ,  $P_0$  ve  $\mu_{0,i}$  gibi karışımın intensif özelliklerinin son durum halinde olduğuna dikkat edilmelidir ( Şekil 3.3). Euler eşitsizliğinden, (3.30) denkleminin parantez içindeki ifadesi sıfıra gider. Yani ;

$$\left[ U^{(2)} - T_0 S^{(2)} + P_0 V^{(2)} - \sum_{i=1}^n \mu_{0,i} N_i^{(2)} \right] = 0 \quad (3.31)$$

(3.30) denkleminin ilk dört terimi maksimum kullanılabilir işi göstermektedir. Çünkü, karışım ve çevre tersinir prosesin en sonunda dengeye gelir. Yani;

$$(E_w)_{rev} = U - T_0 S + P_0 V - \sum_{i=1}^n \mu_{0,i} N_i \quad (3.32)$$

Buradaki ( $U, S, V, N_1, N_2, \dots, N_n$ ) karışım sistemin orjinal ekstensif özellikleridir.

Kapalı sistemden alınacak maksimum iş miktarı sadece termal ve mekanik eşitlikten sağlanan akışsız ekserji ( $E$ ) kadardır.

$$E = U - U^0 - T_0 (S - S^*) + P_0 (V - V^*) \quad (3.33)$$

Bu yeni rotasyonla (\*) işaretlenen özellikler, sadece uygun çevresel değerlerle uygunluk gösteren basınç ve sıcaklığın karışım sisteminin sınırlandırılmış ölü haline benzetilir. Sınırlandırılmış ölü bölgedeki Euler teoremi;

$$U^* = T_0 S^* - P_0 V^* + \sum_{n=i}^n \mu_i^* N_i \quad (3.34)$$

Çevre termal, mekanik ve kimyasal olarak dengede olduğunda, sınırlandırılmış ölü bölgedeki kimyasal potansiyel  $\mu_i^*(T_0, P_0)$  nihai ölü bölgedeki karışıma yakın kimyasal potansiyele ( $\mu_{0,i}$ ) eşit olmak zorunda değildir. (3.32) denkleminde (3.34) denklemi çıkartılırsa;

$$(E_w)_{rev} = U - U^* - T_0(S - S^*) + P_0(V - V^*) + \sum_1^2 (\mu_i^* - \mu_{0,i}) N_i \quad (3.35)$$

veya (3.33) denklemine bakarsak;

$$(E_w)_{rev} = E + E_{ch} \quad (3.36)$$

$E_{ch}$  akışsız kimyasal ekserji olarak tanımlanır ve şu şekilde gösterilir;

$$E_{ch} = \sum_1^2 (\mu_i^* - \mu_{0,i}) N_i \quad (3.37)$$

Son prosesten önce ve sonra sabitleşmiş olan  $T_0$  ve  $P_0$ , sıcaklık ve basınç süresince akışsız sistemden alınacak maksimum iş miktarı iki bileşenden oluşur. Bunlar  $E$  ile gösterilen akışsız ekserji (sınırlanmış ölü bölgedeki) ile  $E_{ch}$  ile gösterilen kimyasal ekserjidir.

$E$ 'den  $E_{ch}$ 'i ayırırsak, orijinal sabit kütle ve sabit bileşen sistemi ( $U, S, V, N_p, N_2, \dots, N_n$ ) için akışsız termomekanik ekserji (akışsız fiziksel ekserji) olarak tanımlanır (Bejan vd., 1996; Moran., 1989; Kotas, 1995; Szargut vd., 1988). Formüle edilmiş maksimum boyutun kullanılabilir işi  $E$  olarak tanımlanan sistem ve çevre, termal ve mekanik dengeye ancak ulaşabiliyor. Bu bakış altında, denklem (3.36)'da gösterilen akışsız termomekanik ve kimyasal ekserji kısaca orijinal karışım yığınının toplam ekserjisi  $E_t$  olarak tanımlanır;

$$E_t = E + E_{ch} \quad (3.38)$$

Evans'ın ekserji ve uygunluğun geliştirilmiş kavramlarından sonra, bu eşitsizlik karışımın akışkan olmayan ekserjisi olarak tanımlanır (Evans, 1969). Sonuç olarak toplam akışkan olmayan ekserji denklem (3.32)'de tanımlanan  $(E_w)_{rev}$  'ye eşittir.

$$E_t = U - T_0 S + P_0 V - \sum_{i=1}^n \mu_{0,i} N_i \quad (3.39)$$



$$E_w = \sum_{i=1}^n [(\bar{h}_i - T_0 \dot{s}_i)_{giriş} - \mu_{0,i}] \dot{N}_{i,giriş} - \sum_{i=1}^n [(\bar{h}_i - T_0 \dot{s}_i)_{çıkış} - \mu_{0,i}] \dot{N}_{i,çıkış} - T_0 \dot{S}_{gen} \quad (3.42)$$

Çevre ile termal. Mekanik ve kimyasal dengede olan dış akış karışımı;

$$(\bar{h}_i - T_0 \dot{s}_i)_{çıkış} = \bar{g}_{0,i} = \mu_{0,i} \quad (3.43)$$

Bu da demek oluyor ki, (3.42) denklemindeki ikinci eşitlikteki bütün terimler kaybolur. Sonuç olarak, akış cihaz fonksiyonları tersinir olduğunda maksimum ekserji dağıtım oranı oluşur.

$$[\dot{E}_w]_{rev} = \bar{h} \dot{N} - T_0 \bar{s} \dot{N} - \sum_{i=1}^n \mu_{0,i} \dot{N}_{i,giriş} \quad (3.44)$$

Burada  $\dot{N}$  girişteki ölçülen toplam akış oranıdır.

$$\dot{N} = \sum_{i=1}^n \dot{N}_{i,giriş} \quad (3.45)$$

Ayrıca  $\bar{h}$  ve  $\bar{s}$  içerdeki karışım için toplam molar entalpi ve entropidir.

$$\bar{h} = \frac{1}{\dot{N}} \sum_{i=1}^n \bar{h}_{i,giriş} \dot{N}_{i,giriş} \quad , \quad \bar{s} = \frac{1}{\dot{N}} \sum_{i=1}^n \bar{s}_{i,giriş} \dot{N}_{i,giriş} \quad (3.46)$$

Maksimum ekserji dağıtım oranı (3.44), her ünitenin esas toplam akış oranı için aşağıdaki gibi yazılır;

$$\frac{\dot{E}_{rev}}{\dot{N}} = \sum_{i=1}^n (\bar{h}_{i,giriş} - T_0 \bar{s}_{i,giriş} - \mu_{0,i}) x_i = \bar{h} - T_0 \bar{s} - \sum_{i=1}^n \mu_{0,i} x_i \quad (3.47)$$

Burada  $x_i$  karışımındaki  $i$ 'ninci bileşenin molkesiridir ve  $\dot{N}_{i,giriş} / \dot{N}$  ile ifade edilir. Denklem (3.47)'nin sağ tarafı, karışım akışının  $\dot{N}$ 'sinin toplam molar akış ekserjisi  $\bar{e}_t$  ;

$$\bar{e}_t = \bar{h} - T_0 \bar{s} - \sum_{i=1}^n \mu_{0,i} x_i \quad (3.48)$$

Buradan her ünitenin esas toplam akış oranı için sınırlandırılmış ölü bölgeden şu sonuç çıkar;

$$\bar{e}_x = \bar{h} - \bar{h}^* - T_0 (\bar{s} - \bar{s}^*) \quad (3.49)$$

Burada  $\bar{h}^*$  ve  $\bar{s}^*$  sırasıyla ölü bölgedeki toplam molar entalpi ve entropiyi ifade eder ve aşağıdaki gibi gösterilir;

$$\bar{h}^* = \sum_{i=1}^n \bar{h}_i^* x_i \quad , \quad \bar{s}^* = \sum_{i=1}^n \bar{s}_i^* x_i \quad (3.50)$$

Denklemler (3.47) ve (3.48)'den toplam yada termoekonomik ve kimyasal akış ekserjisinin toplamını buluruz.

$$\bar{e}_t = \bar{e}_x + \bar{e}_{ch} \quad (3.51)$$

Burada  $\bar{e}_{ch}$  , sınırlandırılmış ölü bölgeden ölü bölgeye kadar olan akış değişiminin molar akış ekserjisidir ve aşağıdaki gibi ifade edilir;

$$\bar{e}_{ch} = \sum_{i=1}^n (\mu_i^* - \mu_{0,i}) x_i \quad (3.52)$$

Sınırlandırılmış ölü hal için Euler denklemi;

$$\bar{u}^* = T_0 \bar{s}^* - P_0 \bar{v}^* + \sum_{i=1}^n \mu_i^* x_i \quad (3.53)$$

Sonuç olarak,  $([\bar{h}^*] - T_0 \bar{s}_i^*)$  için kısaltılmış olan sınırlı ölü hal kimyasal potansiyellerinin  $\mu_i^*$  , (3.34) denklemindeki gibi aynı anlama sahip olduğuna dikkat edilmelidir. Kimyasal akış ekserjisi  $\bar{e}_{ch}$  , denklem (3.37)' deki akış olmayan kimyasal ekserjisinin molar kopyasına eşittir.

Buradan;

$$\bar{\xi}_{ch} = \frac{E_{ch}}{N} = \bar{e}_{ch} \quad (3.54)$$

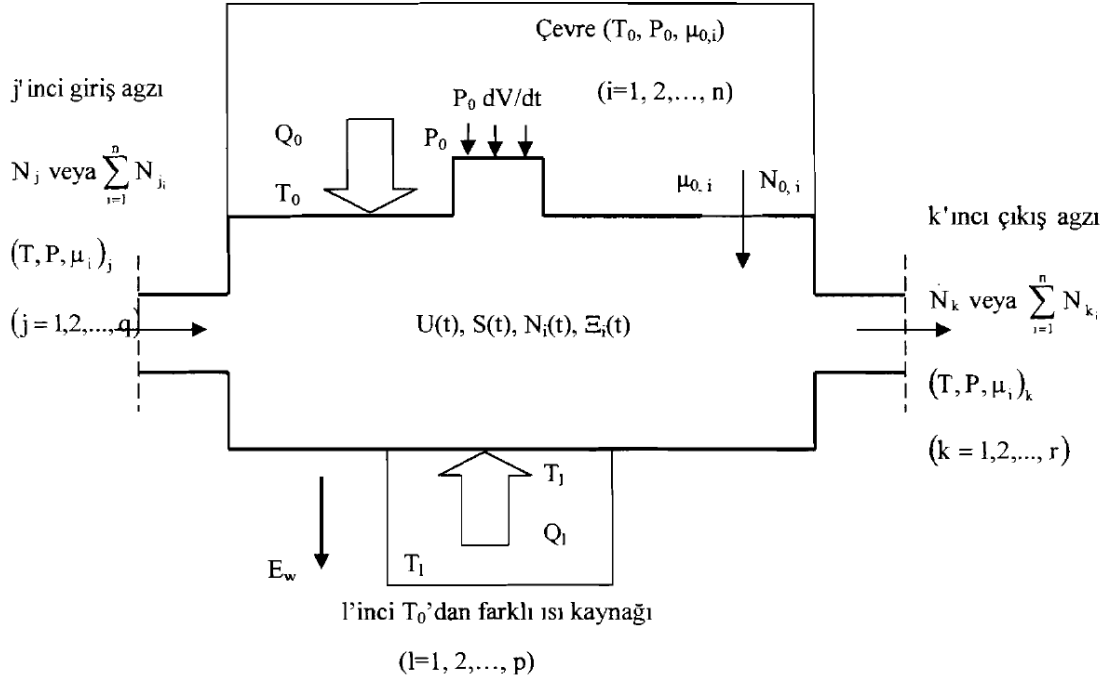
N şekil 3.3' deki akış olmayan sistemin başlangıç halindeki toplam mol sayısıdır.

### 3.7 Genelleştirilmiş Ekserji Analizleri

Bu bölümde bilinen ekserji analizleri genelleştirilecektir. Şekil 3.5'in birinci ve ikinci yasa analizlerini ispat etmek zor değildir.

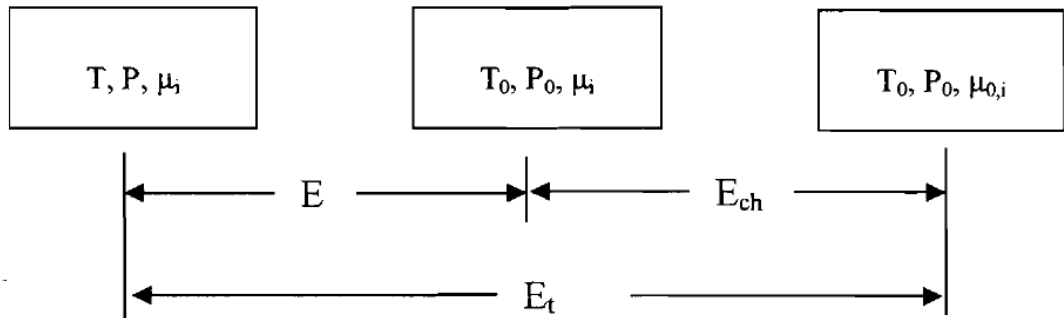
$$E_w = -\frac{dE_t}{dt} + \sum_{l=1}^p \{\dot{E}_q\}_l + \sum_{j=1}^q \{\dot{N}\bar{e}_t\}_j - \sum_{k=1}^r \{\dot{N}\bar{e}_t\}_k - T_0 \dot{S}_{gen} \quad (3.55)$$

Her ısı aktarımı etkileşimiyle ilişkilendirilmiş ekserji bundan önce tanımlanmıştır. Akış olmayan durum ve akış sonuçları (3.36) ve (3.51)'de, sıraya göre yukarıda listelenen genel sonucun iki özel durumu ortaya çıkar.

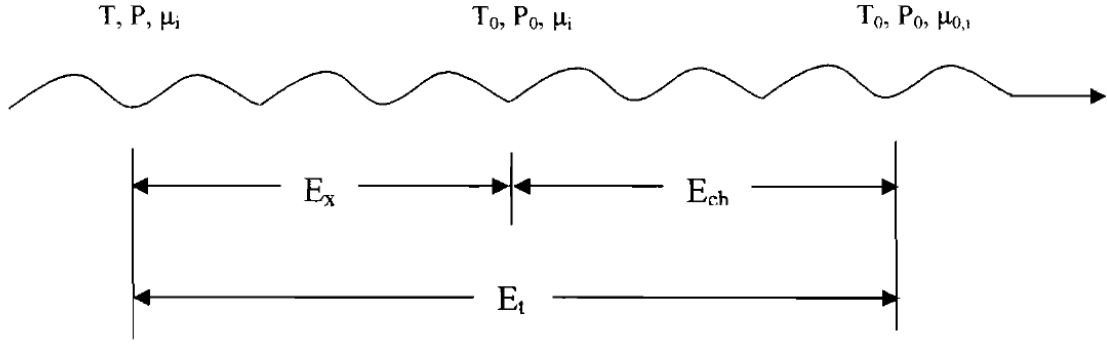


Şekil 3.5: Çevreyle ısı, iş ve kütle değişimi yapan genel açık sistem . ( Çengel, 1996 )

Ekserji terminolojisinin akım çizgilendirilmesi ayrıca Lucca tarafından tartışılmıştır(Lucca, 1991). Lewins nemli hava için ölü hal durumlarında  $T_0=25^0C$ ,  $P_0=1bar$  ve  $\phi_0 = 1$  olarak önermiştir ( Lewins, 1989).



Şekil 3.6: Akılsız toplam, kimyasal ve fiziksel ekserjiler arasındaki ilişki ( Çengel , 1996 )



**Şekil 3.7** Akışlı toplam, fiziksel ve kimyasal ekserjiler arasındaki ilişki ( Çengel, 1996 )

Toplam, kimyasal ve fiziksel ekserjiler arasındaki bağlantı Şekil3.6'da akış olmayan sistemler için, Şekil 3.7'de akış olan sistemler için örneklerle gösterilmiştir. Her iki grafikte de işaretlemenin eğer karışım içerisinde iki veya daha fazla bileşen bulunuyorsa, yani  $n \geq 2$  ise doğru olduğuna dikkat edilmelidir. Tek bileşenli kütle durumunda sadece kimyasal potansiyel T ve P'den bağımsız olarak değişmez.

### 3.8 Ekserjinin Genel Formülünün Çıkarılması

Termodinamiğin 1. ve 2. kanunundan yararlanılarak bulunur

Terinir bir proses sonunda işten elde edilen maksimum iş gene kendisidir.

Kararlı halde, tersinir, kapalı bir sistemi ele alırsak

Termodinamiğin I.Kanununa göre

$$Q - Q_0 = W \quad (3.56)$$

Termodinamiğin II.Kanunuan göre:

$$\frac{Q}{T} - \frac{Q_0}{T_0} = 0 \quad (\text{tersinir}) \quad (3.57)$$

$$(3.57) \text{ aynı zamanda : } Q_0 = T_0 \left( \frac{Q}{T} \right) \text{ haline gelir.} \quad (3.58)$$

(3.58) 'i (3.56) da yerleştirilirse ;

$$Q - T_0 \left( \frac{Q}{T} \right) = W \text{ yani } Q \left( 1 - \frac{T_0}{T} \right) = W \quad (3.59)$$

Buradan ;  $E_Q = Q \left( 1 - \frac{T_0}{T} \right)$  denklemi elde edilir. (3.60)

Termodinamiğin I. Kanununa göre ;

$$H + Q - H_0 - W = 0 \text{ ise ;} \quad (3.61)$$

$$W = H - H_0 + Q \text{ olur} \quad (3.62)$$

Termodinamiğin II. kanununa göre ;

$$\frac{Q}{T} + S - S_0 = 0 \quad (S_{\text{ür}} = 0, \text{ tr}) \quad (3.63)$$

$$Q = -T(S - S_0) \quad (3.64)$$

(3.64) denklemini , (3.61) denkleminin içine yazılırsa ;

$$W = H - H_0 - T(S - S_0) = E_H + E_Q \text{ şeklini alır} \quad (3.65)$$

$$H - H_0 - T(S - S_0) = E_H + Q - Q \frac{T_0}{T} \quad (3.66)$$

(3.64) nolu denklemi (3.66) nolu denklemin içinde yazılırsa ;

$$H - H_0 + Q \left( \frac{T_0}{T} \right) = E_H \quad (3.67)$$

(3.64) nolu denklemi tekrar kulanırsak ;

$$E_H = H - H_0 - T(S - S_0) \frac{T_0}{T} \text{ şeklini alır ve T ler birbirlerini götürürlerse ;} \quad (3.68)$$

$$E_H = H - H_0 - T_0(S - S_0) \quad (3.69)$$

ifadesine ulaşırız.Yapılacak ( Ekserji analizinde de bu denklem (3.69) kullanılacaktır.

