

**ENDÜSTRİ TESİSİ KAMUSAL BİR FABRİKANIN  
TERMAL ANALİZİ**

**2017  
YÜKSEK LİSANS TEZİ  
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ**

**Ekrem ARSLANEL**

# ENDÜSTRİ TESİSİ KAMUSAL BİR FABRİKANIN TERMAL ANALİZİ

**Ekrem ARSLANEL**

**Karabük Üniversitesi**

**Fen Bilimleri Enstitüsü**

**Makine Mühendisliği Anabilim Dalında**

**Yüksek Lisans Tezi**

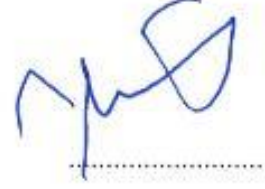
**Olarak Hazırlanmıştır**

**KARABÜK**

**Haziran 2017**

Ekrem ARSLANEL tarafından hazırlanan "ENDÜSTRİ TESİSİ KAMUSAL BİR FABRİKANIN TERMAL ANALİZİ" başlıklı bu tezin Yüksek Lisans Tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Doç. Dr. Yaşar YETİŞKEN  
Tez Danışmanı, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı



Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile Makine Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir. 16/06/2017

Ünvanı, Adı SOYADI (Kurumu)

Başkan : Doç. Dr. Mehmet ÖZALP (KBÜ)

Üye : Doç. Dr. Yaşar YETİŞKEN (KBÜ)

Üye : Doç. Dr. Nedim SÖZBİR (SAÜ)

İmzası



...../...../2017

KBÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu, bu tez ile, Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Prof. Dr. Nevin AYTEMİZ  
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü





*“Bu tezdeki tüm bilgilerin akademik kurallara ve etik ilkelere uygun olarak elde edildiğini ve sunulduğunu; ayrıca bu kuralların ve ilkelerin gerektirdiği şekilde, bu çalışmadan kaynaklanmayan bütün atıfları yaptığımı beyan ederim.”*

Ekrem ARSLANEL

## ÖZET

**Yüksek Lisans Tezi**

### **ENDÜSTRİ TESİSİ KAMUSAL BİR FABRİKANIN TERMAL ANALİZİ**

**Ekrem ARSLANEL**

**Karabük Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Tez Danışmanı:  
Doç. Dr. Yaşar YETİŞKEN  
Haziran 2017, 63 sayfa**

Bu çalışmada mevcut bir şeker fabrikasına enerji ve ekserji analizi uygulanmıştır. Şeker fabrikası ham şerbet üretim ünitesi, ham şerbet artım ünitesi, buharlaştırma ünitesi, rafineri ünitesi, kurutma -soğutma ünitesi, fabrika su sistemi olmak üzere altı üniteye ayrılarak her bir ünite için enerji ve ekserji analizleri yapılmıştır. Analiz sonuçlarından yararlanılarak enerji ve ekserji verimleri hesaplanarak elde edilen değerler verim grafiklerine aktarılmıştır.

**Anahtar Sözcükler :** Enerji, ekserji, şeker üretimi.

**Bilim Kodu** : 914.1.233

## **ABSTRACT**

**M. Sc. Thesis**

### **THERMAL ANALYSIS OF INDUSTRIAL PLANT PUBLIC FACTORY**

**Ekrem ARSLANEL**

**Karabük University**

**Graduate School of Natural and Applied Sciences**

**Department of Mechanical Engineering**

**Thesis Advisor:**

**Assoc. Prof. Dr. Yaşar YETİŞKEN**

**June 2017, 63 pages**

In thi study, energy and exergy analysis is applied into a current sugar refinery. The sugar refinery was divided into six units which are, raw juice production unit, raw juice increasing unit, evaporation unit, refinery unit, drying-cooling unit and water works system. Energy and exergy analyzes were carried out for each unit. Energy and exergy yields were calculated by using the analysis results and the received values were transfered to the yields graphs.

**Key Words** : Energy, exergy, sugar production.

**Science Code** : 914.1.233

## TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitim sürecinde yol gösteren Danışmanım Doç. Dr. Yaşar YETİŞKEN hocama ve emeği geçen tüm hocalarıma teşekkür ederim. Çalışmam için gerekli olan verileri paylaşan ve tecrübeleri ile yardımcı olan fabrika çalışanlarına teşekkür ederim.

Eğitim hayatı boyunca ve yüksek lisans eğitimim süresince maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen annem, babam, eşim, kızlarım Emsal ve Rabia'ya teşekkür ederim.

## İÇİNDEKİLER

### Sayfa

KABUL.....	ii
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER .....	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	x
ÇİZELGELER DİZİNİ .....	xi
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ .....	xii
BÖLÜM 1. ....	1
GİRİŞ .....	1
BÖLÜM 2. ....	6
ENERJİ VE EKSERJİ KAVRAMI .....	6
2.1. ENERJİ KAVRAMI.....	6
2.2. EKSERJİ KAVRAMI .....	7
BÖLÜM 3. ....	10
ENERJİ VE EKSERJİ ANALİZİ .....	10
3.1. ENERJİ ANALİZİ .....	10
3.2. EKSERJİ ANALİZİ .....	12
3.2.1. Kinetik Ekserji.....	13
3.2.2. Potansiyel Ekserji .....	13
3.2.3. Fiziksel Ekserji .....	13
3.2.4. Kimyasal Ekserji.....	14
3.2.5. Entropi .....	15
3.2.6. Tersinir İş Ve Tersinmezlik .....	15



	<b><u>Sayfa</u></b>
3.2.7. Yakıtın Ekserjisinin Hesaplanması.....	16
3.2.8. Katı Şekerin Entalpi Ve Entropisinin Hesaplanması.....	16
3.3. ENERJİ VERİMİ .....	16
3.4. EKSERJİ VERİMİ (RASYONEL VERİM) .....	17
BÖLÜM 4. ....	19
ŞEKER ÜRETİM AŞAMALARI .....	19
4.1. MEYDAN İŞLERİ VE PANCARIN İŞLETMEYE HAZIRLANMASI.....	19
4.2. HAM ŞERBET ÜRETİMİ .....	20
4.3. HAM ŞERBET ARITILMASI.....	21
4.4. ŞERBET BUHARLAŞTIRMA ÜNİTESİ .....	23
4.5. RAFİNERİ ÜNİTESİ .....	24
4.5.1. Kristal Şeker Pişirimi.....	24
4.5.2. Orta Şeker Pişirimi .....	25
4.5.3. Son Şeker Pişirimi .....	25
4.5.4. Afine Şeker .....	25
4.5.5. Melas.....	25
4.6. ŞEKERİN KURUTULMASI VE SOĞUTULMASI.....	26
4.7. FABRİKA SU SİSTEMİ.....	26
BÖLÜM 5. ....	28
ŞEKER FABRİKASINA ENERJİ VE EKSERJİ ANALİZİNİN UYGULANMASI .....	28
5.1. HAM ŞERBET ÜRETİM ÜNİTESİ.....	34
5.2. HAM ŞERBET ARITIM ÜNİTESİ.....	36
5.3. ŞERBET BUHARLAŞTIRMA ÜNİTESİ .....	39
5.4. RAFİNERİ ÜNİTESİ .....	42
5.5. ŞEKER KURUTMA VE SOĞUTMA ÜNİTESİ .....	44
5.6. FABRİKA SU SİSTEMİ.....	47
BÖLÜM 6. ....	50
ENERJİ VE EKSERJİ ANALİZ SONUÇLARI VE ÖNERİLER.....	50

	<b><u>Sayfa</u></b>
KAYNAKLAR .....	55
EK AÇIKLAMALAR A. ÖZGÜL ENTALPİ VE EKSERJİ DEĞERLERİ.....	58
ÖZGEÇMİŞ .....	63



## ŞEKİLLER DİZİNİ

### Sayfa

Şekil 1.1. Dünyanın toplam enerji üretimi ve tüketimi .....	1
Şekil 1.2. Dünyanın toplam enerji üretimi ve tüketimi .....	2
Şekil 2.1. Enerji akış şeması .....	10
Şekil 2.2. Ekserji çeşitleri .....	12
Şekil 4.1. Şeker üretim prosesi genel akış şeması .....	19
Şekil 4.2. Pancar hazırlanması akış şeması.....	20
Şekil 4.3. Ham şerbet üretimi akış şeması .....	21
Şekil 4.4. Ham şerbet arıtımı akış şeması.....	22
Şekil 4.5. Şerbet buharlaştırma akış şeması.....	23
Şekil 4.6. Şerbet rafineri akış şeması.....	24
Şekil 4.7. Şeker kurutma – soğutma akış şeması.....	26
Şekil 4.8. Fabrika su sistemi akış şeması.....	27
Şekil 5.1. Ham şerbet üretim ünitesi akış blok diyagramı.....	30
Şekil 5.2. Ham şerbet üretim ünitesi blok diyagramı.....	34
Şekil 5.3. Ham şerbet arıtım ünitesi blok diyagramı.....	37
Şekil 5.4. Şerbet buharlaştırma ünitesi blok diyagramı.....	40
Şekil 5.5. Rafineri ünitesi blok diyagramı.....	42
Şekil 5.6. Şeker kurutma – soğutma ünitesi blok diyagramı.....	45
Şekil 5.7. Fabrika su sistemi blok diyagramı.....	47
Şekil 6.1. Ünitelerdeki kayıp enerjiler (%). .....	51
Şekil 6.2. Ünitelerdeki kayıp ekserjiler (%). .....	52
Şekil 6.3. Ünitelerdeki kayıp enerjiler ve ekserjiler .....	53
Şekil 6.4. Ünitelerdeki kayıp enerji ve ekserji(%). .....	53
Şekil Ek A.1. Pancar kıyımının özgül ekserji grafiği .....	59
Şekil Ek A.2. Pancar kıyımının özgül ekserji grafiği .....	59
Şekil Ek A.3. Pancar kıyımının özgül ekserji grafiği .....	60
Şekil Ek A.4. Pancar kıyımının özgül ekserji grafiği .....	61
Şekil Ek A.5. Pancar kıyımının özgül ekserji grafiği .....	62

## ÇİZELGELER DİZİNİ

	<b><u>Sayfa</u></b>
Çizelge 5.1. Fabrika değerleri .....	28
Çizelge 5.2. Ham şerbet üretim ünitesi madde enerji ve ekserji bilançosu.....	35
Çizelge 5.3. Ham şerbet arıtım ünitesi madde enerji ve ekserji bilançosu .....	38
Çizelge 5.4. Şerbet buharlaştırma ünitesi madde enerji ve ekserji bilançosu .....	40
Çizelge 5.5. Rafineri ünitesi madde enerji ve ekserji bilançosu .....	43
Çizelge 5.6. Şeker kurutma-soğutma ünitesi madde enerji ve ekserji bilançosu .....	45
Çizelge 5.7. Fabrika su sistemi madde enerji ve ekserji bilançosu.....	48
Çizelge 6.1. Fabrika geneli enerji ve ekserji bilançosu.....	50
Çizelge 6.2. Fabrika tersinmezlik değerleri .....	51

## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

### SİMGELER

$c_p$	: Sabit basınçta özgül ısı, kJ/kg <sup>°K</sup>
$c_v$	: Sabit hacimde özgül ısı, kJ/kg <sup>°K</sup>
$E$	: Enerji, kJ
$E_{fiz}$	: Fiziksel enerji, kJ
$E_{kin}$	: Kimyasal enerji, kJ
$E_{pot}$	: Potansiyel enerji, kJ
$E_x$	: Ekserji, kJ
$E_{x,fiz}$	: Fiziksel ekserji, kJ
$E_{x,kim}$	: Kimyasal ekserji, kJ
$E_{x,pot}$	: Potansiyel ekserji, kJ
$\Delta E$	: Sistemdeki akışkan için toplam enerji değişimi, kJ
$e$	: Özgül enerji, kJ/kg
$\varepsilon$	: Özgül ekserjisi, kJ/kg
$h$	: Entalpi, kJ/kg
$H_u$	: Alt ısı değer, kJ/kg
$\dot{I}$	: Tersinmezlik, kJ/kg
$m$	: Kütle, kg
$P$	: Basınç, kPa
$R$	: İdeal gaz sabiti, kJ/kg <sup>°K</sup>
$S, s$	: Entropi, kJ/kg <sup>°K</sup>
$S_{\text{üretim}}$	: Entropi üretimi, kJ/kg <sup>°K</sup>
$T$	: Sıcaklık, °C
$u$	: İç enerji, kJ/kg
$v$	: Hız, m/s
$z$	: Deniz seviyesinden olan kot farkı
$Q$	: Sistemdeki Isı geçişi, kJ

$X_i$  : Karışımdaki maddenin mol oranı  
 $W$  : İş, kJ  
 $W_y$  : Yararlı iş, kJ  
% pg : 100 kg pancara göre  
 $\phi$  : Endüstriyel yakıtlar için  $\epsilon_{yak}$  / Hu oranı  
 $\eta_I$  : Enerji verimi( Isıl verim)  
 $\eta_{II}$  : Ekserjik verim

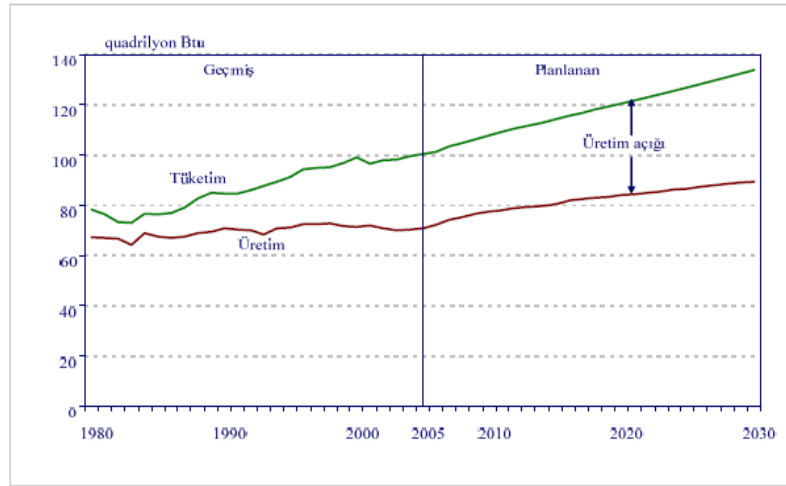
### **KISALTMALAR**

Çev : Çevre  
Fiz : Fiziksel  
Kim : Kimyasal  
Kin : Kinetik  
K.M : Kuru madde  
Pot : Potansiyel  
Sis : Sistem  
Ter : Tersinir  
yak : Yakıt  
şek : Şeker  
H.Ş.Ü. : Ham Şerbet Üretim Ünitesi  
H.Ş.A.Ü. : Ham Şerbet Arıtım Ünitesi  
Ş.B.Ü. : Şerbet Buharlaştırma Ünitesi  
R.Ü. : Rafineri Ünitesi  
Ş.K.S.Ü. : Şeker Kurutma Ve Soğutma Ünitesi  
F.S.S. : Fabrika Su Sistemi  
EIA : Energy Information Administration (Enerji Bilgi İdaresi)

## BÖLÜM 1

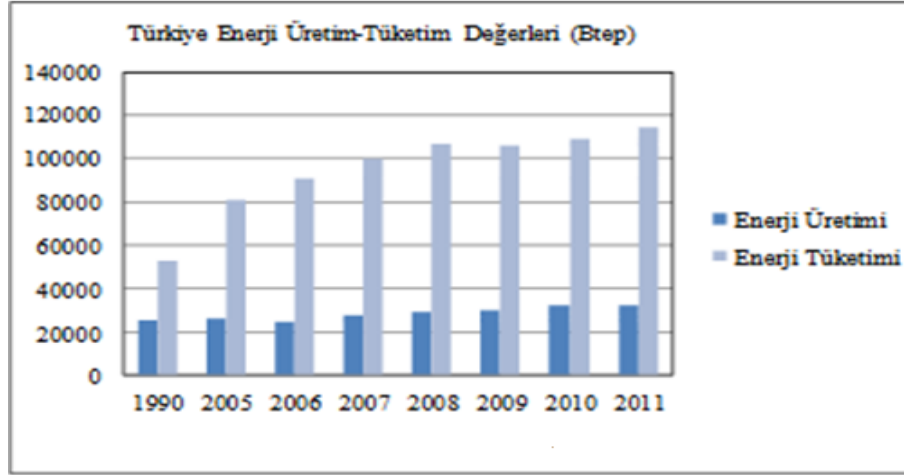
### GİRİŞ

Dünyadaki hızla artan nüfus ve gelişen teknoloji enerji talebini artırmaktadır. Enerji tüketimi artmasına rağmen enerji üretimi aynı oranda artmamaktadır. Ayrıca enerji üretim kaynaklarının rezervleri de azalmaktadır. EIA (Energy Information Administration) kurumu tarafından gerçekleştirilen grafikte dünyanın enerji tüketimi ve üretimi arasındaki farkı ifade eden üretim açığının da gittikçe arttığı Şekil 1.1'de görülmektedir (Çolak vd., 2008).