## 4. BİRACILIK

### 4.1 Biracılık Tarihi

Bira, eski ismiyle arpasuyu, insanlığın çok eskiden beri kullandığı hafif alkollü bir içecektir ve tarihi sekiz-on bin yıllık bir geçmişe uzanır. Biracılığın çıkış noktası Sümer, Babil ve Eski Mısır olarak kabul edilmektedir. Bira ile ekmeğin tarihi de birçok yönden kesişir. Mezopotamya uygarlıklarının kalıntılarında günümüzden altı-yedi binyıl öncesine ait bira ve ekmek yapımına ilişkin belgelere rastlanır.

Bu dönemlerde bira imalathaneleri ve ekmek fırınlarının yan yana bulunduğu tespit edilmiştir. Bira hammaddesi olarak "malt ekmeği" su ile ezilip bulamaç haline getirildikten sonra fermantasyona bırakılır. İlk biraların bozaya benzerliği dikkat çeker; bulanık ve köpüksüzdürler. Maltın elde edilmesinde esas olarak arpa kullanılmasına rağmen, eski biralar farklı tahıllardan da üretilirdi. Bugünkü anlamında ise bira Avrupa kökenlidir.

#### 4.1.1 Antik Kültürlerde Bira

Mısırlılar'da arpadan yapılan bira ulusal bir içkidir. Eski Mısır'da biranın adı "heget"tir. Ekmekle birlikte günlük gıda olan bira, aynı zamanda para ve asgari ücret ölçüsüdür.

İki sürahi bira, bir günlük asgari ücrettir. Sekiz farklı bira çeşidini ifade eden kelimelere sahip olan Mısırlılar esmer, siyah, tatlı neter (kuvvetli) bira dahil, farklı çeşitler üretmişlerdir. Dini amaçlarla da yapılan bira, çeşitli tanrı ve tanrıçalara sunulur.

#### 4.1.2 Babil'de Bira

M.Ö. 4300'e ait Babil belgelerinde de biradan söz edilir. Babilliler'in (Keldaniler) buğday, siyah ve beyaz arpa ile bal kullanarak 20 çeşit bira ürettikleri ve hatta Mısır'a ihraç ettikleri bilinir. Biracılık sanatında usta olan Babilliler birayı buğday, siyah ve beyaz arpa ile baldan yapmışlardır.

Evlerde üretilen bira, "bit sikari" (bira dükkânı) denen mekânlarda satılırdı. Ünlü "Hammurabi Yasaları"nda, birayla doğrudan ilgili maddeler vardır. M.Ö. 1780'den gelen bu kayıtlara göre; bira içen müşterisinden fazla ücret isteyen satıcı, suda boğdurularak cezalandırılmıştır. Yine aynı kayıtlarda, günlük ücretler -işçiye 2 litre, sivil görevliye 3 litre, yüksek yöneticiye 5 litre bira verilmesi gibi- bira ölçüsüyle belirlenir.

### 4.1.3 Anadolu'da Bira

Sümer kültüründe bira, ekmek kadar önemli bir besindi; ayrıca rahatlama ve sağlık amacıyla da kullanılırdı. M.Ö. 3000 yıllarında yazılan Gılgamış Destanı'nda biradan söz edilir. Sümerlerde bira anlamına gelen "sikaru", tanrılara sunulan "sıvı ekmek"tir. Sümer mitolojisinde İçki Tanrıçası, hatta Bira Tanrıçası vardır; M.Ö. 1880'de Tanrıça'ya ithafen yazılmış şiirde, bira yapımının tüm aşamalarından söz edilir:

Hamuru yoğuran sizsiniz, büyük bir kürekle; Bulamacı hurmalı balla çukurda karıştıran  
Filizlenen maltı sulayan sizsiniz; Pişmiş lapayı saz hasırlara yayan sizsiniz  
Toplayıcı fiçidan süzülen birayı döken sizsiniz

Yine Sümerler'e ait tabletler arasında, bira alışverişine ait yedi belge mevcuttur.

M.Ö 1450-1200 yıllarına ait Hitit tabletlerinden elde edilen bilgilere göre temel hububat neveleri arpa ve gerniktir. Bunlar un, ekmek ve bira yapımında kullanılır. Yoğunluğu nedeniyle bira kamışla içilmektedir. Kamışlar buğday saplarından elde edilir. Anadolu'da bira Hititler sonrasında da devam eder. M.Ö. 738-696 yılları arasında yaşayan Frigya Kralı Midas'ın cenaze yemeğinde şarap, bal ve bira karışımından elde edilen özel bir içkinin içilmiş olduğu, arkeolojik bulgularda rastlanmıştır.

### 4.1.4 Eski Roma ve Yunanistan'da Bira

Eski Yunan ve Roma dönemlerinde bira bilinmekle birlikte, şarap en önemli içecektir. Homeros'un destanlarında (M.Ö. 7-8 yy) şarap dışında içecek olarak su katılmış süt, arpa unu ve ince kıyılmış peynir karışımından olan "kykeon" içildiği anlatılır. Romalılar ise kendilerinin şarap içtiklerini ama kuzeydeki "barbarların" bira içtiklerini yazarlar. Barbarların birayı arpa ve buğdaydan yaptıkları kaydedilir. Akdeniz ülkelerinde şarabın biraya tercih edilmesi, üzüm yetiştirilmesiyle ilgilidir. Üzümün yetiştirildiği bölgelerde şarap, üzümün az olduğu ve buna karşılık hububatın ve özellikle arpanın yettiği bölgelerde bira üretim ve tüketiminin daha fazla olduğu söylenebilir. MÖ 800, Eski Yunan Tarihçileri Mısır ve Yunanistan'da arpa ve sudan yapılan "Zithos" (Yunanca'da bira) adlı bir içkiden söz ederler.

### 4.1.5 Avrupa'da Bira

Biranın Mezopotamya'dan Mısır ve Kuzey Afrika'ya, oradan İspanya ve tüm Avrupa'ya geçtiği düşünülüyor.

Almanya'da bira yapıldığına dair ilk kanıt, M.Ö. 8. yüzyıllara dayanır. Özellikle (bugünkü adıyla) Bavyera yöresinde üretim çok yaygındır. Romalı tarihçi Tacitus'a göre, M.S. 1. yüzyılda Almanların ve Galyalıların günlük içkisi biradır. Fransa'da da birayla ilgili kayıtlara M.m 1. Yüzyıldan itibaren rastlanır.

Aynı şekilde İskandinavlar da etkin bir bira kültürüne sahiptir. Avrupa'da bira imali 8. yüzyıla kadar bir ev uğraşı olarak kalmıştır. 9. yüzyıla doğru Orta Avrupa ülkelerinde biranın yapımı manastırlara özgü olarak devam eder. Birada "hublon" yani şerbetçiotunun kullanılması ancak 8. yüzyılda başlar. Şerbetçiotu öncesinde biralar genellikle ardıç ve zencefil ile tatlandırılırdı.

12. yüzyılda biracılık burjuva mesleği haline gelir ve loncalar kurulur. Paris'teki Biracılar Birliği, Fransa'nın en eski sendikalarındandır. İlk yasalarını 1468'de hazırlamışlardır. 1516'da da Alman Bira Saflık Kanunu kabul edilir; bira üretiminde artık yalnız arpa, şerbetçiotu ve su kullanılabilir. Bundan öncesinde mısır, kepek, Amerikan hurması, patates, balkabağı ve enginardan yapılan biralar da bira kapsamındaydı. O dönemde maya hâlâ bilinmediğinden, başarılı bir fermantasyon şansa bağlıydı.

16. yüzyılda, sadece Hamburg'da 600'den fazla bira imalatçısı vardır ve Almanlar Hindistan'a bira ihraç eder.

1602'de Dr. Alexanders Nowell, tıpalanmış cam şişelerde saklanan biranın daha fazla dayanacağını kanıtlar. 1620'de İngilizlerin göçüyle birlikte, bira Amerika'ya -yerlilerin özgün birası göz ardı edilerek- girer. 1623'te Amerika'da ilk bira üretimi gerçekleştirilir; ilk imalathane ise 1786'da kurulacaktır.

Bira yapımıcılığında asıl devrimsel dönüşüm 18. ve özellikle 19. yüzyılda gerçekleşir. Buhar makinesinin yaygın işlerlik kazanması ve yapay serinliğin bulunması bira üretimini endüstrileştirir. Yapay soğukluğun sağlanmasından sonra, eskiden sadece serin mevsimlerde üretilen bira artık sürekli bulunabilir hale gelmiştir. Üretim ve dağıtım teknolojileri hızla gelişir, demiryolu ulaşımı ve soğutuculu vagonlar sayesinde bira her yere ulaştırılır ve tüketim de aynı hızla artar. 1796'da Londra'daki Whitebread Biracılık, yıllık 200 bin fiçli bira üreterek bir 'ilk'e imza atar.

Pastorizasyon tekniğini bulan Louis Pasteur'ün yazdığı "Bira Hakkında Bir İnceleme" adlı kitap, bira yapımıyla ilgili bilimsel etütlerin ve sağlıklı üretimin de başlangıcıdır. Danimarkalı Hansen'in tek maya hücrelerini izole etmesinden sonra ise fermantasyon yöntemlerinde ve

dolayısıyla biranın tadında iyileştirme sağlanır. Bu gelişmelerin etkisiyle, bira tiplerinde de farklılaşmalar olacaktır. 19. yüzyıla kadar "Ale" tipi biralar yaygınken, 1830'larda Münih'te alt fermantasyona dayalı "Lager" yöntemiyle bira üretimine başlanır. İlk lager biralar öncekiler gibi koyu ve kızılımsı renkli iken, 1842'de Bohemya'nın Pilzen kasabasında ilk kez altın renkli lager üretilir. O döneme kadar seramik, metal, ahşap kaplarda içildiğinden rengi fark edilmeyen bira artık cam bardaklarda sunulabildiği için, bu yeni rengiyle popüler olur; ki günümüzde de Pilsener bira, daha çok bu berrak ve sarı rengiyle bilinmektedir.

1880'de ABD'de 2727 adet bira imalathanesi, 1900'de İngiltere'de büyüklü-küçüklü 6477 bira üreticisi vardır; ancak, üretimin giderek büyük yapımcılara geçmesiyle bu sayılar hızla düşecektir. Bugün ABD'de 34 üretici firma kalırken, İngiltere'de sadece 6 grup öndedir. Avustralya ve Kanada'da sadece 2 grup, üretimin yüzde 90'ından fazlasını kontrol etmektedir. Tek istisna, tüketicilerin yerel üreticilere bağlılığı nedeniyle çok sayıda küçük bira üreticisi bulunan Almanya'dır.

#### **4.1.6 Osmanlı'da Bira**

Boza, bugünkü biralarla arasındaki büyük farka rağmen en eski veya en basit bira çeşidi olarak kabul edilmektedir. Bozanın bira olduğu, özellikle ziraat, gıda mühendisliği gibi alanlarda mühendislik lisansına sahip hemen hemen bütün yazarlarca belirtilmektedir. Boza yabancı maddelerden temizlenmiş darı, pirinç, buğday, mısır vb. hububatın kırma veya unlarından bir veya birkaçına içme suyu katılarak pişirilmesi ve beyaz şeker ilave edilerek tekniğine uygun olarak alkol ve laktik asit fermantasyonlarına tabi tutulmasıyla hazırlanan bir mamuldür. Boza hammaddesi olarak yapıldığı yerin başlıca ürününe göre mısır, arpa, yulaf, buğday, Arnavut darısı, gernik gibi hububatın unu, bazen de pirinç, ekmekek nadir olarak da kenevir unu ve karamuk (yabancı ot tohumu) kullanılmaktadır. Bu özellikleriyle şerbetçiotu dışında birayla benzer özellikleri içermektedir

Boza benzeri içkilerin hazırlanışı ve kullanılışı 8-9 bin yıllık bir geçmişe sahiptir. Yunanlı yazar Zosimos'un yazılanında "zythos" adlı içkinin bugünkü bozanın hemen hemen aynısı ve Rus içkisi olan "kwass"ın ise tamamen aynısı olduğu yazmıştır. Amerika'da da eski darı birasıyla karşılaştırılabilen bir içkinin varlığı tespit edilmiştir. Sümerlerden zamanımıza gelebilmiş çivi yazısı kitabelerden, darıdan bira yapıldığı anlaşılmaktadır. Babil eczacılığında dan birası önemli bir yer tutmuştur. Hammurabi zamanından kalma mühürlerde de bir ilahenin, kucağındaki hasta bir çocuğa darı birası içirdiği görülmektedir.

Bozalar içinde özellikle ekşi bozanın alkol derecesi yüksektir ve genellikle yasaklanan, ekşi bozadır. Ayrıca Osmanlı'da afyon kullanımının bir hayli yüksek olduğu anlaşılmaktadır. Bozaya afyon karıştırılması örnekleri de vardır. Bazı tarihçiler bunun Tatar bozası olarak bilinen boza olduğunu belirtmektedirler.

Üzerinde yaşadığımız topraklarda bin yıllardan beri boza üretilmekte ve içilmektedir. Boza darı, pirinç, buğday, mısır vb. hububatın su katılarak pişirilmesi ve beyaz şeker ilave edildikten sonra fermante edilmesiyle üretilir. Bu özellikleriyle, şerbetçiotu eklenmesi dışında, boza, ekşi ve biraz daha koyu kıvamlı bir biradan başka bir şey değildir. Bugünkü biralarla arasındaki büyük farka rağmen, en eski veya en basit bira çeşidi olarak kabul edilmektedir.

Biranın yasak olmasından dolayı boza ve bozacılık Osmanlı döneminde oldukça yaygındır. 15. yüzyıldan itibaren konu ile ilgili belgelere ulaşılabilmektedir. 17. yüzyılda Evliya Çelebi'nin İstanbul anlatımlarında, kentte 300 bozacı olduğu bilgisi verilir. Osmanlı'da farklı boza çeşitleri vardır. Tatar bozası olarak sözü geçen tip, muhtemelen içine afyon katılan ekşi bozadır. Bir başka boza çeşidinin de alkollü olmadığı, ulema tarafından içildiği, Tekirdağ darısından yapıldığı ve süt beyazı renginde olduğu belirtilir. Buradan anlaşılan, temelde ekşi ve tatlı olmak üzere iki tip boza yapıldığıdır; biri alkol içermektedir, öteki alkolsüzdür.

18. yüzyılda Osmanlı'da alkol içeren boza üretiminin azaldığı, buna karşılık tatlı boza üretiminin artarak devam ettiği görülür. Bira, 1839 yılında Tanzimat'la birlikte, Osmanlı yeme-içme kültürüne girmeye başlar. Bu arada bozacılık da bir yandan devam etmektedir. Ancak bu dönemde boza tamamen alkolsüzdür. 1870'lerde İstanbul'da 200'ün üzerinde Ermeni bozacı olduğu bilinmektedir.

Biraya ait ilk mevzuat "Arpasuyu" isimlendirmesiyle 1847 yılında gelir. 1840'ların başından itibaren İstanbul'da birahaneler açılması, ithal bira geldiğine işaret eder. Aynı dönemlerde İzmir'deki Prokopp Birahanesi'nin de küçük çaplı üretim yaptığından söz edilir. Arpasuyu üretimi üzerine 1861 tarihli düzenlemeden, ülkede bira imalatının başladığı anlaşılır.

1888'de Şişli Feriköy'de inşasına başlanan fabrika 1890'da açılır. Musevi kökenli Bomonti Kardeşlerin üretimini, 1892'de Selanik'te açılan Olimpos Bira ve Şampanya Fabrikası izlemiştir. Olimpos İstanbul'da da bilinen bir markadır; Tepebaşı Bahçesi'nin karşısında Şanzelize Birahanesi'ni ve Düyun-ı Umumiye Dairesi karşısında Şark Birahanesi'ni açar.

19. yüzyılın son yıllarında bira üretimi artmasına rağmen tüketim büyük miktarda ithalatla

karşılır. 1896 yılı verilerinde bira üretimi 1,2 milyon litredir. Bir sonraki yıla ait vergi miktarlarından da biranın sırasıyla İstanbul, Selanik, İzmir, Beyrut, Adana ve Yemen vilayetlerinde tüketildiği anlaşılır.

19. yüzyıldan itibaren bira, büyük kentlerde sosyal yaşamın bir parçası olmaya başlar. İlk birahanelerin açılması 1840'lara dayanır. İstanbul'un ilk birahanesi, Salvador birası ile tanınan Londra Birahanesi olmuştur.

1840-1850 yıllarında İzmir ve İstanbul'un çeşitli semtlerinde birahaneler görülmeye başlar. Alsancak'taki Prokopp Birahanesi İzmir'deki ilk birahanedir. 1860'larda, küçük sahnesinde orkestralar çalan Concordia Birahanesi ve 1870'lerde Sponeck Birahanesi o yıllarda çokça gidilen mekânlardır.

1878 yılında açılan Birinci Yanni Birahanesi o dönemin gazete ilanlarında en çok yer alan meşhur bir birahanedir ve Osmanlı hizmetindeki Alman subayların en çok rağbet ettiği yerlerdendir. Burada Salvador, Spatten ,Dreher ve Nektar biraları içilirdi. Yanni'nin karşısında, şehrin ilk Alman birahanesi olan "Deutsche Bierhallev" açılır.

19. yüzyılın sonunda İstanbul'da 33, İzmir'de 5, Selanik'te 4, Ankara'da 3 birahane vardır.

Birahanelerin dışında, o dönemin ilgi çeken alanları bira bahçeleridir. 20. yüzyılın başından itibaren yaygınlaşan bahçeli gazinolar içinde Taksim ve Bebek bahçeleri bira satılan yerler olarak sosyal hayatta yerlerini alır. Biraya özel en önemli bahçe Bomonti Fabrikası'nın içindekidir. Bu bahçe 1960'lı yıllara kadar popülerliğini korur. 1910 yılında İzmir'de ve Büyükdere'deki Nektar Bira Fabrikası'nda, 1930 lu yıllarda Ankara Bira Fabrikası'nda kurulan bira bahçeleri, Bomonti Bira Bahçesi'ne benzetilir. Bahçeler yalnızca erkekler ya da sadece askerlerin değil, kadınların, ailece gelen misafirlerin de konuk edildiği mekânlardır.