Şekil 1.1. Dünyanın toplam enerji üretimi ve tüketimi (Çolak vd., 2008).

Ülkemizdeki birincil enerji kaynak rezervlerinin az olması, yerli enerji kaynaklarından üretilen enerji miktarını da kısıtlamaktadır. Ayrıca hızla artmakta olan nüfus ve gelişmekte olan sanayi doğru orantılı olarak enerji tüketiminin de artmasına neden olmaktadır. Enerji tüketiminin artması ve yetersiz enerji üretimi, enerji gereksinimini karşılamadığı için enerji ithal edilmesine neden olmaktadır. Ülkemizde enerji açığı yani enerji üretiminin enerji tüketimini karşılamadığı Şekil 1.2'de gösterilmiştir (Koç ve Şenel, 2013).



Şekil 1.2. Türkiye’de yerli kaynaklardan enerji üretim ve toplam enerji tüketimi (Koç ve Şenel, 2013).

Enerji üretim açığının azaltılabilmesi için mevcut kaynaklar kullanılarak üretilen enerji artırılmalı veya enerji tüketimi optimum seviyede tutulmalıdır. Bu nedenle enerjinin verimli kullanılması, ülkelerin enerji politikalarında arasında önemli bir yere sahiptir. Enerjinin daha verimli kullanılabilmesi için termodinamik analizlerden yararlanılmaktadır. Termodinamiğin birinci kanunu, enerji miktarı ile uğraşmakta olup, enerjinin var ya da yok edilemeyeceğini ancak bir halden başka hale dönüştürülebileceğini ve bu dönüşüm esnasında toplam enerji miktarının sabit kalacağını ileri sürmektedir. Yani bir prosesin termodinamiğin birinci yasasına göre enerji analizi yapılırken prosesin enerji niteliği ve kalitesi ile ilgilenilmemektedir.

Termodinamiğin ikinci yasasına bağlı olarak gerçekleştirilen ekserji analizi ise genel olarak prosteki verimsizliklerin daha iyi tespit edilmesini sağlamaktadır. Proseslerin ve güç tesisinin artan kompleksliği, enerji kaynaklarının optimum kullanımını sağlamak için hem enerji (birinci yasa) hem de ekserji (ikinci yasa) analizini bir arada gerçekleştiren yeni bir metot kullanılmaktadır. Bu şekilde oluşturulmuş analiz teknikleri “ Kullanılabilirlik Analizi ” ya da “ Ekserji Analizi ” adları ile bilinmektedir. Her iki teknik de enerjinin kendisinden daha çok tersinmezliklere bağlı olarak meydana gelen kayıp iş potansiyel kavramını kullanmaktadır. Bu analiz teknikleri ile mevcut enerji tesislerinin verimleri artırılmakta ya da daha verimli tesislerin tasarımı yapılabilmektedir. Bundan dolayı ekserji analizi, tesisin kullanım



prosesin de önemli değişmeler meydana getirmek için kullanışlı bir araç olmuştur (Erduranlı, 1997).

Enerjinin etkin ve yararlı kullanılabilmesini sağlayan ekserji analiziyle ilgili çalışmalar geçmişte yapılmış olup halen günümüzde de yoğun şekilde devam etmektedir. Bu çalışmalardan bazıları aşağıda sunulmuştur.

Sekmen ve Yılbaşı (2011), tarafından yapılan çalışmada dizel ve biyodizel yakıt kullanan, dört silindirli, direkt enjeksiyonlu bir dizel motora enerji ve ekserji analizleri uygulanarak enerji ve ekserji verimleri her iki yakıt içinde hesaplanmıştır. Enerji ve ekserjik açıdan biyodizel yakıt ile çalışmada dizele benzer değerler belirlenmiştir.

Şöhret ve Karakoç (2014), çalışmalarında gaz türbinli motoru; kompresör, yanma odası ve türbin olarak bileşenlere ayrılmış olup ekserji verimlerini sırasıyla % 89.72, % 70.85 ve % 93.01 olarak bulunmuştur.

Dikici vd. (2005), tarafından Elazığ ilinde boş bir odanın ısıtılması amacıyla hava kaynaklı bir ısı pompası düzeneği kurulmuştur. Deneyler, 2002 Aralık - 2003 Şubat ayları arasındaki ısıtma sezonunda yapılmıştır. Sonuç olarak; sistemin performans katsayısı, enerji, ekserji analizi ve ekonomik analizler yapılmıştır.

Öztürk (2015), çalışmasında binanın iç hacimlerinin ısıtılmasında ve sıcak su üretilmesinde toprak kaynaklı ısı pompası kullanımı için ekserji ve enerji analizi uygulamıştır.

Türküzü (2008), çalışmasında Çumra Şeker Fabrikasının şeker üretim süreçleri için enerji ve ekserji analizlerini uygulamıştır. Tesise uygulanan analizler sonucu tersinmezlik kayıpları, enerji ve ekserji verimleri tespit edilmiştir. Tesisin verimini iyileştirmek üzere önerilerde bulunmuşlardır.

Koçyiğit (2004), çalışmasında Kayseri Şeker Fabrikasının şeker üretim süreçleri için enerji ve ekserji analizlerini uygulamıştır. Tesise uygulanan analizler sonucu enerji

ve ekserji verimleri tespit edilmiştir. Tesisin verimini iyileştirmek üzere önerilerde bulunmuşlardır.

Çam ve Erbay (2011), tarafından Kazım Taşkent Eskişehir Şeker Fabrikasının üretim birimleri ekserjik yönden incelenmiştir. Fabrika üniteleri için hesaplamalar yapılmış olup en düşük verimin %74 ile buharlaştırıcı, en yüksek verimin ise %95 ile ham şerbet üretim ünitesi olarak belirlenmiştir.

Türküzü vd. (2010), tarafından yapılan çalışmalarında Çumra Şeker Fabrikasının 2006-2007 yılına ait işletme verileri kullanılarak Termodinamiğin I. Kanun ve II. Kanun verimleri hesaplanmıştır. Ayrıca sistemdeki kayıplar belirlenerek enerji ve ekserji verimleri hesaplanarak en verimsiz ünite tespit edilmiştir.

Şahin vd. (2007), Kayseri Şeker Fabrikası şeker üretim süreçlerine enerji ve ekserji analizlerini uygulayarak enerji ve ekserji verimlerini belirlemiştir. Tesisin verimini iyileştirmek üzere önerilerde bulunmuşlardır.

Nurveren (2001), çalışmasında Bor Şeker Fabrikası'nda üretilen proses buharının kullanıldığı bütün üretim birimlerini ekserjetik yönden incelenmiştir. Bor Şeker Fabrikası'nda I. Kanun göre en verimli sürecin şeker üretim süreci, II. Kanuna göre en verimli sürecin şerbet koyulaştırma süreci olduğu tespit edilmiştir.

Taner (2013), çalışmasında Konya Çumra Şeker Fabrikası'nda bulunan tüm prosesler için enerji ve ekserji analizi uygulanmıştır. Konya Çumra Şeker Fabrikası'nda en fazla enerji kaybının olduğu prosesin buhar güç santrali olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca fabrikanın 2008 ile 2011 yıllarına ait enerji yönetimi için enerji tüketim miktarları incelenerek enerjinin tasarruflu kullanılabilmesi için fabrika birimleri arasında koordinasyonun sağlanmasının gerekliliği belirtilmiştir.