20. yüzyıl başlarında artan bira talebiyle birlikte, fabrika kurma girişimleri de sıklaşır. 1911'de "Milli Bira Fabrikası Osmanlı A.Ş." ve 1919'da "Büyük Sulh Bira Fabrikası A.Ş." kurulursa da, faaliyete geçilemez. Selanik'te 1912'de kurulan, Naousa Georgiadis ve Ortakları'na ait fabrika ise iki cins bira ve ayrıca buz üretimi yapar.

#### **4.1.7 Cumhuriyet Döneminde Bira**

Cumhuriyet dönemi biracılığın önemli gelişmeleri yasal düzenlemelerdir. Başlıcaları içki yasağı (1924) ve sonrasında da İçki Tekeli Yasası'dır (1926). Aynı yıl, Milli Bira ve Meşrubat T.A.Ş kurulur. Sektör üreticilerinin Türk Anonim Şirketi olması gerekliliği getirilir ve içki

tekel hakkı İspirto ve Meşrubat-ı Külliye İnhisarı İşletmesi T.A.Ş.'ne verilir. Bomonti Nektar Bira Fabrikası, Türk Anonim Ortaklığı'na dönüşerek 1938 yılına kadar üretime devam eder. 1940 yılında İstanbul ve İzmir fabrikaları İnhisar İşletmesi tarafından satın alınır.

1933-1934 yılında Atatürk Orman Çiftliği'nde Atatürk'ün kişisel desteğiyle Ankara Bira fabrikası hizmete girer. Yılda 1.500.000 litre bira yapabilecek kapasitedeki fabrika malt, bira, buz, gazoz, soda, doldurma ve ambalaj şubelerinden oluşmaktadır. Ankara Birası'nın milli bir halk içkisi olarak piyasaya sürülmesi önemlidir.

Diğer biralardan farkı vurgulanarak, hem "memleket ziraatine katkıda bulunmak", hem de sıhhi ve hafif bir içki olarak tüketilmek üzere sunulur.

Bomonti Fabrikası'nın kapanmasıyla, Ankara Bira Fabrikası 5 milyon litrelik yıllık üretimiyle piyasanın tek hâkimi olur. 1930'ların sonunda fabrikada normal, siyah, salon ve Salvador tipi biralarla, soda ve gazoz üretilir. 1940'lı yıllarda Tekel Genel Müdürlüğü kurulur. Şarap dışında her türlü içki üretimi, satış ve ithalatı bu kuruma devredilir. Tekel, malt hülasesını da ilaç niyetine üretilip piyasada satmaktadır. 1946 yılında İstanbul'da Anadolu sahilinde ve Orta Anadolu'da birer malt fabrikası kurma girişimi görülür. Bu dönemde İstanbul Bira Fabrikası Trakya ve Karadeniz sahillerinin, Ankara'daki ise diğer bölgelerin birasını temin etmektedir. 40'ların sonunda bira üretiminin tekrar özel teşebbüse bırakılması tartışmaları başlar. 1955 yılında bira tekeli kaldırılır.

1950'lerin en önemli gelişmesi şerbetçiotu üretimi hazırlıklarıdır. Ülkenin çeşitli yerlerinde doğal olarak yetişen şerbetçiotu biracılığa uygun olmadığı için 1966 yılına kadar ithal edilir. Üretimine, 1963 yılında Bilecik'te başlanır.

Bira üretiminde özel sektörün yer alması, 1966 yılında Erciyas Biracılık ve Malt Sanayii A.Ş.'nin kurulmasıyla başlar. 1967 yılının Ağustos ayında, İzmir'de üç bira fabrikasının temeli atılır. Fabrikalardan biri "Efes Pilsen" adı verilen birayı üretecek olan, tamamen yerli sermayeyle kurulmuş Ege Biracılık ve Malt Sanayii A.Ş.'ne aittir. Diğer ikisi ise, yabancı sermaye ortaklı "Prens" birası ve "Tuborg"dur. Temel atma günündeki bir gazete haberi, aynı yıl 33 milyon litre bira üretildiğini, bunun 23 milyon litresi Ankara ve İstanbul'da tüketildiğinden diğer şehirlerdeki talebin karşılanmadığını yazar.

Özel sektörün bira sanayiine girmesini izleyen yıllar içinde Tekel piyasa kaybeder. 1969'dan sonra Tekel'in sektöre yaptığı tek yatırım, 1972 yılında faaliyete geçen Yozgat Bira Fabrikası'dır. Özel sektörün hızlı gelişimi Tekel'in bazı ataklar yapmasına yol açar. Altınbaşak

birası bu dönemde ortaya çıkar.

1970'lerden itibaren bira pazarında üç grup vardır; Efes Grubu, Tekel ve Tuborg. Tekel'in üretimdeki payı 70'lerin başında %57 iken, sonlarında %16'ya kadar düşer. Tekel'in pazar payındaki azalma genelde Efes Grubu tarafından karşılanır.

Bu arada, Türkiye'de biranın alkollü içecek sayılması ve alkol ruhsatı olan yerlerde satılmasıyla ilgili tartışmalar 1974 yılında yoğunlaşır. 1984 yılında çıkarılan yasayla bira alkollü içecek sayılır ve satışı ruhsata bağlanır. 1969 yılından beri çay bahçesi, kahvehane gibi yerlerde satılabilen biranın satışına sınırlamalar gelir. Tuborg ve Efes Pilsen aynı yıl alkolsüz birayı piyasaya sunar. 1986 yılında Efes Pilsen Türkiye'de ilk olarak teneke kutu bira üretimini başlatır.

1990'ların ortasında Toros Biracılık, Marmara birası ile piyasaya girmeye çalışır. 1998 yılında Efes Grubu'na satılır. Bu yıllarda Tekel'in piyasadaki payı da büyük ölçüde azalır. İstanbul ve Ankara Bira Fabrikaları 1995 yılında tamamen kapatılır.

Efes Pilsen'in piyasanın %70'inden fazlasına hâkim olduğu bu dönemlerde yıllık ortalama bira üretimi toplamda 700 milyon litreye ulaşır. Kişi başına tüketim ise 80'lerin başında 5,5 litre civarındayken 1995 yılında 10,10 litre olarak tespit edilir.

Bira artık ihraç edilen bir üründür. 1980'lerde başlayan ihracatın yanı sıra, 1990'larda aynı zamanda ithal biralar da piyasa girer.2000'li yıllarda, piyasada dünyanın büyük üreticilerinin markaları görülmeye başlar. Efes tarafından Miller, Beck's ve Foster's biraları, Tuborg tarafından Calsberg birası getirilir.

## 5. BİRANIN ÜRETİMİ

Bu bölümde bira üretiminde kullanılan hammaddelerin açıklaması yapılacak ve bira üretimi genel hatları ile anlatılacaktır. Daha sonraki bölümlerde ise tez çalışmasının ana konusunu teşkil eden termodinamik hesaplamalar için bölümler daha detaylı olarak anlatılacaktır.

### 5.1 Biranın Hammaddesi

Bira, arpadan elde edilen maltın çeşitli yöntemlerle su ile mayşelenmesi ve kendisini aromatize eden şerbetçiotu ilavesi ile kaynatılması sonucu elde edilen şıranın maya ile fermantasyonundan oluşan, alkol ve karbondioksit içeren bir içecektir. Kısacası bir fermantasyon ürünüdür. “Efes Pilsen Birası”, iki sıralı arpadan elde edilen malttan yapılan açık renkte, içimi kolay bir biradır.

Biranın Besin Değeri :

1 litre bira ;

- - 30 gr Karbondioksit
- -1 gr Aminoasit
- -1 gr Mineral maddeleri
- -10 mg B vitamini içerir.

1 litre biranın enerji miktarı ise 450 kcal'dir.

Bira mamulünün en önemli hammaddeleri arpa, şerbetçiotu, su ve mayadır.

1. Arpa : Arpa hordehum gremina familyasından senelik bir bitkidir. Ülkemizin iklim ve toprak durumu kışlık ekilen iki sıralı arpaların bira sanayi için daha uygun olduğunu göstermektedir. Bira imalinde önemli bir faktör olan iki sıralı arpanın kimyasal bileşimi şöyledir :

**Çizelge 5.1 : Arpanın Kimyasal Bileşeni**

Protein	%11,1
Nişasta	%63,2
Selüloz	%5,83
Kül	%2,93
Yağ	%2,94
Diğer Azotsuz Maddeler	%14

Arpanın en önemli maddesi nişastadır. Çünkü biradaki alkol nişastanın parçalanmasından hasıl olan şekerden meydana gelir.

2. Malt : Arpanın özel işlem görmüş halidir. Arpa malt fabrikasında nemlendirilip, çimlendirilip daha sonra kavrulmuştur.

3. Şerbetçiotu : Biracılıkta kullanılan bir tarım bitkisidir. Şerbetçiotu çiçeklerindeki lupulin adlı hoş kokulu bir madde için yetiştirilir. Lupulin, biraya acılık ve aroma vermesi için katılır. Lupulin tozları içinde biracılıkta büyük önem taşıyan eter yağları ve eter ekstratı mevcuttur. Kimyasal bileşimi yaklaşık değerlerle aşağıdaki gibidir :

**Çizelge 5.2 : Nişastanın Kimyasal Bileşimi**

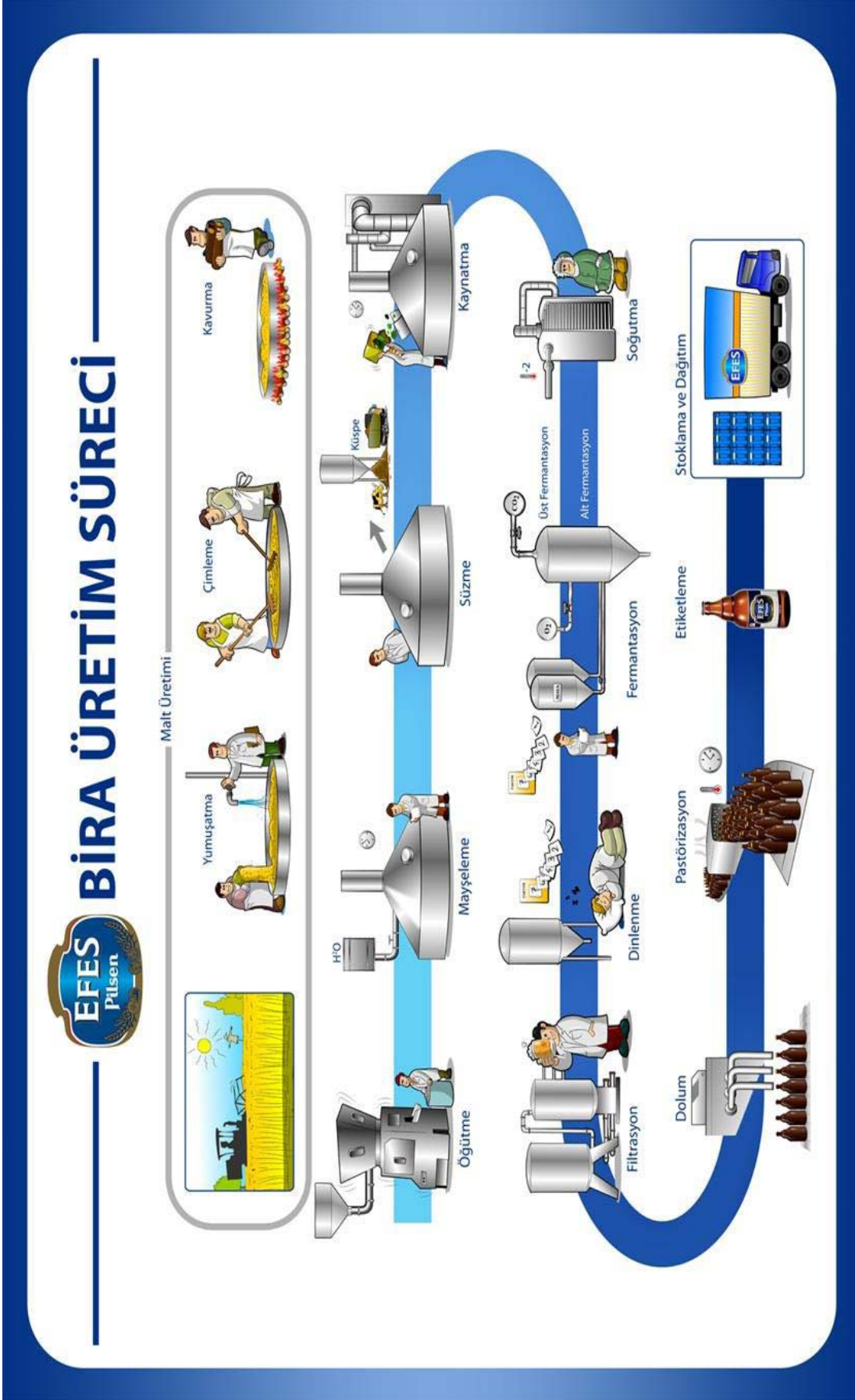
Su	%12,5
Kül	%7,5
Selüloz	%13,3
Azotlu Maddeler	%17,5
Eter Yağları	%0,1
Eter Ekstratı	%18,3
Tanin	%3,1
Azot Ekstratı	%27,5

4. Su : Çimlendirilecek arpanın ıslatılmasında, mayşenin hazırlanmasında, buhar kazanları beslenmesinde, soğutucularda, kondansatörlerde ve temizleme işlemlerinde su kullanılmaktadır. Biranın %80'inden fazlası sudur. Bu sebeple kullanılan suyun niteliklerinin çok iyi olması büyük önem taşımaktadır. Mikrobiyolojik açıdan temiz, iyi bir içme suyu olmasının yanı sıra madeni tuzlar, nitrikler, demir iyonlar içermemesi gerekmektedir. Çünkü bu tuzlar mayayı deforme edici bir etkiye sahiptir. Pilsen tipi ve açık renkli tüm biralarda yumuşatılmış su kullanılmaktadır.

5. Maya : Şıranın içerisindeki şekeri alkole çevirmekte kullanılır. Efes biralarının üretiminde kullanılan maya, üreticisinin de tercih ettiği yüksek kaliteli bira mayasıdır.

## **5.2 Biranın Üretim Süreci**

Biranın üretim süreci Şekil 5.1 de gösterildiği gibi Arpadan Malta dönüşüm, Öğütme, Mayşeleme, Süzme, Kaynatma, Soğutma, Fermantasyon, Dinlenme, Filtrasyon, Dolum, Pastürizasyon, Etiketleme, Stoklama ve Dağıtımdır.



Şekil 5.1 : Ülkemizdeki Bir Bira Fabrikasının Üretim Süreci

Üretim aşamasında ilk adım arpanın malta dönüşme aşamasıdır. Başka tahıllarla ve nişastalı bitkilerle de bira yapımı mümkündür, ancak en çok kullanılan hammadde arpadır. Arpa taneleri büyük beton ya da demir kaplarda su ile ıslatılarak çimlenmeye bırakılır; çimlenme sırasında enzimler, tahılın nişastasını şekere dönüştürür ve böylece amilazlar oluşur. Su verme işlemi ile iyi bir çimlenme için gereken su miktarı sağlanır. Çimlenme malt bileşiğinin oluşması ile sonlanır. Denetimli bir atmosfer içinde yönlendirilen çimlenme 8-9 gün sonra kurutma yoluyla durdurulur. Kurutma; filizleri yok edip, enzimlerin etkisini önleyerek, renkli ve kokulu bileşiklerin oluşumunu kolaylaştırır. Bu sonuç 45 ° C - 50 ° C de ısıtma ile elde edilir. Açık renkli malt üretiminde ısıtma işlemi 80 ° C – 85 ° C ye, koyu malt üretiminde (siyah bira) 100° C – 150° C ye kadar yapılmaktadır. Bundan sonraki aşama şıralama işlemidir. Bu işlemin amacı büyük bölümü enzimlerin etkisiyle oluşan maltın çözünür bileşenlerini su ile elde etmektir.

Malttan bira elde etmek için, önce malt öğütülür sonra su ile karıştırılarak mayşelenir. Maltın öğütülmesindeki amaç malt nişastasının, köpük aktif maddelerinin (peptidler), renk maddelerinin malttan suya daha çabuk geçebilir hale getirilmesidir.

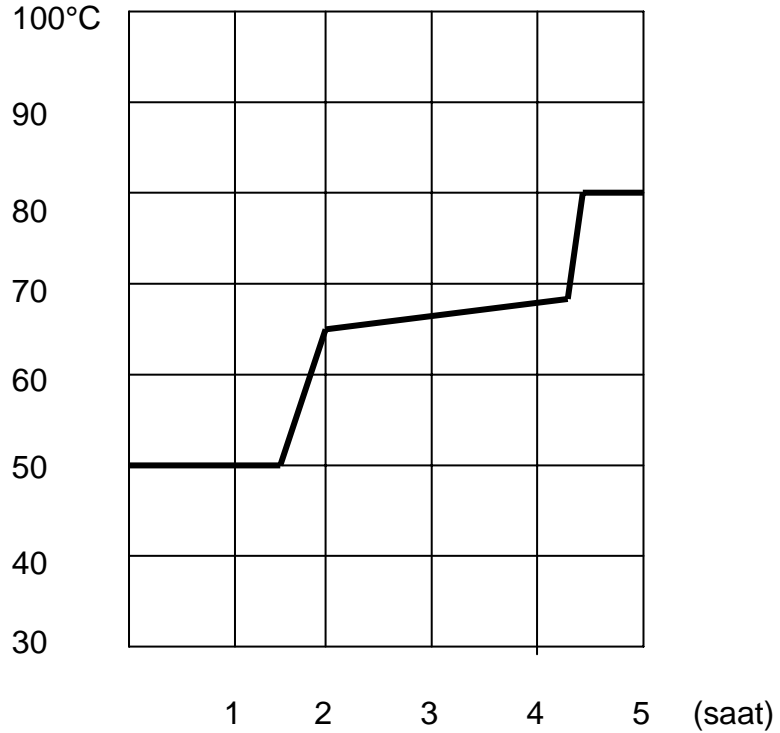
Malt öğütme, vals aralıkları belli olan silindirler ve elekler yardımıyla yapılır. İncelediğimiz Tesiste 3 vals çifti, toplam 6 adet valsli öğütme değirmeni kullanılır ve her vals çiftinin arasında elekler bulunur. Proses olarak nemli öğütme kullanılmaktadır. Bu da öğütme değirmeninden önce belirli miktardaki malta, belirli sıcaklıktaki suyun bir helezon üzerinde taşınırken püskürtülmesi ile gerçekleştirilir.