Üze (1991), çalışmasında Elazığ Şeker Fabrikası üretim süreçlerine termodinamiğin birinci ve ikinci kanunları uygulanmıştır. Termodinamiğin Birinci Kanununa ve Termodinamiğin İkinci Kanununa göre en yüksek verimin şerbetin koyulaştırılması sürecinde olduğu tespit edilmiştir.

Çakmak (2012), çalışmasında Uşak Şeker Fabrikası'nın şeker üretim süreçleri için termodinamiğin birinci ve ikinci kanunlarını uygulamıştır. Uşak Şeker Fabrikası'nın en büyük tersinmezliğin enerji üretim dairesinde, en küçük tersinmezliğin ise şerbet arıtım ünitesinde gerçekleştiği görülmüştür.



## BÖLÜM 2

### ENERJİ VE EKSERJİ KAVRAMI

Dünyada enerji kaynaklarında sürekli azalma görülmektedir. Enerji kaynaklarının hem sınırlı hem de azalması nedeniyle enerjinin etkin kullanması için enerji ve ekserji analiz uygulamaları üzerine yoğun çalışmalar yapılmaktadır.

#### 2.1. ENERJİ KAVRAMI

Enerjiyle ilgili literatürde farklı tanımlamalar kullanılmakta olup; Enerji yaygın olarak değişikliklere sebep olma yeteneği, iş yapabilme kabiliyeti ya da hareket edebilme kabiliyeti olarak tanımlanmaktadır (Özgener ve Hepbaşlı, 2003; Karakoç ve Karakoç, 2012; Çalışkan, 2009).

Elektrik, manyetik alan, yüzey gerilimi ve nükleer reaksiyonun bulunmadığı termal sistemlerde toplam enerji ısı, kimyasal, potansiyel ve mekanik enerjilerin toplamı olarak açıklanabilmekte ve Cengel and Boles'e (1996) göre aşağıdaki şekilde ifade edilmektedir (Çalışkan, 2009; Özyurt, 2013).

$$e = e_{kin} + e_{pot} + e_{fiz} + e_{kim} \quad (\text{kJ/kg}) \quad (2.1)$$

Bu eşitlik de “ $e_{kin}$ ” kinetik enerjii, “ $e_{pot}$ ” potansiyel enerjii, “ $e_{fiz}$ ” fiziksel enerjii ve “ $e_{kim}$ ” kimyasal enerjii belirtmektedir. Birim kütle için ( $m = 1 \text{ kg}$ );

$$e_{kin} = \frac{V^2}{2} \quad (\text{kJ/kg}) \quad (2.2)$$

$$e_{pot} = gz \quad (\text{kJ/kg}) \quad (2.3)$$

- Sistem sınırındaki iş ile iç enerjinin toplamı olan ve enerji akışının entalpi değerinden kaynaklanan “fiziksel enerji” aşağıdaki şekilde tanımlanır.

$$e_{\text{fiz}} = u + Pv = C_p(T) = h(T) \text{ (kJ/kg)} \quad (2.4)$$

Değişken özgül ısılar ile entalpi ve iç enerji;

$$h_2 - h_1 = \int_{T_1}^{T_2} c_p(T) dT \text{ (kJ/kg)} \quad (2.5)$$

$$u_2 - u_1 = \int_{T_1}^{T_2} c_v(T) dT \text{ (kJ/kg)} \quad (2.6)$$

Sabit özgül ısılar ile entalpi ve iç enerji;

$$h_2 - h_1 = c_p(T_2 - T_1) \text{ (kJ/kg)} \quad (2.7)$$

$$u_2 - u_1 = c_v(T_2 - T_1) \text{ (kJ/kg)} \quad (2.8)$$

Eşitlikleri kullanılır.

Günlük yaşamda mekanik, elektrik, ısı, potansiyel ve kinetik enerji çeşitleri yaygın olanlardır. Sistemlerin enerjilerinin hesaplanmasında Enerjinin Korunumu ilkesi dolarak bilinen Termodinamiğin I. Kanunu kullanılmaktadır. Bu ilke enerjinin miktarı ile ilgilenmekte olup enerjinin ısı ya da iş olması ile ilgilenmemektedir.

## 2.2. EKSERJİ KAVRAMI

Termodinamiğin birinci kanunu, enerji miktarı ile uğraşmakta olup, enerjinin var ya da yok edilemeyeceği gerçeğini ileri sürmektedir. Birinci kanun, bir proses sırasında sadece enerjinin muhasebesinin yapılmasında gerekli bir araç olarak hizmet etmekte olmasına rağmen ikinci kanun, enerji kalitesi ile yani bir proses sırasında enerji

azalması, entropi üretimi ve kayıp iş ile ilgilenmektedir (Erduranlı, 1997). Termodinamiğin ikinci yasası, ısı makineleri (motorlar) ve soğutma makineleri gibi temel mühendislik sistemlerinin verimlerinin üst veya kuramsal sınırını ve kimyasal reaksiyonların hangi oranda tamamlanacaklarını belirler (Çengel ve Boles, 2000 ).

Ekserji; Enerjinin faydalı kısmı, enerjinin başka enerji formuna dönüştürülebilen kısmı veya iş yada iş yapabilme kabiliyeti, kullanılabilir maksimum enerji olarak tanımlanabilir(Erduranlı, 1997; Özgener ve Hepbaşı, 2003; Karakoç ve Karakoç, 2012; Çalışkan, 2009; Çengel ve Boles, 2000).

Termodinamiğin ikinci kanunu, kompleks termodinamik sistemlerin optimizasyonunda çok güçlü bir araç olduğunu ispatlanmıştır. Termodinamiğin ikinci kanunu ile kullanılabilirlik, tersinir iş, tersinmezlik ve ikinci kanun verimi hesaplanarak mühendislik aygıtlarının gerçek performansları belirlenebilmektedir. Buna göre “Kullanılabilirlik”, verilen bir durumdaki sistemden elde edilebilen maksimum faydalı iş miktarıdır. Tersinir iş ise, belirli iki durum arasında bir proses geçiren sistemden elde edilen maksimum faydalı iştir. Ayrıca tersinmezlik, bir proses sırasında kaybedilen iş potansiyelidir ve bu kayıp iş potansiyeli, tersinmezliklerin sonucu olarak meydana gelmektedir (Erduranlı, 1997). Mühendislik sistemlerine uygulanan ekserji analizi sonuçları Grassmann Diyagramı’nda toplu olarak gösterilmektedir. Grassmann Diyagramları sayesinde ekserji analizlerinin sonuçları açıkça görüleceği gibi, sistemden alınan işle alınabilecek maksimum işin kıyaslanması da rahatlıkla yapılabilmektedir (Karakoç ve Karakoç, 2012).

Akış halinde olan kütleyle ait başlıca ekserjiler; kimyasal ekserji, fiziksel ekserji, ve potansiyel ekserjilerdir. Kimyasal ekserji “ $E_{x,kim}$ ” ele alınan maddenin sadece çevre ile madde alış-veriş ve ısı transferini içeren proseslerle çevresel durumundan ölü duruma getirildiği zaman elde edilebilir maksimum iş miktarı kimyasal ekserjilerdir.

Fiziksel Ekserji “ $E_{x,fiz}$ ” akış halindeki bir madde çevresi ile sadece termal etkileşim içeren tersinir fiziksel prosesler ile başlangıç şartlarından ( $P_0, T_0$ ) ile belirli çevre şartlarına (ölü durum) getirildiği zaman elde edilebilen maksimum iş miktarına eşittir.