Malt öğütmede maltın kabukları büyük parçalar halinde kalmalıdır. Kırılmayan kabuklar, istenmeyen kokulara neden olan maddelerin geçişini engeller ve bu kabuklar mayşenin süzülmesinde gereklidir. Süzmede, süzme tankı kullanıldığından bu kabuklar filtre görevini yapar.

Bu işlem sonrasında malt mayşeleme tankları veya diğer adı ile lapa fıçısı denen silindirik formlu kapalı tanklarda sıcak su ile karıştırılır. Bu aşamada maltın içerisindeki maddelerin neredeyse tümü şekere (maltoz) dönüşür. Maltoz ile beraber bazı maddeler de suda bir miktar çözünür, elde edilen bu çözeltiye “MAYŞE” adı verilir. Yani nişastanın mayalanabilir şeker parçalarına ayrılmasına “MAYŞELEME” denir.

Mayşelemenin amacı enzimlerin malttaki ekstrakt maddelerine nüfuz etmesi ve onların düşük moleküllü parçalara bölünerek şıraya geçmelerini sağlamak, böylece yardımcı madde eklenerek veya eklenmeden malttan en iyi kalitede ekstrakt elde etmektir.

İki türlü mayşeleme metodu vardır : Dekaksiyon metodu, enfüzyon metodu. İncelediğimiz tesiste enfüzyon mayşeleme metodu kullanılır. Bunun ana prensibi, mayşenin sıcaklığını yavaşça ve kademeli olarak 75 °C – 78 °C ye yükseltmektir. Bu metotta kaynatma olmadığından, enzimlerin zarar görmesi söz konusu değildir. Burda olduğu gibi, açık renkli bira üretiminde, çift mayşeleme metodu kullanılır. Malt nişastası pahalıdır. Biranın maliyetini düşürmek için mısır veya pirinç, “nişastalı katkı maddeleri” olarak kullanılır. Asıl özelliği, malt mayşesinin ve pirinç mayşesinin Şekil 2.3’te görüldüğü gibi ayrı kazanlarda hazırlanıp sonra karıştırılması ve sıcaklığın yükseltilmesidir. Mayşeleme işleminin şartları olarak zaman, sıcaklık, pH değeri ve katkı maddelerinin fiziksel durumları gösterilebilir. Zaman direk olmasa bile belli bir ölçüde enzimatik reaksiyonlara etki eder. Her enzimin etkinlik sıcaklığının farklı olmasından dolayı, sıcaklık büyük önem taşır. Ayrıca aktive edici koenzimlerin enzim zehirlerinin mevcut olup olmaması enzimatik reaksiyonu etkiler.



**Şekil 5.2:** Enfüzyon Metodunun Kaynama Diyagramı

Malt mayşe sisteminde malt mayşe kazanı ve pirinç mayşe kazanı mevcuttur. Bu kazanlar paslanmaz çelikten yapılmış olup silindirik formdadır. Malt mayşe kazanı 4950 mm çapında ve 550 hl kapasitesinde iken pirinç mayşe kazanı 3500 mm çapında ve 275 hl kapasitesindedir. Her iki kazanın da alt ve yan bölümlerinde ısıtma alanları bulunmaktadır. Bu ısıtma alanları malt mayşe kazanında 62,8 m<sup>2</sup> iken pirinç mayşe kazanında 46 m<sup>2</sup> dir. Burada kanatların arasından geçen taze buhar içerideki karışımı ısıtmaktadır. Ayrıca alt bölümünde homojenliği sağlamak için bir karıştırıcı bulunmaktadır. Malt mayşe kazanında yaklaşık 48 °C sıcaklıktaki su, malt ve pirinç mayşesi karışımı yaklaşık 150 dk süre ile ısıtılmaktadır.

Mayşeleme prosesini tamamlamış olan bulamaç süzme kazanına verilir. Bu kazan mayşenin süzülmesinde kullanılır. Burada malt şırası ile küspe denilen tortu birbirinden ayrılır. Süzme işlemi dört kademelidir. Öncelikle mayşe süzülür ve ön sıra elde edilir. Ardından 3 kez 120 hl yıkama suyundan geçirilir. Bu suyun sıcaklığı 76 °C dir. Süzme kazanı mayşe kazanı gibi geniş silindirik formda olup 8500 mm çapında ve 993 hl kapasitesindedir. Alt kısımları deliklidir. Delikler ince uzun yarıklar halindedir. Delikli tabanın 1 cm altında düz bir taban bulunur. Mayşedeki kapçıklar çökerek delikli taban üzerinde filtre tabakasını oluştururlar. Süzülen sıra delikli tabandan geçerek burada toplanır. Esas şıranın akması bitince küspede kalan ekstraktı almak için üzerine sıcak su verilir. Daha sonra bu kazanın altından geçen birbirinden yaklaşık 1,2 m aralıkla konulmuş borular vasıtasıyla, süzülen sıra, kaynatma kazanına gönderilir. Süzme sonunda önemli miktarda küspe oluşur ve bu küspe hayvan yemi olarak kullanılır. Bu küспенin %80'i su, %20'si kuru küspedir. Küspe 80 ° C'de su ile yıkanır. Yaş küspede % 0,5 kadar fermante olabilir şeker bulunur. Küspe hava akımı ile küspe tankına gönderilir. İki adet küspe tankı olup kapasiteleri 70 m<sup>3</sup> tür.

Süzme tankından çıkan küspede bulunan su daha sonra sıcak su tankında depo edilir. Bu tanka gelen su ekstratı %2 civarında olan düşük ekstraktlı bira suyudur. Bu su tankta depo edilip daha sonraki üretim işlemlerinde tekrar kullanılmaktadır.

Kaynatma aşamasına gelen sıra, esas kaynatmanın yapıldığı dış kaynatma bölümüne gitmeden önce sıra tampon tanklarına gönderilerek burada şeker eklemesi yapılır, ayrıca esas kaynatma bölümüne gitmeden önce ekonomiklik yönünden bir ön ısıtmaya tabi tutulur. Şerbetçiotu ile karıştırılarak kaynatma prosesine tabi tutulur, bu aşamadan sonra içilebilir özellikte olan ancak içinde alkol bulunmayan sıra elde edilir. Kaynatmanın amacı :

Buharlaştırma yolu ile suyu uçurarak sıra ekstraktını (özü) istenilen konsantrasyona getirmek.

Şırayı sterilize etmek.

Proteinleri çökertmek.

Biranın karakteristiği olan şerbetçiotundaki tat ve koku veren maddeleri şıraya geçirmek.

Şıranın kaynatılması bira yapımında dönüm noktası olarak kabul edilir. Burada biranın renk, koku, acılık gibi karakteristik özellikleri şekillenir. Kaynama başlangıcından 10 dakika sonra acılık otu katılır. Aroma vermesi açısından şerbetçiotu da katıldıktan sonra son 5 dakikada glikoz ilavesi gerçekleşir. Şıranın kaynaması sırasında birçok karışık tepkimeler olur. Şıra ısıtılınca, kalan amilazlar, mayşelenmeyi durduran ve şıranın karbonhidrat bileşimini sabitleştiren diğer enzimler etkisiz hale getirilir, biokimyasal olaylar durdurulmuş olur. Kaynama ile istenilen miktarda suyun buharlaşması ve böylece istenilen ekstrakta ulaşılması sağlanır. Kaynama noktasında şıra mikroplardan arındırılır. Kaynama devam ederken proteinler çöker ve bazı daha basit nitrojen karışımlarla beraber, karbonhidratlar veya polifenollerle birbirlerine etkiler. Tepkime sırasında oluşan çözülemeyen çökelti “tortu “ olur. Tortunun bir miktarı şıranın kanaması sırasında ayrılır. Buna sıcak tortu denir. Geriye kalan kısım şıra soğuması sırasında dibe çöker. Buna da soğuk tortu denir. 1 saatlik kaynama sonunda hacmin %10’ u buharlaşır. Aynı anda buharla, uçucu aromatik bileşikler uzaklaştırılır.

Şıra, çapları 6000 mm ve kapasiteleri 990 hl olan iki adet tanka alınır ancak bu tanklarda herhangi bir ısıtma ve kaynatma prosesi olmamaktadır. Kaynatma işlemi dış kaynatıcıda meydana gelmektedir. Bu, boru tipi bir eşanjördür. Ana prensip olarak ,tanklardan gelen ısıtılacak şırayı buhar kazanlarından gelen taze buhar ile ısıtır ve kaynatır. Burada önemli olan husus ekonomiklik yönünden kurulmuş olan kompresör sistemidir. Tankların içinde kaynatma sonunda 7.000 kg su buhara dönüşmektedir. Bu sistem ile bir noktadan sonra sistem şırayı, şıradan oluşan buhar ile ısıtmaya başlamakta ve taze buhar ihtiyacını minimize ederek büyük ölçüde ekonomiklik sağlamaktadır. Şıra, taze buhar ile kaynama noktasına kadar ısıtıldıktan ve kaynama başladıktan sonra tankın içinde bir buhar basıncı meydana gelmeye başlar. Tanktan çıkan buhar kompresör tarafından sıkıştırılır, böylece sıcaklığı ve enerjisi çıkan yoğunlaşmış su daha sonra bir plakalı ısı değiştirgecine girer. Burada enerjisini soğuk bira suyuna vererek kaynatma bölümünde kullanılan sıcak bira suyunun oluşumu sağlanır. Böylece daha sonra işletme dışına atılacak olan bu şıra suyunun enerjisinden yararlanılmış ve ekonomiklik sağlanmıştır.

Kaynama işlemi bittikten sonra 5 dakika da rotopol yapılır. Şıra, soğutma işlemine tabi

tutulmadan önce 20 dakika süre ile dinlendirilir. Şıra soğutma konumuna hazır hale gelir. Rotopolün amacı sıcak tortunun açığa çıkartılması ve çöktürülmesidir.

Kaynatmadan 108,5 °C de çıkan sıcak şıranın sıcaklığı, şıra soğutma bölümünde, 10 °C olan fermantasyon sıcaklığına düşürülerek fermantasyon bölümüne verilir. Burada uygulanan mayalandırma işlemi, şıralama esnasında çözünürlük kazanmış olan şekerin, mayaların etkisiyle alkol ve karbondioksit dönüşmesini sağlar. Mayalanma sırasında açığa çıkan karbondioksit ise kabın üst bölümünde kalın bir köpük tabakası oluşturur. Kullanılan mayanın türüne göre 10 °C – 12 °C de 7-10 gün süre ile yavaş mayalama gerçekleşir. Asıl mayalama denen bu işlemi ikinci bir mayalama izler, böylece bira karbondioksit doymuş vaziyete gelir, durulur ve istenen tadı alır.

Biranın istenen berraklığını elde etmek için, doluma gitmeden önce en az bir kez filtre edilmesi gerekmektedir. Çeşitli süzme teknikleri vardır. Efes Pilsen’de Kieselguhr Filtresi ve PVPP (Poli Vinil Poli Prolidan) kullanılır. Kieselguhr Filtresi; yatay filtre, dikey filtre, plaka çerçeve filtresi olmak üzere üç tiptedir. Plakalı filtre boş çerçeveler, delikli saç ve filtre kağıdından oluşmaktadır. Çerçeveler, filtre için gerekli kalınlığı sağlar. Pratikte asıl süzücü olarak kağıt filtre kullanılır. PVPP; plastik, bir malzemedir. Biraya acılık veren ve tadını bozan maddeleri tutar. Stabilizasyonu bozan maddeleri de tutarak biranın ömrünün uzamasını sağlar. Filtreler %17’lik kostik ile yıkanarak tekrar kullanılabilir.

Dinlendirme sonunda bir miktar tortu dibe çökmüştür. Fakat bira hala bulanıktır. Bu bulanıklığı gidermek için bira süzülür. Filtrasyonda bazı noktalara dikkat etmek gerekir. Bira mümkün olduğu kadar steril olmalı, biradaki karbondioksit kaybı önlenmelidir. Ayrıca biranın hava ile temas etmesi ve okside olması engellenmelidir. Filtre işleminden iyi bir sonuç elde etmek için birayı mümkün olduğunca soğutmak gerekmektedir. İyi filtrasyon, biranın filtre içindeki sıcaklığının yükselmesine engel olarak tortuların ayrıştırılmasıdır. Süzülen bira çekme tanklarında toplanır. Bira bu tanklardan doluma yollanır.

Filtre işlemine geçmeden önce filtre yavaşça ve basınçsız olarak soğuk su ile doldurulur. Suyun ısısının, bira sıcaklığına soğuyuncaya kadar suyun akmasına izin verilir. Filtre doldurulduktan sonra, filtredeki havayı dışarı atmak için 2 atm basınçtaki su filtreden geçirilir. Gözetleme camındaki hava çıkış vanaları açık bırakılır. Ancak filtre süresince ve havanın boşaltılmasında filtre plakaları hidrolik ünite ile maksimum 30-35 atm basınca kadar sıkıştırılır. Hava plaka ve çerçeveler arasından geçer. Daha sonraki işlem olan ön kaplama sırasında filtre çıkışındaki hava çıkış vanaları açık tutulur. Filtrenin havası boşaltıldıktan

sonra hava bira veya su ile birlikte filtreye tekrar girmemelidir. Filtrasyonun başında katlanan kağıtların hemen tıkanmasını önlemek için ön kaplama yapılır. Gerekli kieselguhr miktarı 1 m<sup>2</sup>'lik filtre yüzeyi için 500-1000gr'dır. Bu miktar kieselguhr dozlama ünitesinde su ile çamur haline getirilir. Kaplama anında yaklaşık 2 bar basınç uygulanır. Bira kieselguhr ile birlikte boş çerçevelerden girer. Kağıtların üzerinde oluşan kieselguhr tabakasından süzülür. Çıkışta biranın konsantrasyonu kontrol edilir. Filtre ulaşabildiği en son basınca kadar sıkıştırılır. Filtrasyon sonunda bir miktar su filtreye girer. Son bira geldiğinde, filtre çıkışındaki vanalar kapatılır ve filtre boşalana kadar çalışır.

Üretim bölümündeki son yer dolum bölümüdür. Son olarak süzme ya da santrifüjleme yöntemi ile son bir durulamadan geçen bira, karbondioksit basıncı altında fiçılara ya da şişelere aktarılır.

Şişeler dolum makinasının ventilleri vasıtasıyla şu işlemlere tabi tutulur :

Şişenin içindeki hava vakumla emilir.

Şişeye 1,5 bar basınçta CO<sub>2</sub> verilir.

CO<sub>2</sub> tahliye edilirken bira doldurulur.

Şişenin içine çok ince bir su verilerek bira köpürtülür.

Kapsüllemeye giren şişeye kapsülleme pistonları vasıtasıyla kapak basılır ve şişe doldurma makinasını terk eder.

Dolum makinasından çıkan şişeler konveyörlerle pastöre gelir. İki çeşit pastör vardır :

Oda Pastör

Tünel Pastör

Burada kullanılan tünel pastördür. Dolum tamamlandıktan sonra dolu şişeler tünel pastöre yollanır. Tünelde biranın sıcaklığı yükseltilir. Bir süre bu sıcaklıkta tutularak sıcaklık tekrar düşürülür. Pastör çevrimi biranın biyolojik stabilitesini sağlar. Şişelerin belli bir zaman içinde sıcak ve soğuk bölgelerden geçmeleri pastörün ana prensibidir. Sıcak ve soğuk bölgelerden geçen şişelerin üzerine su püskürtülür. Bu suyun sıcaklığı, şişelerde istenilen sıcaklık derecesine erişilinceye kadar yükseltilir. Sıcaklığın istenilen düzeye gelmesi genellikle ön ısıtma ve süper ısıtma bölgelerinde olur.

Bira, yaklaşık olarak 63° C ye kadar ısıtılarak mikrobiyolojik stabilitesi sağlanır.

Pastörizasyon sırasındaki reaksiyonlar biranın tadına etki eder. Amaç minimum pastör derecesine ulaşmaktır. Bu da biradaki bozulmuş organizmaların aktivitelerini kaybetmelerine neden olur.

Pastörizasyon birimi 1 dakika süre ile 60 °C de kalmak şeklinde tanımlanır. (1) denklemlerle pastör birimi verilmiştir.

Şişeler dolduktan ve kapatıldıktan sonra tünel pastöre girerler. Pastördeki şişeler konveyör ile pastör girişinden çıkışına kadar taşınırlar. Bu sırada şişelerin üzerine bira pastör sıcaklığına gelene kadar sıcaklığı sürekli artan sudan geçerler. Pastör sıcaklığı genellikle 63 °C dir. Bu sıcaklıkta bira 20 dakika bekletilir. Sonra üzerine soğuk su püskürtülerek pastör çıkışına kadar gider. Pastörde kullanılan su çok temiz ve pH değeri 8 civarında olmalıdır. Aksi takdirde pastör amacına ulaşmaz.

$$\text{Pastör Birimi} = P.E = 1.393(t-60).z$$

P.E değeri 35-50 arasında olmalıdır. Pastörizasyonun ardından şişenin pastör miktarı düşüğe (30'dan az ise) çabuk tüketilebilecek yerler gönderilmesi gerekir. Bu takdirde etiketlenmeye gönderilir. Pastör miktarı istenilen değerde ise doğrudan etiketlemeye tabi tutulur. Şişelerin üzeri etiketlenmek için tutkalla işaretlenir. Etiketin üzerine imal/son kullanma tarihleri yazılır.

Fıçı dolun süreci, pastörize edilmiş ve soğutulmuş biranın alüminyum veya paslanmaz çelikten yapılmış fıçılara doldurulmasıdır. Filtreden 2-3 °C sıcaklıkta gelen bira doluma gitmeden önce pastörize edilir. Fıçılama şok-pastör uygulanır. Burada rejenerasyon bölümü, ısıtma bölümü, tutucu tüp bölümü ve soğutma bölümü olmak üzere 4 bölüm vardır. Bira, rejenerasyon bölümüne pompalanır ve burada sıcak bira ile ters yönde akarak ısınır. Isıtma bölümünde, pastör derecesi kadar ısıtma işlemi gerçekleştirilir. Burada sıcak su ile ters yönde akması sağlanır. Bundan sonra hesaplanan süre içerisinde tüpte tutulur. Buradaki bira tekrar rejenerasyon bölümüne soğuk, tuzlu su veya alkol ile ters yönde akarak çalışır. Erişilen maksimum sıcaklık 69 °C – 70 °C dir. Soğuk ve pastörize edilmiş bira şok pastörden ayrılarak tampon tanka gelir. Dolun başladığında pastörize edilmiş bira tampon dolun makinalarına pompalanır.

Biranın alkol oranı % 4 – % 6 arasında değişir. Bileşimini ve niteliğini üretim tekniklerine ve hammaddenin niteliğine (özellikle şıralama suyuna) bağlı bir çok etmen belirler. Biranın kalitesini belirleyen unsurlar; tat, aroma, alkol içeriği, besin değeri, renk, köpük, berraklık ve karbondioksittir.

## 6. BİRA ÜRETİM AŞAMALARININ TERMODİNAMİK ANALİZİ

### 6.1 Termodinamik Analiz

Bu tezin konusu olan bira üretiminin termodinamik analizi yapılırken kullanılacak denklem, (3.69) no lu denklemin birim kütleye göre olan şeklidir :

$$e = h - h_0 - T_0(s - s_0) \quad (3.70)$$

Bu formül kullanılarak buna yardımcı olması açısından kullanılacak diğer denklemler ise;

$$h = c_p T \quad (3.71)$$

ve

$$s - s_0 = c_v \ln\left(\frac{T}{T_0}\right) \quad (3.72)$$

şeklindedir.

Buharla ısıtılma yapılan dış kaynatıcıdaki buharın ekserjisini hesaplanırken ise

$$Q = m_{buhar} h_{buhar} - h_{sıv} \quad (3.73)$$

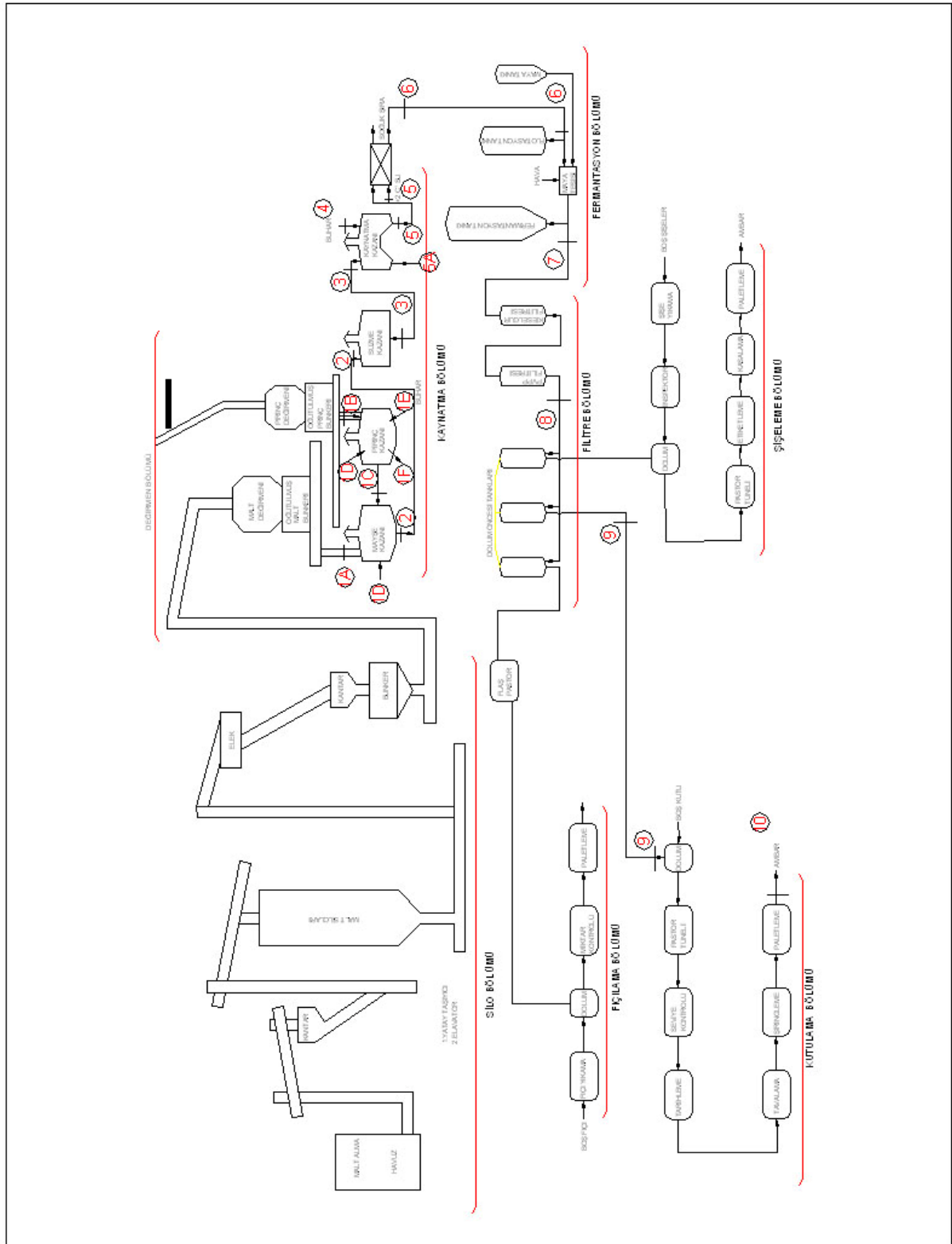
Daha sonra bulunan Q değeri kullanılarak  $E_{buhar}$  hesaplanır :

$$E_{buhar} = Q\left(1 - \frac{T_0}{T}\right) \quad (3.74)$$

Yukarda verilen denklemler hesaplama yapılırken akışkanın özgül ısılarına (  $c$ ,  $c_p$ ,  $c_v$  ) ihtiyaç duyulur. Prosesler sabit hacim ve sabit basınçta olduğu için, akışkanların  $c_p$  ve  $c_v$  değerleri eşit kabul edilmiştir.

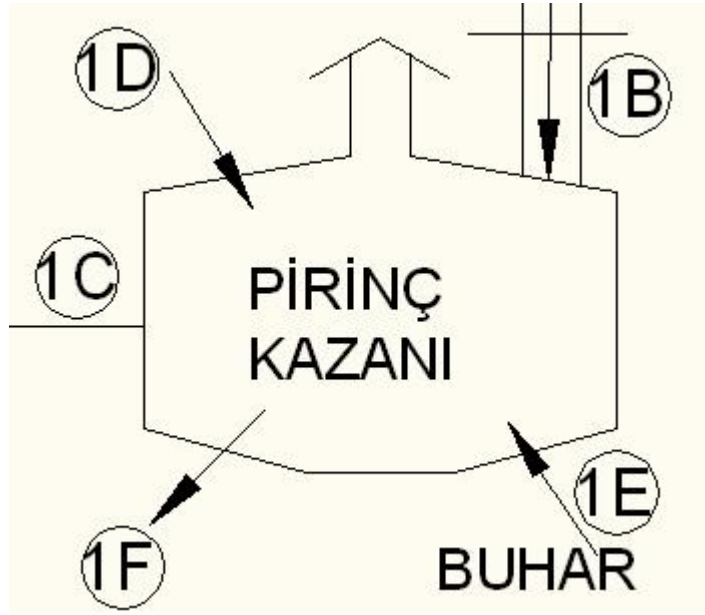
### 6.2 Bira Üretiminin Ekserjileri

Sayfa. 43 de verilen akım şemasına göre önce kaynatma bölümü, ardından fermantasyon ve dinlenme bölümleri daha sonra da filtrasyon ile birlikte dolun bölümlerinin incelenmesi yapılacaktır.



Şekil 6.1 Bira Üretim Prosesinin Akım Şeması ve Akış Numaraları

### 6.2.1 Pirinç Kazanı



Şekil 6.2 Pirinç Kazanı

Pirinç, pirinç kazanına  $62^{\circ}\text{C}$  de iniyor bu kısım 1B akış noktası olarak incelenmiştir. 1E akışından sisteme buhar veriyoruz ve 1F akışından da kondens suyu çıkışı gerçekleşmektedir. Pirinç rasttan sonra  $103,5^{\circ}\text{C}$  ye ulaşmaktadır bu aşamadan sonra 1 C noktasından çıkış yaparak Mayşe kazanına gitmektedir. İncelenecn kazanların yerleşimi Ek 1 de gösterilmiştir.

#### 6.2.1.1 Pirinç Kazanındaki Ekserji Analizi

Şekilde verilen akışların termodinamiksel özellikleri aşağıdaki gibidir :

##### 6.2.1.1.1 1B Numaralı Akış

Ürün : Pirinç

$$T = 62 + 273 = 335^{\circ}\text{K}$$

$$c = c_v = c_p = 2,05 \text{ kJ/kgK}$$

Denklem (3.71) e göre

$$h = c_p T = 2,05 \times 335 = 668,75 \text{ kJ/kg}$$

$$h_0 = c_p T_0 = 2,05 \times 298 = 610,9 \text{ kJ/kg}$$

$$T_0 = 25 + 273 = 298^{\circ}\text{K}$$

$$s - s_0 = c_v \ln\left(\frac{T}{T_0}\right) = 2,05 \times \ln\left(\frac{335}{298}\right) = 0,239 \text{ kJ/kg}^{\circ}\text{K}$$

$$e = h - h_0 - T_0(s - s_0) = 668,75 - 610,9 - (298 \times 0,239) = 4,352 \text{ kJ/kg}$$

**6.2.1.1.2 1C Numaralı Akış**

Ürün : Pirinç

$$T = 103,5 + 273 = 376,5^0 \text{ K}$$

$$c = c_v = c_p = 2,05 \text{ kJ/kgK}$$

Denklem (3.71) e göre

$$h = c_p T = 2,05 \times 376,5 = 771,82 \text{ kJ/kg}$$

$$h_0 = c_p T_0 = 2,05 \times 298 = 610,9 \text{ kJ/kg}$$

$$T_0 = 25 + 273 = 298^0 \text{ K}$$

$$s - s_0 = c_v \ln\left(\frac{T}{T_0}\right) = 2,05 \times \ln\left(\frac{376,5}{298}\right) = 0,479 \text{ kJ/kg}^0 \text{ K}$$

$$e = h - h_0 - T_0(s - s_0) = 771,82 - 610,9 - (298 \times 0,479) = 18,08 \text{ kJ/kg}$$

**6.2.1.1.3 1D Numaralı Akış**

Ürün : Su

$$T = 50 + 273 = 323^0 \text{ K}$$

$$c = c_v = c_p = 4,18 \text{ kJ/kgK}$$

Denklem (3.71) e göre

$$h = c_p T = 4,18 \times 323 = 1350,14 \text{ kJ/kg}$$

$$h_0 = c_p T_0 = 4,18 \times 298 = 1245,64 \text{ kJ/kg}$$

$$T_0 = 25 + 273 = 298 \text{ K}$$

$$s - s_0 = c_v \ln\left(\frac{T}{T_0}\right) = 4,18 \times \ln\left(\frac{323}{298}\right) = 0,34 \text{ kJ/kgK}$$

$$e = h - h_0 - T_0(s - s_0) = 1350,14 - 1245,64 - (298 \times 0,34) = 4,15 \text{ kJ/kg}$$

Mayşe kazanına ve pirinç kazanına giren suyun sıcaklıkları aynı olduğu için bu nokta ortak alınmıştır. Fakat Toplam Ekserji tablosunda HL leri farklı olduğu için Mayşe kazanına giren Su 1D\* ile gösterilmiştir.

**6.2.1.1.4 1E Numaralı Akış**

Ürün : Doymuş Buhar

4 Numaralı akıştaki şartlarla aynı şartlara sahiptir :

$$m_{\text{buhar}} = 270 \text{ kg}$$

$$e_{\text{buhar}} = 623,791 \text{ kJ/kg}$$

### 6.2.1.1.5 1F Numaralı Akış

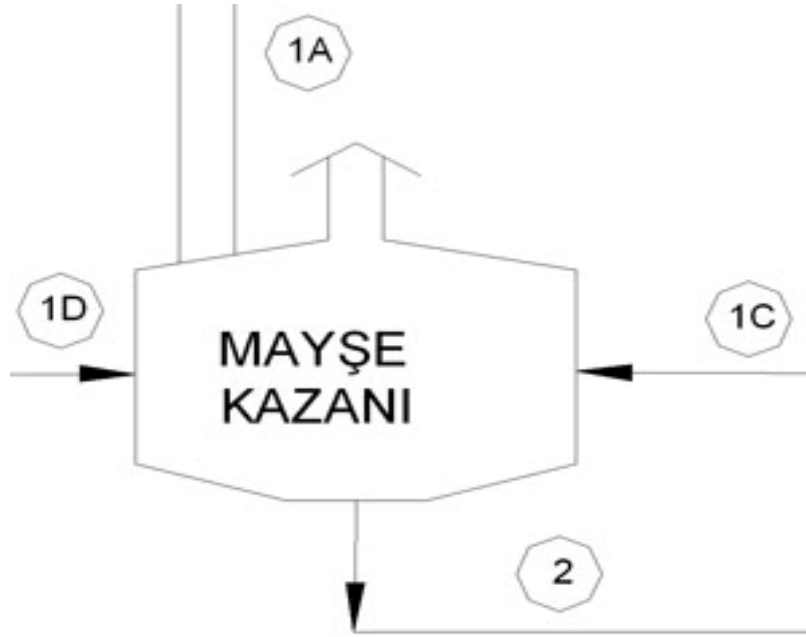
Ürün : Kondens suyu

$T = 152^{\circ}\text{C}$

5A Numaralı akıştaki şartlarla aynı şartlara sahiptir :

$e_{1f} = 342,11 \text{ kJ/kg}$

### 6.2.2 Mayşe Kazanı



Şekil 6.3 Mayşe Kazanı

Su mayşe kazanına  $50^{\circ}\text{C}$ 'de 1D nolu akışdan giriş yapıyor. Malt ise öğütücüden kazana  $62^{\circ}\text{C}$ 'de iniyor. Şeklimizde bu 1A nolu akış olarak verilmiştir. Aynı sırada pirinç, pirinç kazanından  $103,5^{\circ}\text{C}$ 'de kazanımıza 1C nolu akışında temsil edildiği şekilde giriyor. ( Bu akıştan önce pirinç kazanındaki proses de incelenir: pirinç, pirinç kazanına  $62^{\circ}\text{C}$  de iniyor bu kısmı 1B akışı olarak inceleniyor ve rasttan sonra  $103,5^{\circ}\text{C}$ 'ye ulaşıyor.) Burada 3 ürününün ortak sıcaklığı  $68^{\circ}\text{C}$  ortalamaya geliyor, daha sonra 10 dakika bekletiliyor ve sıcaklık  $72^{\circ}\text{C}$ 'ye ulaşıyor. 45 dakika rasta bırakılan Mayşe kazanımızı 2 akışında terkederken  $76^{\circ}\text{C}$  sıcaklığına ulaşmış durumdadır.

### 6.2.2.1 Mayşe Kazanındaki Ekserji Analizi

Şekilde verilen akışların termodinamiksel özellikleri aşağıdaki gibidir :

#### 6.2.2.1.1 1A Numaralı Akış

Ürün : Malt

$$T = 50 + 273 = 323 \text{ K}$$

$c = c_v = c_p = 0,4 \text{ kJ/kgK}$  (değer Efes Pilsen Afyon Malt Fabrikasından alınmıştır )

Denklem (3.71) e göre

$$h = c_p T = 0,4 \times 323 = 128,4 \text{ kJ/kg}$$

$$h_0 = c_p T_0 = 0,4 \times 298 = 119,2 \text{ kJ/kg}$$

$$T_0 = 25 + 273 = 298^0 \text{ K}$$

$$s - s_0 = c_v \ln\left(\frac{T}{T_0}\right) = 0,4 \times \ln\left(\frac{323}{298}\right) = 0,0297 \text{ kJ/kg}^0\text{K}$$

$$e = h - h_0 - T_0(s - s_0) = 119,2 - 128,4 - (298 \times 0,0297) = 0,3377 \text{ kJ/kg}$$

#### 6.2.2.1.2 2 Numaralı Akış

Ürün : Mayşe

$$T = 76 + 273 = 349 \text{ K}$$

$c = c_v = c_p = 1,12 \text{ kJ/kgK}$

Denklem (3.71) e göre

$$h = c_p T = 1,12 \times 349 = 390 \text{ kJ/kg}$$

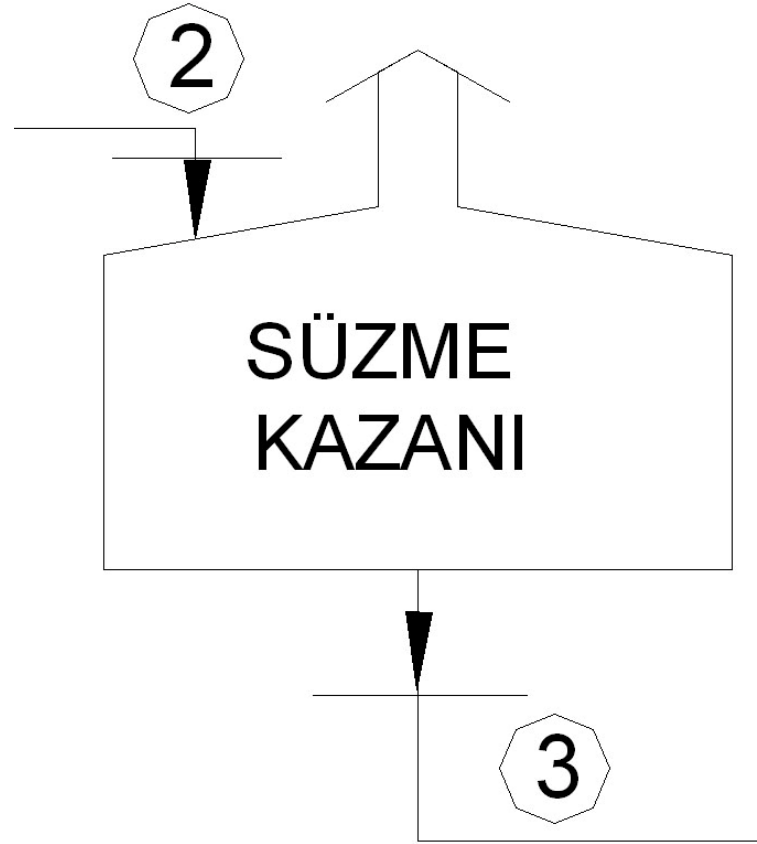
$$h_0 = c_p T_0 = 1,12 \times 298 = 333 \text{ kJ/kg}$$

$$T_0 = 25 + 273 = 298 \text{ K}$$

$$s - s_0 = c_v \ln\left(\frac{T}{T_0}\right) = 1,12 \times \ln\left(\frac{349}{298}\right) = 0,176 \text{ kJ/kgK}$$

$$e = h - h_0 - T_0(s - s_0) = 390 - 333 - (298 \times 0,176) = 4,393 \text{ kJ/kg}$$

### 6.2.3 Süzme Kazanı



Şekil 6.4 : Süzme Kazanı

Gelen mayşe burada duşlama yöntemiyle süzülüyor. Süzme kazanının içinde 10 cm kadar su bulunuyor ( $76^{\circ}\text{C}$ ). Mayşeyi eşit alabilmek için %75 açık pozisyonda, 4 tane ventil bulunmakta. Bu ventillerden mayşe çekilmekte ve duşlama sayesinde küspe şıradan ayrılıyor ve bu prosesten çıkan ürün şıra oluyor. Bu noktadan sonra kaynatma kazanlarına  $76^{\circ}\text{C}$ 'de yollanıyor.