Bir madde akışının kinetik ve potansiyel enerjileri düzenli bir enerji formudur ve bundan dolayı da tamamen işe dönüştürülebilir. Kinetik ve potansiyel enerji değerleri referans düzeyine göre hesaplanırsa kinetik ve potansiyel ekserjiler elde edilir. (Erduranlı, 1997).

$$\dot{E}_{x,kin} = \dot{m} \frac{V^2}{2} \text{ (kW)} \quad (2.9)$$

$\dot{m}$  : Akışkanın kütleli debisi (kg/s)

V: Akışkan hızı (m/s)

$$\dot{E}_{x,pot} = \dot{m} g z_0 \text{ (kW)} \quad (2.10)$$

g : Yerçekimi ivmesi

$z_0$  : Deniz seviyesinden olan kot farkı

## BÖLÜM 3

### ENERJİ VE EKSERJİ ANALİZİ

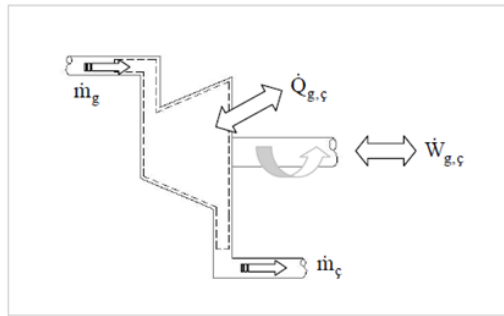
Enerji ve ekserji analizi uygulamalarında sisteme giren kütlelerin, sıcaklıklara bağlı termodinamik özelliklerinin ve sistem sınırlarının iyi belirlenmesi gerekmektedir. Sistem şartları belirlenmesinde yapılan hatalar yapılacak olan enerji ve ekserji verim değerlerinin de hatalı hesaplanmasına neden olacaktır.

#### 3.1. ENERJİ ANALİZİ

Günlük yaşamda mekanik, elektrik, ısı, potansiyel ve kinetik enerji çeşitleri yaygın olanlardır. Sistemlerin enerjilerinin hesaplanmasında Enerjinin Korunumu ilkesi dolarak bilinen Termodinamiğin I. Kanunu kullanılmakta olup bu ilke enerjinin niceliği ile ilgilenmektedir.

Enerji tüketiminin artması ve hızla azalan enerji kaynakları, işletmelerde enerjinin daha verimli kullanılması için enerji ve ekserji analizleri ile ilgili çalışmalar yapılmaktadır. İşletmelere ait enerji analizleri hesaplanırken sistem sınırlarının tespitinin doğru belirlenmesi gerekmektedir.

Sürekli akışlı sistemler için enerji akış şeması Şekil 2.1 ile verilmektedir.



Şekil 2.1. Enerji akış şeması (Şahin, 2006).



Termodinamiğin I. Yasasına göre enerji analizinde kullanılan temel eşitlikler;

➤ Sistemin kütle dengesi aşağıdaki eşitlikle verilir:

$$\sum \dot{m}_g = \sum \dot{m}_\ç \text{ (kg/s)} \quad (3.1)$$

$\dot{m}_g$  :Birim zamanda kontrol hacmine giren toplam kütle (kg/s)

$\dot{m}_\ç$  :Birim zamanda kontrol hacminden çıkan toplam kütle (kg/s)

➤ Sistemin enerji dengesi;

$$\dot{Q} - \dot{W} = \Delta E \text{ (kW)} \quad (3.2)$$

Burada;

$\dot{Q}$  : Sistem sınırlarındaki net ısı geçişi (kW)

$$\dot{Q} = \sum \dot{Q}_g - \sum \dot{Q}_\ç \text{ (kW)} \quad (3.3)$$

$\dot{W}$  : Sistemdeki net iş:

$$\dot{W} = \sum \dot{W}_g - \sum \dot{W}_\ç \text{ (kW)} \quad (3.4)$$

$\Delta E$  , kontrol hacminde birim akışkan kütlesi için toplam enerji değişimi;

$$\Delta \dot{E} = \sum \dot{m} [h + pe + ke]_g - \sum \dot{m} [h + pe + ke]_ç \quad (\text{kW}) \quad (3.5)$$

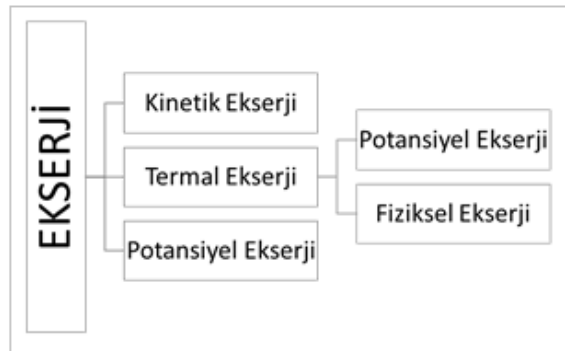
İfade edilir.

Potansiyel enerji (pe) ve kinetik enerji (ke) değişimleri ihmal edilirse Eşitlik 3.6 elde edilir.

$$\dot{Q} - \dot{W} = \sum \dot{m}_g h_g - \sum \dot{m}_ç h_ç \quad (\text{kW}) \quad (3.6)$$

### 3.2. EKSERJİ ANALİZİ

Kullanılabilir enerji olarak da tanımlanan ekserji, akış halindeki kütlenin mevcut durumundan çevre ile denge haline (ölü hal;  $P_0 = 1 \text{ atm}$ ,  $T_0 = 25^\circ\text{C}$ ) ulaşmaya kadar elde edilebilecek maksimum iştir. Ayrıca ekserji analizinin amacı, ekserji kayıplarının büyüklüğünü ve tesiste bu kayıpların meydana geldiği noktaları belirlemektir. Ekserji analizinin sonuçları çevreye daha az atık bırakan, doğal kaynakları daha az kullanarak üretimi sağlayan yeni teknolojilerin gelişmesine olanak sağladığından dolayı faydalı olmaktadır (Kaplan, 2012). Ekserji, kimyasal, fiziksel, potansiyel ve kinetik ekserjilerden meydana gelmekte ve aşağıdaki eşitliklerle ifade edilmektedir (Şekil 2.2).



Şekil 2.2. Ekserji çeşitleri (Özyurt, 2013).

$$\dot{E}_x = \dot{E}_{x,pot} + \dot{E}_{x,kin} + \dot{E}_{x,fiz} + \dot{E}_{x,kim} \quad (\text{kW}) \quad (3.7)$$

### 3.2.1. Kinetik Ekserjisi

$$\dot{E}_{x,kin} = \frac{1}{2} \dot{m} V^2 \text{ (kW)} \quad (3.8)$$

### 3.2.2. Potansiyel Ekserji

$$\dot{E}_{x,pot} = \dot{m} g z \text{ (kW)} \quad (3.9)$$

### 3.2.3. Fiziksel Ekserjisi

Akış halindeki bir kütlenin fiziksel ekserjisi;

$$\dot{E}_{x,fiz} = \dot{m} \left[ (h - h_0) - T_0 (s - s_0) \right] \text{ (kW)} \quad (3.10a)$$

Ve kütle akışının fiziksel ekserjisindeki değişim ise

$$\dot{E}_{x,fiz} = \dot{m} \left[ (h_2 - h_1) - T_0 (s_2 - s_1) \right] \text{ (kW)} \quad (3.10b)$$

Dir. Akış halindeki mükemmel gazlar için fiziksel ekserji değişimi ise,

$$\dot{E}_{x,fiz} = \dot{m} \left[ c_p (T - T_0) - T_0 \left( c_p \ln \frac{T}{T_0} - R \ln \frac{P}{P_0} \right) \right] \text{ (kW)} \quad (3.11a)$$

$$\dot{E}_{x,fiz} = \dot{m} \left[ c_p (T_2 - T_1) - T_0 \left( c_p \ln \frac{T_2}{T_1} - R \ln \frac{P_2}{P_1} \right) \right] \text{ (kW)} \quad (3.11b)$$

İle ifade edilmektedir.

### 3.2.4. Kimyasal Ekserji

Kimyasal ekserji için üç durum belirlenebilir. Referans maddelerin kimyasal ekserji, gaz yakıtın kimyasal ekserjisi ve karışımın kimyasal ekserjisidir (Türközü, 2008).

Referans maddelerin ( $O_2$  ve  $CO_2$ ) kimyasal ekserjileri atmosferde sabit olup karbon ve oksijen diğer maddeler için referans oluşturmaktadır.