#### 6.2.3.1 Süzme Kazanındaki Ekserji Analizi

Şekilde verilen akışların termodinamiksel özellikleri aşağıdaki gibidir :

##### 6.2.3.1.1 3 Numaralı Akış

Ürün : Şıra

$$T = 76 + 273 = 349 \text{ K}$$

$$c = c_v = c_p = 4,05 \text{ kJ/kgK}$$

Denklem (3.71) e göre

$$h = c_p T = 4,05 \times 349 = 1413 \text{ kJ/kg}$$

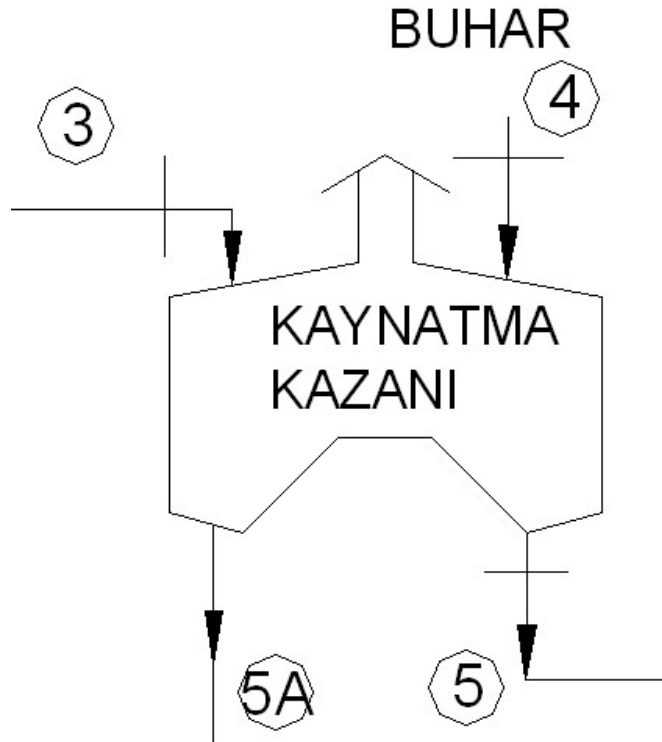
$$h_0 = c_p T_0 = 4,05 \times 298 = 1206,9 \text{ kJ/kg} \quad T_0 = 25 + 273 = 298^0 \text{ K}$$

$$s - s_0 = c_v \ln\left(\frac{T}{T_0}\right) = 4,05 \times \ln\left(\frac{349}{298}\right) = 0,639 \text{ kJ/kg}^0\text{K}$$

$$e = h - h_0 - T_0(s - s_0) = 1413 - 1206,9 - (298 \times 0,639) = 15,88 \text{ kJ/kg}$$

#### 6.2.4 Kaynatma Kazanı

Kaynatma kazanı süzme tankından gelen şıraların %53 (530 HL) seviyesine gelmesiyle birlikte ısıtmaya başlıyor dış kaynatıcıya yollanan şıra buhar ile ısıtılıyor. Bu arada belirli dakikalarda aroma otları katılıyor. Aroma ve şerbetçi otu kaynatma kazanında dahil ediliyor. Ama şıra dış kaynatıcıyla kaynatma kazanı arasında sürekli bir sirkülasyon yaparak ısısını artırıyor. Burada iki akışımız bulunmakta biri çıkış anındaki şıradır, ki bu noktada 103,5<sup>0</sup>C sıcaklıkta soğutulmak üzere plakalı eşanjöre gönderilmektedir. Bir diğer akış ise buharımızın dış kaynatıcıya girdiği 4 Numaralı akıştır. Oluşan kondens suyu da sistemi 5A numaralı akıştan terketmektedir.



Şekil 6.5 Kaynatma Kazanı

### 6.2.4.1 Kaynatma Kazanındaki Ekserji Analizi

Şekilde verilen akışların termodinamiksel özellikleri aşağıdaki gibidir :

#### 6.2.4.1.1 4 Numaralı Akış

Ürün : Doymuş Buhar

$$h_g = 2748 \text{ kJ/kg}$$

$$h_f = 660,5 \text{ kJ/kg}$$

$$m_{\text{buhar}} = 2475,108 \text{ kg}$$

$$T = 152 + 273 = 425 \text{ K}$$

$$Q = m_{\text{sira}} c_{\text{sira}} \Delta T = (105 \times 450) \times 4,05 \times 27 = 5166788 \text{ kJ}$$

$$E_{\text{buhar}} = Q \left(1 - \frac{T_0}{T}\right) = 5166788 \left(1 - \frac{298}{425}\right) = 1543958 \text{ kJ}$$

$$e_{\text{buhar}} = 1543958 / 2475,108 = 623,791 \text{ kJ/kg}$$

#### 6.2.4.1.2 5 Numaralı Akış

Ürün : Şıra

$$T = 103,5 + 273 = 376,5 \text{ K}$$

$$c = c_v = c_p = 4,05 \text{ kJ/kgK}$$

Denklem (3.71) e göre

$$h = c_p T = 4,05 \times 376 = 1524,85 \text{ kJ/kg}$$

$$h_0 = c_p T_0 = 4,05 \times 298 = 1206,9 \text{ kJ/kg}$$

$$T_0 = 25 + 273 = 298 \text{ K}$$

$$s - s_0 = c_v \ln\left(\frac{T}{T_0}\right) = 4,05 \times \ln\left(\frac{376,5}{298}\right) = 0,946 \text{ kJ/kgK}$$

$$e = h - h_0 - T_0(s - s_0) = 1524,85 - 1206,9 - (298 \times 0,946) = 35,72 \text{ kJ/kg}$$

#### 6.2.4.1.3 5A Numaralı Akış

Ürün : Konsens suyu

$$T = 152 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$c = c_v = c_p = 4,18 \text{ kJ/kgK}$$

Denklem (3.71) e göre

$$h = c_p T = 4,18 \times 152 = 635,36 \text{ kJ/kg}$$

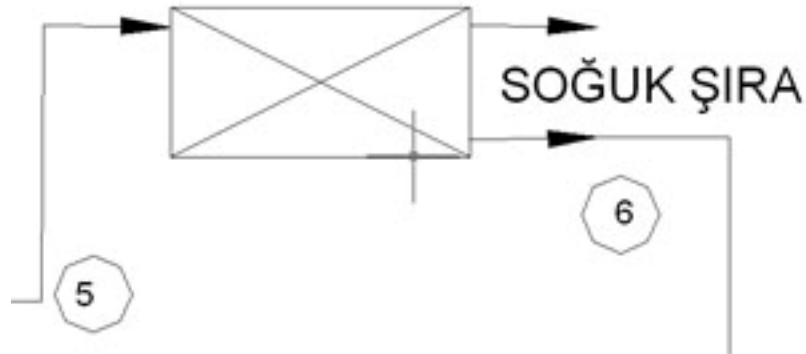
$$h_0 = c_p T_0 = 4,18 \times 25 = 104,5 \text{ kJ/kg} \quad T_0 = 25 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$s - s_0 = c_v \ln\left(\frac{T}{T_0}\right) = 4,18 \times \ln\left(\frac{152}{25}\right) = 7,55 \text{ kJ/kgK}$$

$$e = h - h_0 - T_0(s - s_0) = 635,36 - 104,5 - (25 \times 7,55) = 342,11 \text{ kJ/kg}$$

### 6.2.5 Plakalı Soğutucu

Plakalı soğutucunun görevi  $103,5^\circ\text{C}$  de gelen şırayı fermantasyon şartlarına hazırlamaktır. Fermantasyon şartlarına uygun hale gelebilmesi için  $10^\circ\text{C}$  de şıranın çıkması gerekmektedir. Bunu sağlayabilmek için de  $2^\circ\text{C}$  de buzlu su tabir edilen su eşanjöre giriş yapıyor ve bu su  $60^\circ\text{C}$  de çıkış yapmaktadır. Buradan çıkan şıra fermantasyona giderken fermantasyon tankına aynı anda hava, ve maya yollanmaktadır. Bu 3 ürünün de aynı anda tanka girmesi sağlanmaktadır.



Şekil 6.6 Plakalı Eşanjör

#### 6.2.5.1 Plakalı Soğutucudaki Ekserji Analizi

Şekilde verilen akışın termodinamiksel özellikleri aşağıdaki gibidir :

##### 6.2.5.1.1 6 Numaralı Akış

Ürün : Şıra

$$T = 10 + 273 = 283 \text{ K}$$

$$c = c_v = c_p = 4,05 \text{ kJ/kgK}$$

Denklem (3.71) e göre

$$h = c_p T = 4,05 \times 283 = 1146,15 \text{ kJ/kg}$$

$$h_0 = c_p T_0 = 4,05 \times 298 = 1206,9 \text{ kJ/kg}$$

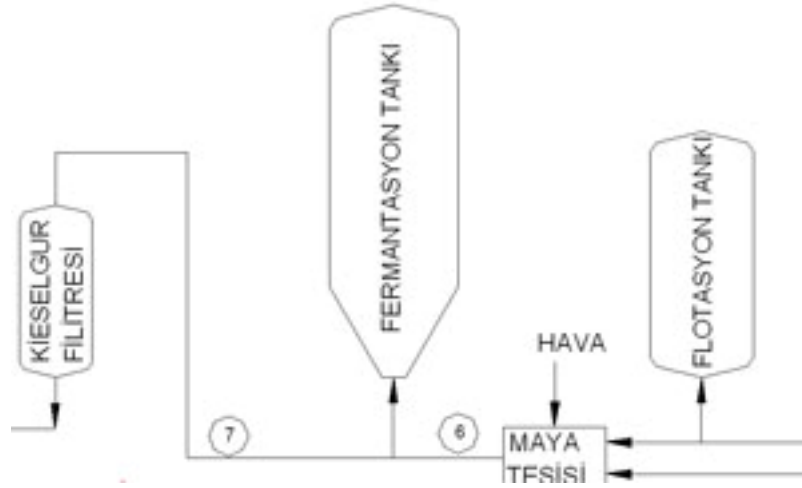
$$T_0 = 25 + 273 = 298 \text{ K}$$

$$s - s_0 = c_v \ln\left(\frac{T}{T_0}\right) = 4,05 \times \ln\left(\frac{283}{298}\right) = -0,209 \text{ kJ/kgK}$$

$$e = h - h_0 - T_0(s - s_0) = 1146,15 - 1206,9 - (298 \times -0,209) = 1,58 \text{ kJ/kg}$$

### 6.2.6 Fermantasyon Tankı

Fermantasyon tankında 10<sup>0</sup>C de giriş yapan şıra maya ile birlikte mayalanmaya başlıyor. Yaklaşık 6 gün süren ( cinsine göre değişebiliyor Normal Pilsener birada 6 gün sürüyor ) mayalanma sonunda dibe çöken mayalar dışarı alınarak maya üretme odasına gönderiliyor. Bu arada tankın içindeki biranın sıcaklığı mayalanmadan dolayı 12<sup>0</sup>C ye çıkmış durumda, buradan filitrelemeye giderken -1<sup>0</sup>C ' ye gelmesi lazım, bunu sağlayabilmek için de tank soğutulma işlemi başlatılıyor. Bu işlemde yaz ve kış günlerine göre kompresörlerin güç tüketimine göre değişmekle birlikte 3 gün sürmektedir. 3 günün ardından tankta dinlenmeye bırakılıyor. Eskiden başka bir tanka nakli söz konusu olmuş ama şuanda sadece fermantasyon tankında dinlenme evresini geçiriyorlar. Dinlenme evresi de gene çeşitlik göstermekle birlikte bu proste incelenen biranın dinlenme süresi 6 gün sürmüştür. Alınan örnek Laboratuvardan olumlu sonuç aldıktan sonra Filtre bölümüne gönderiliyor, buradan çıkarken sıcaklığı -1<sup>0</sup>C' tir. Fermantasyon tanklarının yerleşim panı Ek 2 de verilmiştir.



Şekil 6.7 : Fermantasyon Tankı

#### 6.2.6.1 Fermantasyon Tankındaki Ekserji Analizi

Şekilde verilen akışın termodinamiksel özellikleri aşağıdaki gibidir :

### 6.2.6.1.1 7 Numaralı Akış

Ürün : Bira

$$T = -1 + 273 = 272 \text{ K}$$

$$c = c_v = c_p = 3,95 \text{ kJ/kgK}$$

Denklem (3.71) e göre

$$h = c_p T = 3,95 \times 272 = 1080,32 \text{ kJ/kg}$$

$$h_0 = c_p T_0 = 3,95 \times 298 = 1177,1 \text{ kJ/kg}$$

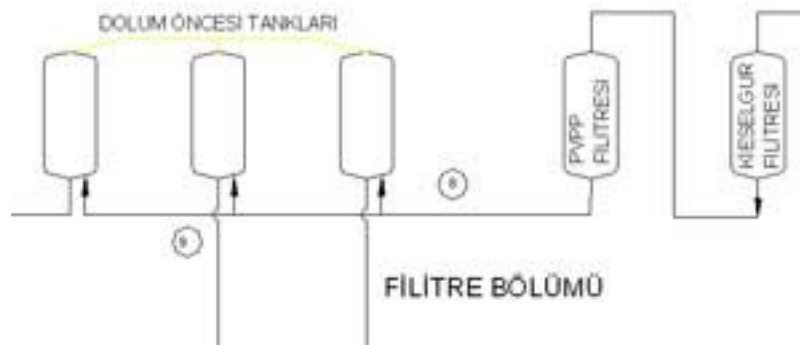
$$T_0 = 25 + 273 = 298 \text{ K}$$

$$s - s_0 = c_v \ln\left(\frac{T}{T_0}\right) = 3,95 \times \ln\left(\frac{272}{298}\right) = -0,36 \text{ kJ/kgK}$$

$$e = h - h_0 - T_0(s - s_0) = 1080,32 - 1177,1 - (298 \times -0,36) = 4,759 \text{ kJ/kg}$$

### 6.2.7 Filtrasyon

Filtreye geldiğinde şıra eğer ürünün sıcaklığında artış olmuşsa soğutuluyor. Bu incelenen proste bira  $-1^{\circ}\text{C}$  ' de geldiği için buna gerek duymadan Filtre bölümüne verilmiştir. Burada ilk olarak tampon tanka alınıp bekletiliyor. Kimyasal filtre tankına gönderiliyor.(Kieselgur tankı)Bu tankda film tabakası var; gözeneklerinden sadece bira geçiyor; eğer tortular varsa burada takılıyorlar. Daha sonra PVP filtre tankına gönderiliyor. Burada da film tabaksını PVP denilen maddeyi dozlayarak oluşturuyorlar. Kimyasalları absobe etmeye yarıyor. Sonra son filtrasyon tankına geçiyor. Buradaki tankda  $\text{CO}_2$  değeri ve aroma değerleri kontrol ediliyor. Filtreleme işlemi bittikten sonra son olarak filtreleme bölümündeki tampon tanka depolanıyor ve doldurma istasyonundan çağrılmayı bekliyor. Tanka dolduğu sırada sıcaklığı  $2^{\circ}\text{C}$  dir.



Şekil 6.8 : Filtre Bölümü

### 6.2.7.1 Filtrasyonun Ekserji Analizi

Şekilde verilen akışın termodinamiksel özellikleri aşağıdaki gibidir :

#### 6.2.7.1.1 8 Numaralı Akış

Ürün : Bira

$$T = 2 + 273 = 275 \text{ K}$$

$$c = c_v = c_p = 3,95 \text{ kJ/kgK}$$

Denklem (3.71) e göre

$$h = c_p T = 3,95 \times 275 = 1086,25 \text{ kJ/kg}$$

$$h_0 = c_p T_0 = 3,95 \times 298 = 1177,1 \text{ kJ/kg}$$

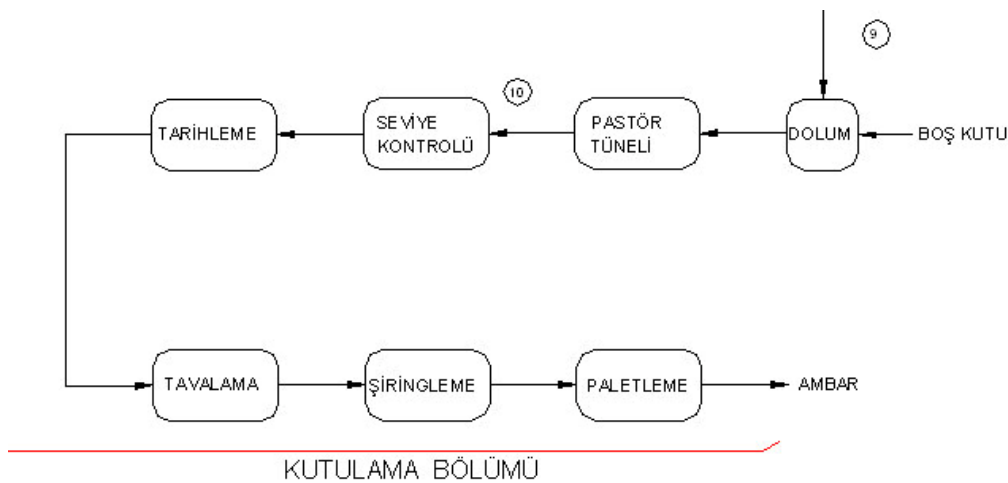
$$T_0 = 25 + 273 = 298 \text{ K}$$

$$s - s_0 = c_v \ln\left(\frac{T}{T_0}\right) = 3,95 \times \ln\left(\frac{275}{298}\right) = -0,317 \text{ kJ/kgK}$$

$$e = h - h_0 - T_0(s - s_0) = 1086,25 - 1177,1 - (298 \times -0,317) = 3,697 \text{ kJ/kg}$$

### 6.2.8 Kutu Dolum

Kutu dolum aşamasında bira filtre bölümündeki tampon tanktan çağırılıyor saatte 250 hL / saat kapasiteyle çalışmaktadır. Doluma gelirken tankta bekleyen bira biraz ısınıp geliyor. Bu noktada sıcaklığı  $2,5^{\circ}\text{C}$  dir. Dolum sırasında kutuya dolduktan sonra pastörizasyon tüneline giriyor. Bu tünelde 8 ünite var. Burada sıcaklıklar 1. ve 8. ünite  $24^{\circ}\text{C}$  , 2. ve 7. ünite  $42,5^{\circ}\text{C}$ , 3. ve 6. ünite  $52,5^{\circ}\text{C}$ , 4. ünite  $62,5^{\circ}\text{C}$  ve 5. ünite  $62^{\circ}\text{C}$ ' dir. Pastörizasyondan çıktıktan sonra tarih ve etiketlenme kısımlarına daha sonra da depolanmaya gitmektedir.