$P_{00}$  Atmosfer de referans gazın kısmi basıncı olup kimyasal ekserji,

$$\bar{\epsilon} = R_u T_0 \ln \frac{P_0}{P_{00}} \text{ (kJ/kg)} \quad (3.12)$$

Gaz karışımların kimyasal ekserjisi, karışımdaki her bir gazın kimyasal ekserjileri toplamıdır. Gaz karışımların kimyasal ekserjileri,

$$\bar{\epsilon}_{\text{kim}} = \sum_i x_i \bar{\epsilon}_{0,i} + R_u T_0 \sum_i X_i \cdot \ln X_i \text{ (kJ/kg)} \quad (3.13)$$

Burada  $R_u$ , evrensel gaz sabiti olup değeri 8.314 kJ/kmolK'dir.  $X_i$ , ise karışımdaki maddenin mol oranını ifade etmektedir.

$$E_x = E_{x,\text{pot}} + E_{x,\text{kin}} + E_{x,\text{fiz}} + E_{x,\text{kim}} \text{ (kJ)} \quad (3.14)$$

Denge durumunda referans konuma göre hız ve yükseklik değişmediğinden potansiyel ve kinetik ekserjiler sıfır olduğundan Eşitlik 3.14 aşağıdaki hale indirgenir.

$$E_x = E_{x,\text{fiz}} + E_{x,\text{kim}} \text{ (kJ)} \quad (3.15)$$

Olarak hesaplanır.

Denge halinde referans alınan noktaya göre hızı ve yüksekliği değişmediğinden potansiyel ve kinetik ekserjileri sıfırdır.

$$E_x = E_{x,pot} + E_{x,kin} + E_{x,fiz} + E_{x,kim} \text{ (kJ)} \quad (3.16)$$

Eşitliğinde gerekli sadeleştirmeler yapıldığında,

$$E_x = E_{x,fiz} + E_{x,kim} \text{ (kJ)} \quad (3.17)$$

### 3.2.5. Entropi

Moleküller arasındaki düzensizlikleri ifade eden entropi, sıcaklığın artması ve moleküllerin hareketlenmesine bağlı olarak artış göstermektedir. Entropi;

$$\Delta S_{\text{üretim}} = \Delta S_{\text{toplam}} = \Delta S_{\text{sis}} + \Delta S_{\text{çev}} \quad (3.18a)$$

$$\Delta S_{\text{çev}} = \Delta S_{\text{üretim}} - \Delta S_{\text{sis}} \quad (3.18b)$$

Çevresel entropi;

$$\Delta S_{\text{çev}} = \frac{Q_{\text{çev}}}{T_o} \quad (3.18c)$$

Şeklinde olup ısı geçişi;

$$Q_{\text{çev}} = \Delta S_{\text{çev}} T_o = T_o (\Delta S_{\text{üretim}} - \Delta S_{\text{sistem}}) \quad (3.18d)$$

İle ifade edilmektedir.

### 3.2.6. Tersinir İş Ve Tersinmezlik

Çevre işi sistemin çevre basıncı ( $P_0$ ) na karşı yaptığı iş olup,

$$\dot{W}_{\text{çev}} = \dot{m}P_0(u_2 - u_0) \text{ (kW)} \quad (3.19)$$

Şeklinde ifade edilmektedir. Faydalı iş ise, gerçek iş ile çevre işi arasındaki fark olarak adlandırılabilir.

$$\dot{W}_y = \dot{W} - \dot{W}_{\text{çev}} \text{ (kW)} \quad (3.20)$$

Tersinir iş ile gerçek yararlı iş arasındaki fark tersinmezlik olarak ifade edilmektedir.

$$\dot{I} = \dot{W}_{\text{ter}} - \dot{W}_y \text{ (kW)} \quad (3.21)$$

### 3.2.7. Yakıtın Ekserjisinin Hesaplanması

Yakıtlar için ekserji aşağıda belirtilen eşitlik ile hesaplanmaktadır (Türközü, 2008).

$$\varepsilon_{\text{yak}} = \varphi H_u \text{ (kJ/kg)} \quad (3.22)$$

### 3.2.8. Katı Şekerin Entalpi Ve Entropisinin Hesaplanması

Katı şekerin fiziksel ekserji hesaplamaları için aşağıdaki eşitlikler kullanılmaktadır (Türközü, 2008).

$$h_{\text{şek}} = 0,27195T + 6,075T^2 \cdot 10^{-4} \quad (3.23)$$

$$s_{\text{şek}} = 0,27195 \cdot \ln(T) + 0,00121575 \cdot T \quad (3.24)$$

## 3.3. ENERJİ VERİMİ

Bir sistem için enerji dengesi;

$$\left[ \begin{array}{l} \text{Sisteme ısı, iş yada kütle} \\ \text{ile giren toplam enerji} \end{array} \right] - \left[ \begin{array}{l} \text{Sistemden ısı, iş yada kütle} \\ \text{ile çıkan toplam enerji} \end{array} \right] = \left[ \begin{array}{l} \text{Sistemin toplam enerji} \\ \text{içeriğindeki değişim} \end{array} \right]$$

$$E_g - E_ç = \Delta E_{net} \text{ (kJ)} \quad (3.25)$$

Sistemden çıkan toplam enerji miktarının, girişindeki enerji miktarına oranı ise enerji verimi olarak adlandırılır. Enerji verimi eşitliği aşağıdaki şekilde ifade edilebilir (Özyurt, 2013).

$$\eta_I = \frac{\sum E_{net}}{\sum E_g} \quad (3.26)$$

### 3.4. EKSERJİ VERİMİ (RASYONEL VERİM)

Bir mühendislik sisteminin Termodinamiğin II. Kanuna göre performansının belirlenmesinde ekserji verimi kullanılmaktadır. Ekserji verimi için girişteki toplam ekserji ( $\sum E_{x,g}$ ), çıkıştaki toplam ekserji ( $\sum E_{x,ç}$ ) ve sistemde meydana gelen toplam tersinmezliklere ait veriler gereklidir.

Girişteki toplam ekserji transferi,

$$\sum E_{x,g} = \sum E_{x,ç} + \sum \dot{I} \text{ (kJ)} \quad (3.27a)$$

$$\sum \dot{I} = \sum E_{x,g} - \sum E_{x,ç} \text{ (kJ)} \quad (3.27b)$$

Termodinamiğin II. Kanununa göre;

$$\dot{I} \geq 0 \quad (3.28a)$$

Tersinmezlik sıfırdan büyük veya eşit; çıkıştaki toplam ekserji transferlerinin girişteki toplam ekserji transferine oranı ise 1'e eşit ya da 1'den küçüktür.

$$\frac{\sum \Delta E_{x,\text{net}\zeta}}{\sum \Delta E_{x,g}} \leq 1 \quad (3.28b)$$

Bu ifade ekserjik verim olup ( $\eta_{II}$ ) simgesi ile gösterilir. Ekserjik verim ifadesi aşağıdaki şekilde ifade edilebilir.

$$\eta_{II} = \frac{\sum \Delta E_{x,\text{net}\zeta}}{\sum \Delta E_{x,g}} = 1 - \frac{I}{\sum \Delta E_{x,g}} \quad (3.29)$$

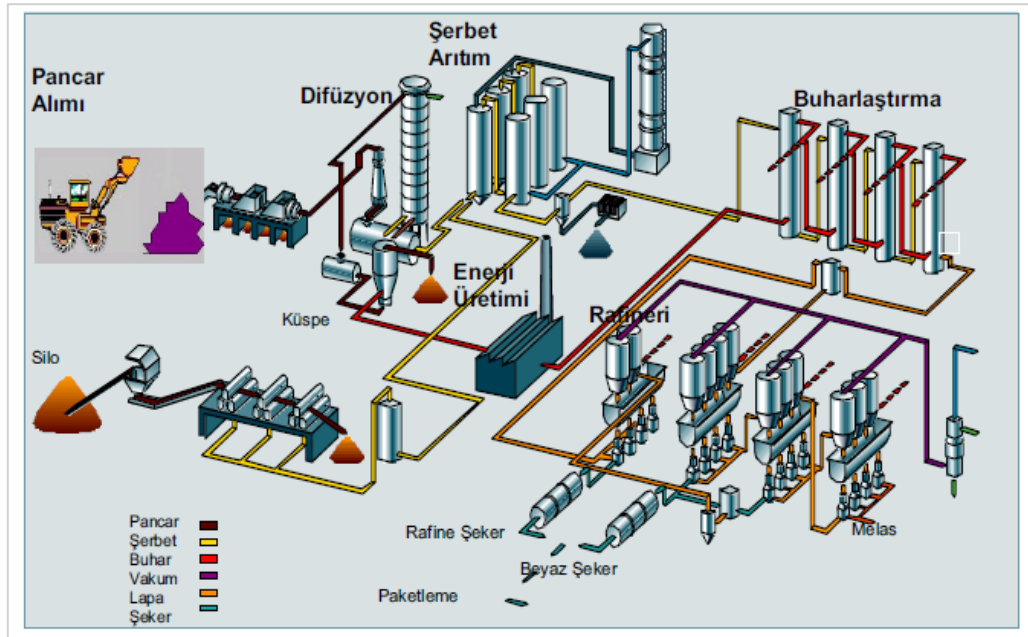




## BÖLÜM 4

### ŞEKER ÜRETİM AŞAMALARI

Şeker üretim süreci tarlada üretilen şeker pancarının fabrika işlenerek şeker olarak elde edilmesiyle tamamlanmaktadır. Fabrikaya gelen şeker pancarı; meydan işleri ve işletmeye hazırlanması, ham şerbet üretimi ünitesi, ham şerbet arıtımı ünitesi, buharlaştırma ünitesi, rafineri ünitesi, kurutma ve soğutma ünitelerinde işlenerek kristal şeker üretimi gerçekleştirilmektedir (Şekil 4.1).

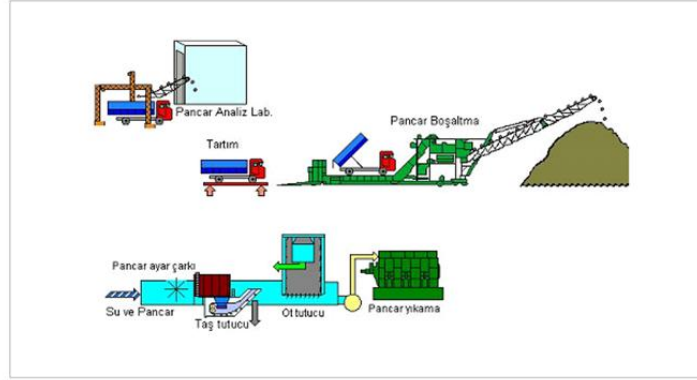


Şekil 4.1. Şeker üretim süreci genel akış şeması (Türközü, 2008).

#### 4.1. MEYDAN İŞLERİ VE PANCARIN İŞLETMEYE HAZIRLANMASI

Şeker fabrikalarında meydan işleri, şeker pancarı ile şeker üretiminde kullanılacak olan kireç vb. malzemelerin kullanılmak üzere hazırlandığı kısımdır. Fabrikaya gelen şeker pancarı tartılma, numune alma, fire ve şeker tayini yapıldıktan sonra pancar boşaltılması yapılır. Şeker pancarı doğrudan işletmeye alınabileceği gibi daha sonra

kullanılmak üzere silolara alınabilir. Silolara alınacak şeker pancarlarında herhangi bir yerinde çürük varsa silodan uzaklaştırılması halinde hem diğer ürünlerin zarar görmesi engellenmekte hem de şeker kalitesinin iyi olması sağlanmaktadır. Ayrıca silolara alınacak şeker pancarlarının başları kesilerek filizlenmesi engellenerek olası şeker kaybının önüne geçilebilmektedir (Şekil 4.2).

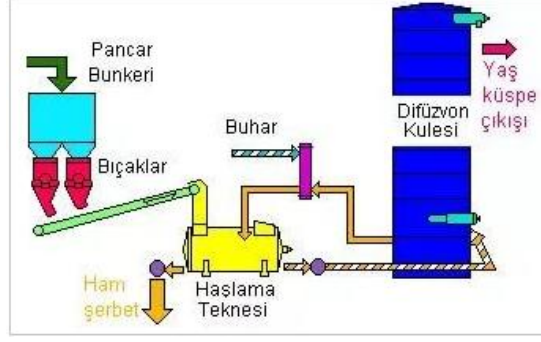


Şekil 4.2. Pancar hazırlanması akış şeması (www.turkseker.gov.tr, 2016).

Şeker fabrikasına gelen şeker pancarı araçlardan boşaltma bunkerine dökülür. Şeker pancarı ileyici/toprak ayırıcılar, yüzdürme kanallarındaki ot ve taş tutucular, pancar yıkama teknesi ve son olarak da yıkama makineleri sayesinde temizliği yapılarak ham şerbet ünitesine gönderilir (www.turkseker.gov.tr, 2016).

#### 4.2. HAM ŞERBET ÜRETİM ÜNİTESİ (H.Ş.Ü.Ü)

Şeker fabrikalarının kapasiteleri ham şerbet ünitesine alınacak pancarın miktarı ile doğru orantılı olarak diğer üniteleri de etkilemektedir. Şerbet üretim ünitesinde en önemli parametrelerden biri çekiş oranıdır. Çekiş oranı işletmeye alınan ham şerbetin, işletmeye alınan pancara oranıdır. Çekiş oranı işletmelerde 100 ile 125 arasında değişmektedir. İncelenen fabrika için çekiş oranı 120 olarak kabul edilmiştir. Şeker fabrikası işletmelerinde ise çekiş oranları işletme şartlarına bağlı olarak 100 ile 125 arasında gerçekleşmektedir. Çekiş oranı ile şeker zayıyatı arasında ters orantı olup çekiş oranı arttıkça şeker zayıyatı azalmakta ve sisteme daha fazla su alınması gerekmektedir. Ancak sisteme daha fazla su alınmasına bağlı enerji tüketimi artar (Türközü, 2008).



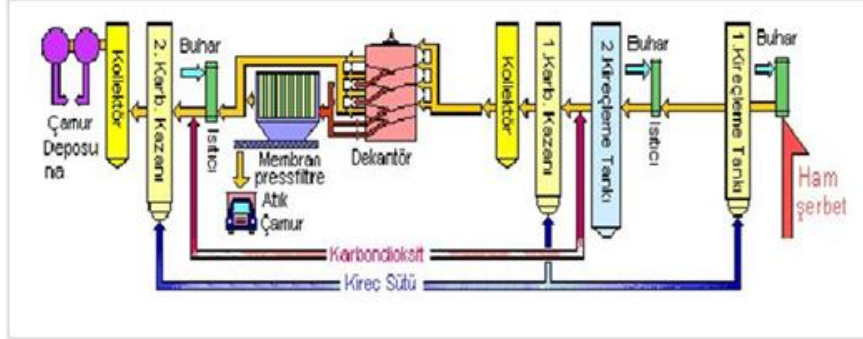
Şekil 4.3. Ham şerbet üretimi akış şeması (www.turkseker.gov.tr, 2016).

Şerbet üretim ünitesi; yıkama ve durulama işlemleri gerçekleştirilerek şeker pancarlarının kıyım haline getirildiği ünedir (Şekil 4.3). Şeker pancarı, ağırlığı ile kıyım işlemi gerçekleşir. Kıyım işlemi esnasında pancarın hücre dokusu bozulmamasına, düzgün kesilmesine ve aynı kalınlıkta olmasına dikkat edilmelidir. Kıyım kalitesini etkileyen bu özellikler şerbet miktarını ve işletmenin hızını da belirlemektedir. Kıyımı yapılan pancarlar tartılarak haşlama teknesine gönderilir. Haşlama teknesinde, difüzörden gelen sirkülasyon şerbeti ile pancar kıyımları karıştırılarak haşlanır. Şerbetin bir bölümü şeker arıtımına gönderilirken kalan kısım ise kıyımla birlikte difüzöre gönderilir. Difüzörde kıyımlar dönen mil üzerinde bulunan kanatlar sayesinde yukarı doğru çıkarken difüzörden aşağı yönlü akışı olan difüzyon besleme suyu tarafından pancar kıyımını şekerinin alınması sağlanır. Kıyım yukarı ulaştığında sulu küspe olarak çıkmaktadır. Sulu küspe prese makinalarında sıkılarak küspedeki suyun maksimum seviyede geri alınması sağlanır. Bu sayede küspe ile olacak su ve şeker kaybı minimum seviyede tutulur. Prese makinelerinden elde edilen bu su difüzöre döndürülür. Küspe ise hayvan yemi olarak değerlendirilir. Difüzörden elde edilen şerbet, içerisinde bulunan yabancı maddelerden arıtılmak üzere ham şerbet arıtma ünitesine gönderilir.