Şekil 6.9 : Kutulama Bölümü

### 6.2.8.1 Kutu Dolu Ekserji Analizi

Şekilde verilen akışların termodinamiksel özellikleri aşağıdaki gibidir :

#### 6.2.8.1.1 9 Numaralı Akış

$$\text{Ürün : Bira} \quad T = 2,5+273=275,5 \text{ K}$$

$$c = c_v = c_p = 3,95 \text{ kJ/kgK}$$

$$\text{Denklem (3.71) e göre} \quad h = c_p T = 3,95 \times 275,5 = 1088,225 \text{ kJ/kg}$$

$$h_0 = c_p T_0 = 3,95 \times 298 = 1177,1 \text{ kJ/kg} \quad T_0 = 25 + 273 = 298 \text{ K}$$

$$s - s_0 = c_v \ln\left(\frac{T}{T_0}\right) = 3,95 \times \ln\left(\frac{275,5}{298}\right) = -0,310 \text{ kJ/kgK}$$

$$e = h - h_0 - T_0(s - s_0) = 1088,225 - 1177,1 - (298 \times -0,310) = 3,53 \text{ kJ/kg}$$

#### 6.2.8.1.2 10 Numaralı Akış

$$\text{Ürün : Bira} \quad T = 24+273=297 \text{ K}$$

$$c = c_v = c_p = 3,95 \text{ kJ/kgK}$$

$$\text{Denklem (3.71) e göre} \quad h = c_p T = 3,95 \times 297 = 1173,15 \text{ kJ/kg}$$

$$h_0 = c_p T_0 = 3,95 \times 298 = 1177,1 \text{ kJ/kg} \quad T_0 = 25 + 273 = 298 \text{ K}$$

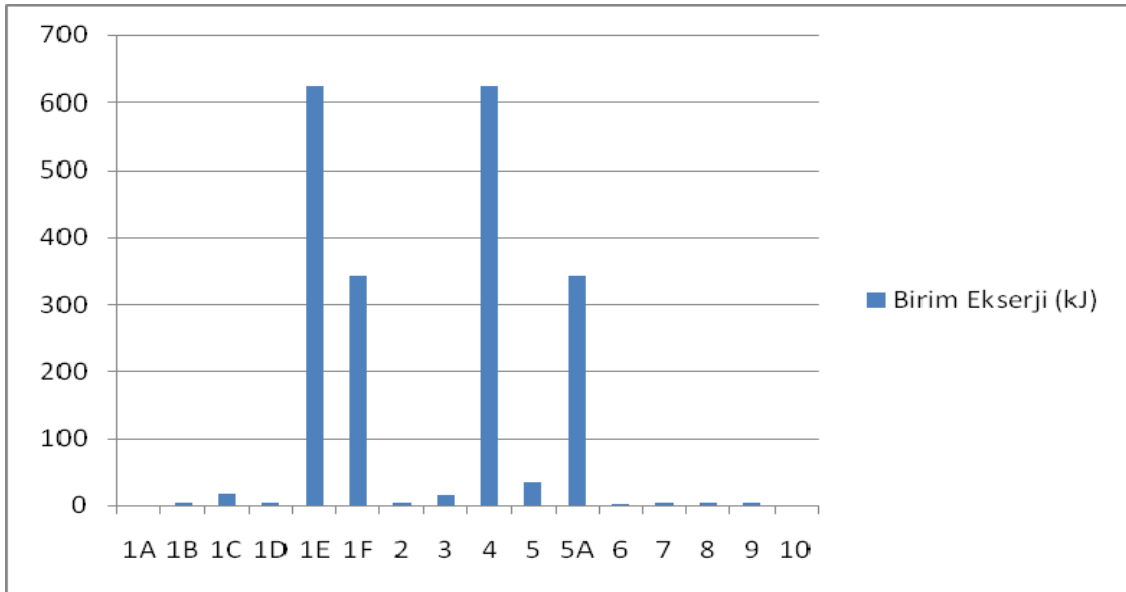
$$s - s_0 = c_v \ln\left(\frac{T}{T_0}\right) = 3,95 \times \ln\left(\frac{297}{298}\right) = -0,013 \text{ kJ/kgK}$$

$$e = h - h_0 - T_0(s - s_0) = 1173,15 - 1177,1 - (298 \times -0,013) = 0,006 \text{ kJ/kg}$$

Yukarıda bulunan Tüm noktaların ekserji kayıpları aşağıdaki Çizelge 6.1 de gösterilmiştir.

**Çizelge 6.1 : Akışların Birim Ekserjileri**

SIRA	Sıcaklık ( <sup>0</sup> C)	Sıcaklık (K)		ÜRÜN	c (kJ/kgK)	h (kJ/kg)	EKSERJİ (kJ/kg)
1A	48	321	K	MALT	0,4	128,4	0,338
1B	62	335	K	PİRİNÇ	2,1	686,75	4,352
1C	103,5	376,5	K	PİRİNÇ	2,1	771,825	18,082
1D	50	323	K	SU	4,1	1350,14	4,15
1E	152	425	K	BUHAR			623,790
1F	152	425	K	SU	4,1	635,36	342,11
2	76	349	K	MAYŞE	1,1	390,88	4,393
3	76	349	K	ŞİRA	4,1	1413,45	15,886
4	152	425	K	BUHAR			623,790
5	103,5	376,5	K	ŞİRA	4,1	1524,825	35,722
5A	152	425	K	SU	4,1	635,36	342,11
6	10	283	K	ŞİRA	4,1	1146,15	1,582
7	-1	272	K	BİRA	4	1074,4	4,759
8	2	275	K	BİRA	4	1086,25	3,697
9	2,5	275,5	K	BİRA	4	1088,225	3,534
10	24	297	K	BİRA	4	1173,15	0,007

**Şekil 6.10 : Akışların Birim Ekserjileri (kJ)**

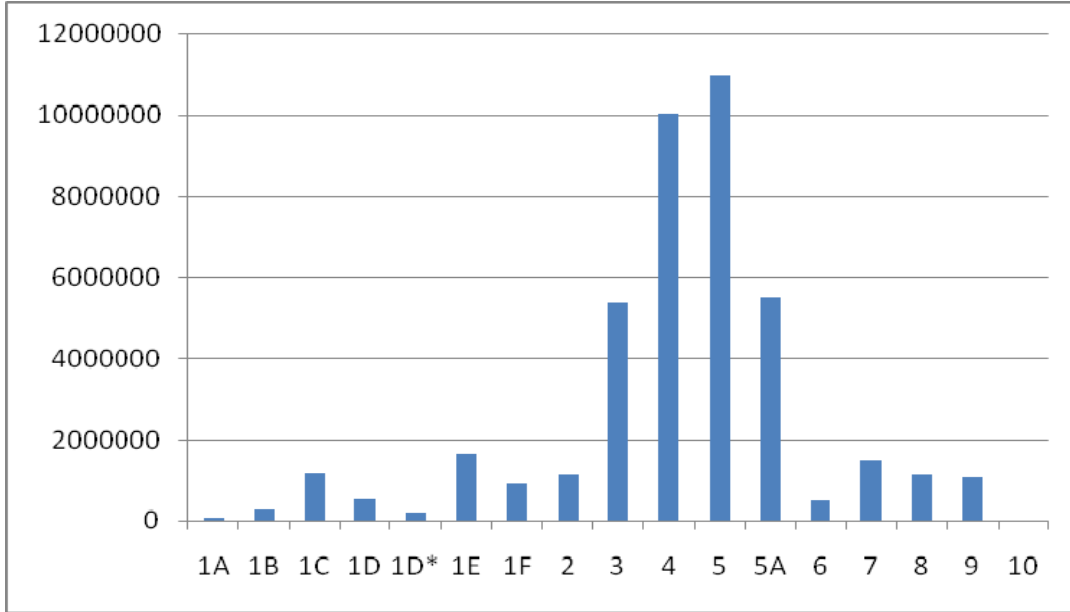
### 6.3 Bira Üretimindeki Aşamaların Toplam Ekserjileri

Hesaplama yapılırken her bir aşamadaki kullanılan ürünlerin hektolitrelere ile yoğunlukları çarpılarak toplam kütle bulunmuştur. Bu toplam kütle ile o prosesin 3000 hl yi kaç uygulamada sağladığı çarpılarak prosesin 3000 hl yi vermesi için gereken kütle miktarı bulunmuştur. Fermantasyon tankını dolduracak olan 3000 hl lik şırayı elde edebilmek için 6,5 kaynatma süresine ihtiyaç vardır. Bu çıkan toplam kütle de yukarıda bulunan birim ekserji kayıpları ile çarpılmış ve sonuç olarak toplam ekserji kayıpları elde edilmiştir.

Bir tek prosesin 4 numaralı akışında kütle bulunurken şıranın toplam ısı ihtiyacı ,doymuş buharın entalpilerinin farkına bölünmesi suretiyle buhar kütlesi bulunmuştur. Bu sonuçlar Tablo 6.2 de gösterilmiştir.

**Çizelge 6.2** : Akışların Toplam Ekserjileri

Akış No	ÜRÜN	Yoğunluk (kg/hl)	Hacim (hl)	Toplam Uygulama Sayısı	Kütle (Kg)	Birim EKSERJİ (kJ/kg)	Toplam EKSERJİ (kJ)
1A	MALT	70	290	9,75	197925	0,34	66852
1B	PIRİNÇ	84	80	9,75	65520	4,35	285148
1C	PIRİNÇ	84	80	9,75	65520	18,08	1184705
1D	SU	100	130	9,75	126750	4,15	526354
1D*	SU	100	130	9,75	48750	4,15	202443
1E	BUHAR		330	9,75	2632,5	623,79	1642127
1F	SU		330	9,75	2632,5	342,11	900605
2	MAYŞE	80	330	9,75	257400	4,39	1130789
3	ŞIRA	105	330	9,75	337837,5	15,88	5366828
4	BUHAR		450	6,5	16088,67	623,79	10035952
5	ŞIRA	105	450	6,5	307125	35,72	10971162
5A	SU		450	6,5	16088,67	342,11	5504094
6	ŞIRA	105	3000	1	315000	1,58	498414
7	BİRA	102	3000	1	306000	4,75	1456294
8	BİRA	102	3000	1	306000	3,69	1131431
9	BİRA	102	3000	1	306000	3,53	1081480
10	BİRA	102	3000	1	306000	0,007	2033



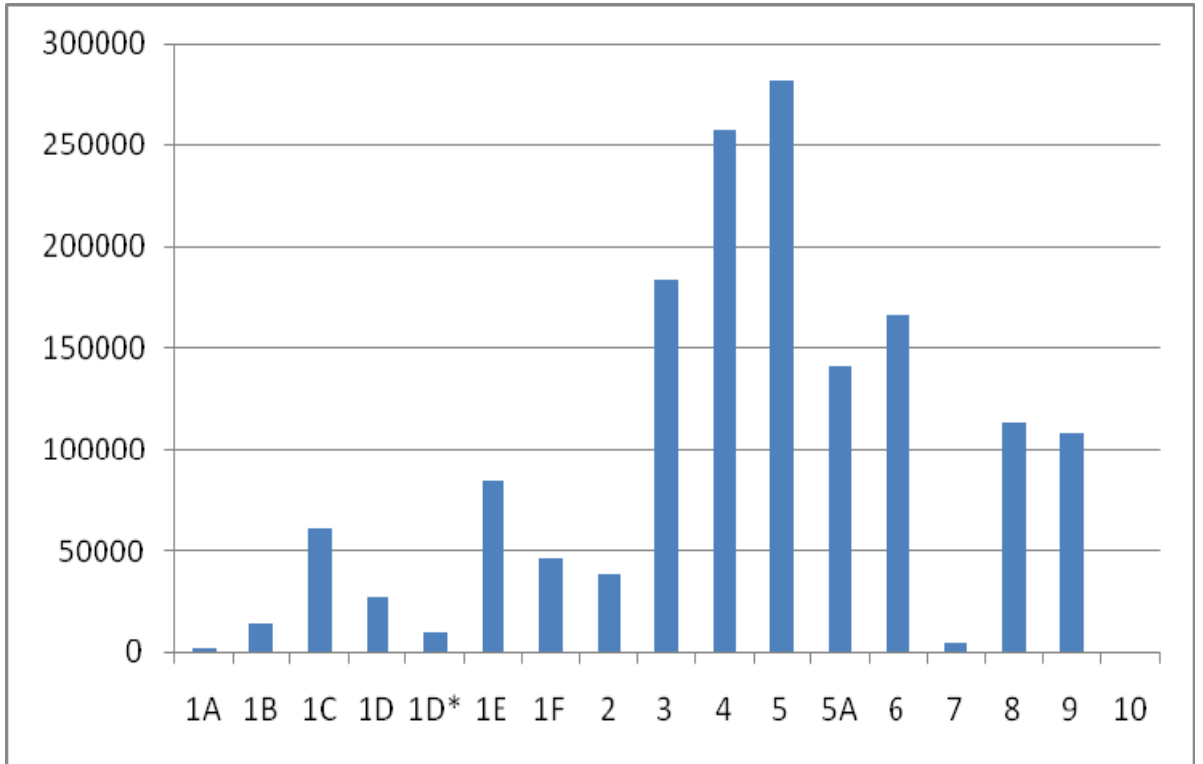
**Şekil 6.11** : Akışların Toplam Ekserjileri (kJ)

#### 6.4 Bira Üretimindeki Aşamalarının Birim Saatteki Ekserjileri

Bu bölümdeki hesaplamalarda birimlerin kaç saat çalıştıkları ve kaç uygulama sonunda 3000 hl ye ulaştıkları baz alınmış, daha sonra da toplam ekserji kaybı toplam saate bölünerek prosesin bir aşamasın daki bir saatlik ekserji kaybı belirlenmiştir. Çıkan sonuçlar Çizelge 6.3 te görülmektedir.

**Çizelge 6.3 : Akışların Birim Saatteki Ekserjileri**

Akış No	ÜRÜN	Toplam Uygulama Sayısı	Bir Uygulamadaki Çalışma Saati	Toplam Çalışma Saati	Toplam Ekserji	Birim Saatteki Ekserji Kaybı
			(h)	T.Uygl. X Çal. Saat.	(kJ)	(kJ/h)
1A	MALT	9,75	4	39	66852	1714
1B	PİRİNÇ	9,75	2	19,5	285148	14623
1C	PİRİNÇ	9,75	2	19,5	1184705	60755
1D	SU	9,75	2	19,5	526354	27000
1D*	SU	9,75	2	19,5	202443	10381
1E	BUHAR	9,75	2	19,5	1642127	84212
1F	SU	9,75	2	19,5	900605	46184
2	MAYŞE	9,75	3	29,25	1130789	38660
3	ŞIRA	9,75	3	29,25	5366828	183482
4	BUHAR	6,5	6	39	10035952	257333
5	ŞIRA	6,5	6	39	10971162	281312
5A	SU	6,5	6	39	5504094	141131
6	ŞIRA	1	3	3	498414	166139
7	BİRA	1	360	360	1456294	4046
8	BİRA	1	10	10	1131431	113144
9	BİRA	1	10	10	1081480	108148
10	BİRA	1	12	12	2033	170

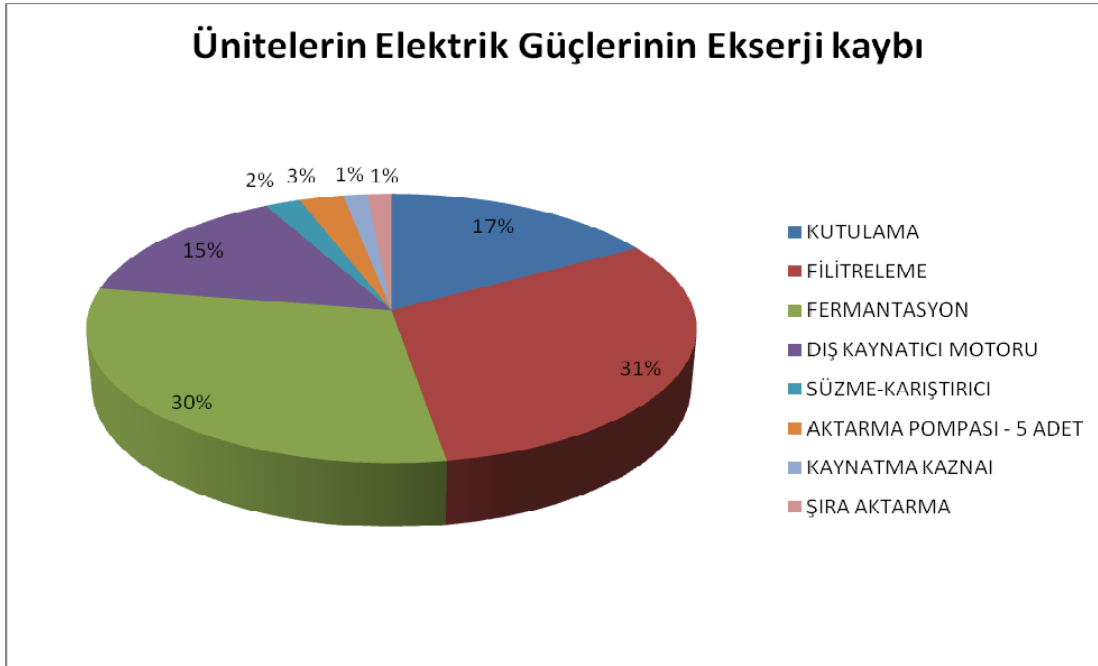
**Şekil 6.12 : Akış Noktalarının Bir Saatteki Ekserjileri**

## 6.5 Ünitelerin Elektrik Güçlerinin Ekserji Kayıpları

İncelenen ünitelerin elektrik güçleri Çizelge 6.4 te verilmiştir :

**Çizelge 6.4 : Ünitelerin Elektrik Güçlerinin Ekserji Kayıpları**

ÜNİTE	ELEKTRİK GÜÇLERİ (kW)	EKSERJİ KAYBI ( kW)
KUTULAMA ÜNİTİLERİ	171,1	171,1
FİLTRELEME ÜNİTELERİ	317	317
FERMANTASYON ÜNİTELERİ	311	311
DIŞ KAYNATICI MOTORU	150	150
SÜZME-KARIŞTIRICI	22	22
AKTARMA POMPASI - 5 ADET	5,5	27,5
KAYNATMA KAZANII	15	15
ŞIRA AKTARMA	15	15

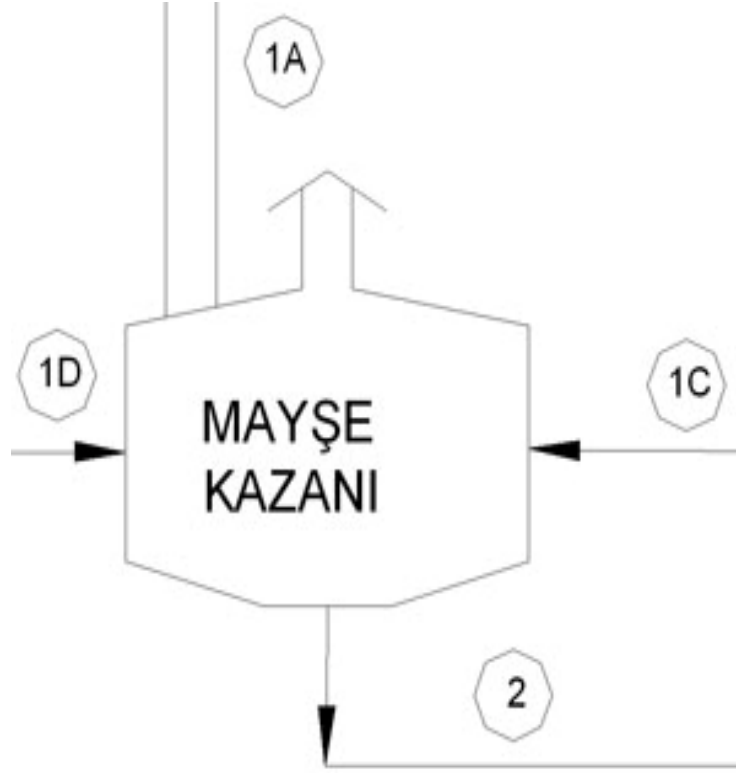


**Şekil 6.13 : Ünitelerin Elektrik Güçlerinin Ekserji Kayıpları**

## 6.6 Bira Üretimindeki Ünitelerin Birim Saatteki Ekserji Kayıpları

Hesaplamalar yapılırken akışların birim saatte kaybolan ekserjileri değerlendirmeye alınmıştır.

### 6.6.1 Mayşe Kazanı



Şekil 6.14 : Mayşe Kazanı

$$E_{\text{mayşe}} = E_{1A} + E_{1C} + E_{1D^*} - E_2$$

$$E_{1A} = 1714 \text{ kJ/h}$$

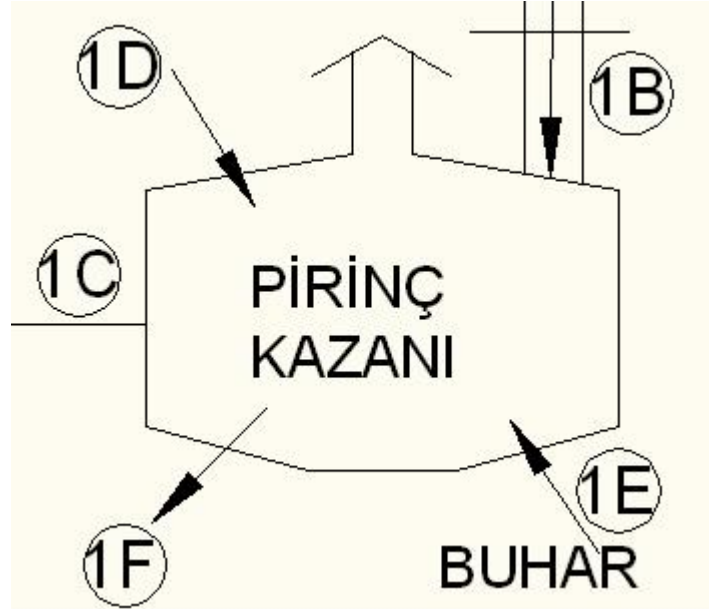
$$E_{1C} = 60755 \text{ kJ/h}$$

$$E_{1D^*} = 10381 \text{ kJ/h}$$

$$E_2 = 29000 \text{ kJ/h}$$

$$E_{\text{mayşe}} = 1714 + 60755 + 10381 - 29000 = 43850 \text{ kJ/h}$$

### 6.6.2 Pirinç Kazanı



Şekil 6.15 : Pirinç Kazanı

$$E_{\text{Pirinç}} = E_{1B} + E_{1D} + E_{1E} - E_{1C} - E_{1F}$$

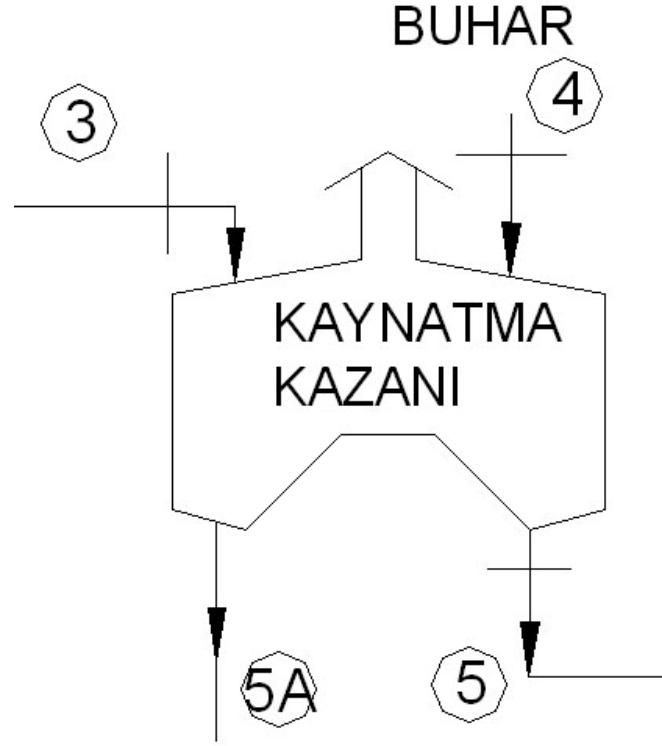
$$E_{1B} = 14622 \text{ kJ/h}$$

$$E_{1C} = 60754 \text{ kJ/h}$$

$$E_{1D} = 27000 \text{ kJ/h}$$

$$E_{\text{Pirinç}} = 14622 + 27000 + 84212 - 60754 - 46184 = 18896 \text{ kJ/h}$$

### 6.6.3 Kaynatma Kazanı



Şekil 6.16 : Kaynatma Kazanı

$$E_{\text{Kaynatma}} = E_3 + E_4 - E_5 - E_{5A}$$

$$E_3 = 183482 \text{ kJ/h}$$

$$E_4 = 257333 \text{ kJ/h}$$

$$E_5 = 281312 \text{ kJ/h}$$

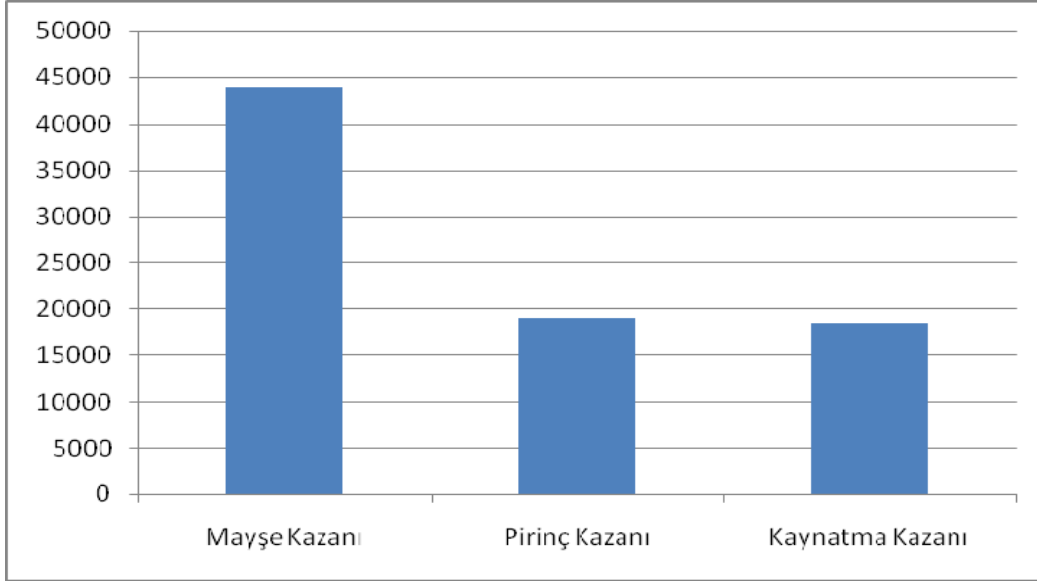
$$E_{5A} = 141131 \text{ kJ/h}$$

$$E_{\text{mayşe}} = 183428 + 25733 - 281314 - 141131 = 18372 \text{ kJ/h}$$

Yukarıda verilen ekserjiler aşağıdaki tabloda gösterilmiştir :

**Çizelge 6.5 : Ünitelerin Birim Saatteki Ekserji Kayıpları**

ÜNİTENİN ADI	EKSERJİ KAYBI (kJ/h)
Mayşe Kazanı	43850
Pirinç Kazanı	18896
Kaynatma Kazanı	18372

**Şekil 6.17 : Ünitelerin Birim Saatteki Ekserji Kayıpları ( kJ/h)**

## 7. SONUÇLAR

Bira üretim aşamasındaki giren ve çıkan ürünlerin ekserji kayıpları hesaplanmıştır.

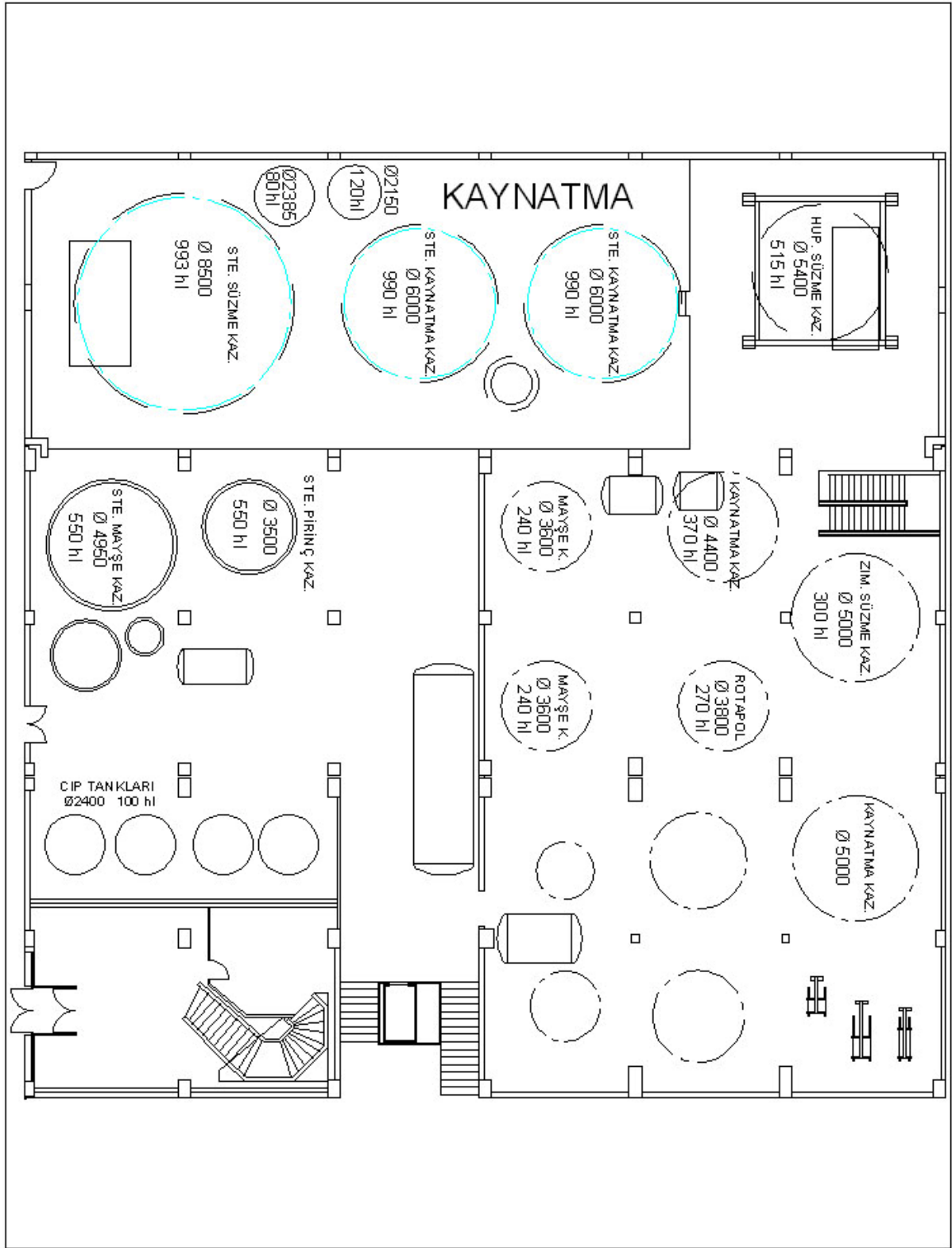
Mayşe kazanında, pirinç kazanında, ve kaynatma kazanındaki ekserji kayıp değerleri bulunmuştur. Mayşe kazanında 43850 kJ/h, pirinç kazanında 18896 kJ/h, kaynatma kazanında ise 18372 kJ/h bulunmuştur.

Şekil 6.15 te görüldüğü gibi maksimum ekserji kaybı mayşe kazanındadır. Sistemdeki prosesin özelliğinden dolayı sıcaklıklarda bir değişim yapılması söz konusu olamamaktadır. Ancak yok olan ekserji kaybını minimuma getirmek için mayşe kazanındaki yalıtımın iyileştirilmesi gerektiği ön görülmektedir. Kesin, değerlendirme için tüm sistemde termoeconomik analizin yapılması gerekmektedir.

**KAYNAKLAR**

- Çengel, Y. A. ve Boles, M. A., (1996), Mühendislik Yaklaşımıyla Termodinamik, (Çev., T., Derbentli), McGraw-Hill, Literatür, İstanbul
- Bejan, A., Tsatsaronis, G. ve Moran, M., (1996) Thermal Design and Optimization, Wiley, New York
- Petela R.(2003) Exergy Of Thermal Radiation Calgary, Canada
- Yves Candau (2003) On The Exergy Of Radiation Paris
- Brigs, D. E., (1997) Malts And Malting , Blackie Academic, Professional , London
- Brigs, D. E., Hough, J.S., Stevens, R. Ve Young, I. W., (1981) Malting and Brewing Science, Volume 1, Malt and Sweet Wort, Second Edition. Chapman and Hall
- Ch. Kunzmann, (2008) Energy , Berlin
- İsmet Türker ve Ahmet Canbaş , (2001) Malt ve Bira Teknolojisi , Adana
- Brigs, D. E., Boulton, C.A., Brookes, P.A. ve Stevens, R., (2004) Brewing Science and Practice ,NewYork
- Incropera F. P. ve DeWitt D. P (2001) Isı Ve Kütle Geçişinin Temelleri (Çev., T., Derbentli), McGraw-Hill, Literatür, İstanbul
- Moran, M. J., (1989), Availability Analysis: A guide to Efficient Energy Use, ASME Pres, New York.
- Kotas, T. J., (1995), The Exergy Method Of Thermal Plant Analysis, Krieger, Melbourn, FL.
- Szargut, J., Morris, D. R. ve Steward, F. R., (1988), Exergy Analysis of Thermal, Chemical, and Metallurgical Processes, Hemisphere, New York.
- Bejan, A., (1986), Engineering thermodynamics, in M. Kutz, ed., Mechanical Engineer' Handbook, Wiley, New York, Chapter 54, pp. 1530 - 1548.
- Wepfer, W. J., Gaggioli, R. A. ve Obert, E. F., (1979),Proper evaluation of available energy for HVAC, ASHRAE Trans., Vol. 85, Part 1, pp. 214 - 230
- Bilgen, E., (2002), Exergetic and Engineering Analysis of a Gas Turbine Based Cogeneration Systems, Energy, 25, pp. 1215 - 1229
- Bilge D. ve Demir G., (2004), Isıl Sistemlerin Termoekonomik Çözümlemesi, Yıldız Teknik Üniveristesi, İstanbul
- Ashre Fundamentals (1996), Termodinamik ve Soğutma Çevrimleri ( Çeviren Genceli, O.), Teknik yayıncılık.
- Bejan, A., (1997), Advanced Engineering thermo: Second Edition, John Wiley & Sons.
- Moran, M. J. ve Sciubba, E., (19949, Exergy Analysis, Principles and Practice, Journal of Engineering for Gas Turbines and Power, 116: 285-290.
- Moran, M. J. ve Shapiro, H. N., (1993) Fundamentals of Enginerring Thermodynamics, John Wiley & Sons.

## Ek 1 Kaynatma Bölümünün Yerleşim Planı





**ÖZGEÇMİŞ**

Doğum tarihi	07.01.1982	
Doğum yeri	İstanbul	
Lise	1993-2000	Tekirdağ Anadolu Lisesi
Lisans	2000-2005	Yıldız Üniversitesi Mühendislik Fak. Makine Mühendisliği Bölümü
Yüksek Lisans	2006-2009	Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Müh. Anabilim Dalı, Isı Proses Programı

**Çalıştığı Kurumlar**

2005-2006	Güntes Mühendislik Ltd. Şti.
2006-2007	Oral Yıldırım Proje Atölyesi
2007-2008	İntes Mekanik İnş. Müh. Hizm.San. Tic. Ltd. Şti.
2008-2008	Alcan Mekanik Sanayi ve Dış Tic. Ltd Şti.
2008-Devam Ediyor	Met Mühendislik İnş. ve Mek. Elk. Taah. Ltd. Şti.