#### 4.3. HAM ŞERBET ARITILMASI (H.Ş.A.Ü)

Şerbet üretim ünitesinden elde edilen şerbet, içerisinde bulunan şeker dışı yabancı maddelerden arıtılmak üzere şerbet arıtım ünitesine gönderilir. Şerbet arıtımı sayesinde şeker dışı yabancı maddeler ortamdaki uzaklaştırıldığı için kristal şeker oluşumu esnasındaki kristalleşme hızının yavaşlanması engellenerek şeker kalitesi de

artırılmış olur. Ham şerbetin artırılması kireçleme, karbonatlama ve filtrasyon olmak üzere üç kademe de gerçekleştirilir (Şekil 4.4).



Şekil 4.4. Ham şerbet artırımını akış şeması (www.turkseker.gov.tr, 2016).

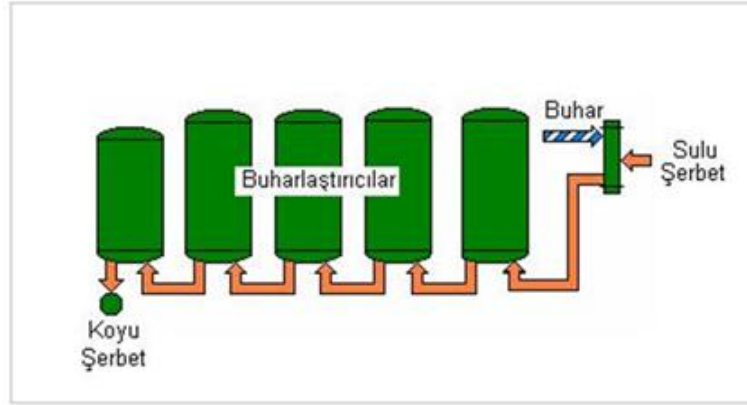
Kireçleme: Şerbet artırımında kullanılan kireç sütü, kirece su ilavesiyle gerçekleşmektedir. Şerbette çözünen kireçler, şeker ve şeker dışı maddelerin kimyasal olarak parçalanmasını ve çöktürme işlemlerinin gerçekleştirilmesini sağlar. Kireçleme işlemleri de birinci kireçleme ve ikinci kireçleme olmak üzere iki kademe de gerçekleştirilmesi daha sağlıklıdır.

I. kireçleme işleminde; kireç sütü ilave edilerek şerbet içerisinde bulunan şeker dışı maddelerin ve kolloidal maddelerin, pıhtılaşarak çökertilmesi sağlanmaktadır. Artırımın iyi olabilmesi için kireçlemelerde; pH, sıcaklık ve alkaliteye dikkat edilmelidir (Direybatogulları, 2012). 1. Kireçleme işlemi PH değerine göre 5-10 dakika süre ile 60-65°C sıcaklıkta gerçekleşmektedir.

II. kireçleme işleminde ise PH değeri yaklaşık 12.6 değeri elde edilene kadar kireç sütü verilmeye devam edilir. II. kireçleme de meydana gelen kimyasal reaksiyonlarla şerbetin koyulaştırma ve kristalizasyon işlemlerinin gerçekleştirilmesi sağlanacaktır. II. kireçleme işlemi 85-88 °C sıcaklıkta yaklaşık 15 dakika sürmektedir.

#### 4.4. ŞERBET BUHARLAŞTIRMA ÜNİTESİ (Ş.B.Ü.)

Şerbet artırım ünitesinden gelen sulu şerbetin kuru madde oranının yaklaşık % 14,6 oranından % 56,7 oranında kuru madde oranına koyulaştırılan ünite (Şekil 4.5).



Şekil 4.5. Şerbet buharlaştırma akış şeması (www.turkseker.gov.tr, 2016).

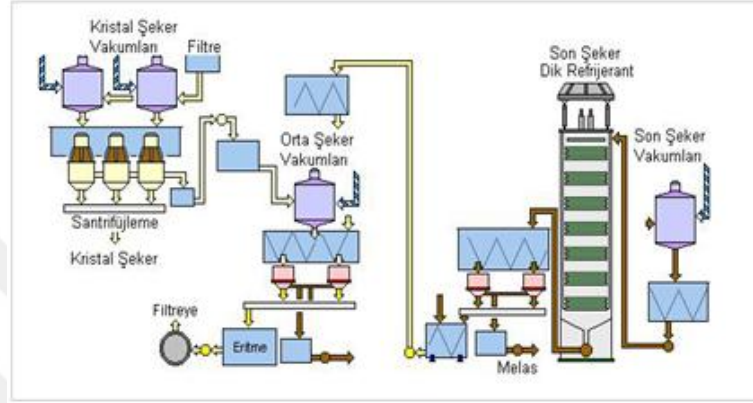
Koyulaştırma işlemi fabrikaların kapasitelerine göre 4, 5 veya 6 kademedeki buharlaştırma aparatları (Buhar kamarası, şerbet kamarası ve şerbet buharı kamarası) sayesinde gerçekleştirilir. Sulu şerbet buharlaştırıcıya alttan girer, buhar kamarası içinden geçen boruların dışındaki ısıtma buharının etkisiyle buharlaşarak yükselir. Yükselen şerbet ısıtma kamarasının tam ortasındaki sirkülasyon borusundan aşağı inerek diğer buharlaştırıcıya geçer (www.turkseker.gov.tr, 2016).

Arıtım ünitesinden gelen sulu şerbet ısıtılarak 4. kademe buharlaştırıcıya gönderilir. Buhar kazanından gelen 3.1 bar basınç ve 139 °C buhar ise ilk önce 1. kademe buharlaştırıcıya gitmektedir. 4. Kademedeki çıkan şerbet sırasıyla 1, 2, 3. kademe buharlaştırıcılardan geçerek en son 5. Kademedeki % 56,7 kuru madde olarak üniteyi terk eder. 1. buharlaştırıcı türbinden gelen buhar ile ısıtılır. Buharlaştırma ünitesinde 1. buharlaştırıcının şerbetinden elde edilen buhar diğer buharlaştırıcının ısıtma buharı olur. Isıtma buharı ise sırasıyla 1, 2, 3, 4 ve 5' nolu buharlaştırıcılardan geçerek sulu şerbetin koyulaştırılmasını sağlar.

#### 4.5. RAFİNERİ ÜNİTESİ (R.Ü.)

Şekerin kristallenmesi rafine ünitesinde gerçekleştirilir. Buharlaştırma ünitesinden gelen koyu şerbetin süzülerek kristal şerbet vakum pişirim aparatlarında lapa haline getirilir. Lapa, santrifüj makinelerinde işlenerek şeker taneleri ve şurup olarak ayrılır ve şurup orta şeker vakumlarına gönderilir. Orta şeker ve son şeker aparatlarında da aynı işlemler gerçekleştirilir. Son şeker vakumundan çıkan şurubun diğerlerinden

farkı melas olmasıdır. Kristal şeker pişirimi, orta şeker pişirimi ve son şeker pişirimlerinden oluşan üçlü pişirim sistemi kullanılmaktadır (Schneider and Reinefeld, 1971; Direybatogulları, 2012; Türközü, 2008). Üçlü pişirim sistemi ile fabrikanın şeker kaybı minimum seviyede gerçekleşerek koyu şerbetten daha fazla verim elde edilir (Şekil 4.6).



Şekil 4.6. Şerbet rafine akış şeması (www.turkseker.gov.tr, 2016).

#### 4.5.1. Kırtal Şeker Pişirimi

Şerbet buharlaştırma ünitesinden gelen koyu şerbet, orta şeker pişirim şurubu, afine şekerinin karışımıyla standart şurup elde edilir. Standart şurup kırtal şeker vakum pişirim aparatlarına alınır. Maya vakum aparatlarında hazırlanan magma standart şurubun mayalanmasını sağlar. Magma içindeki küçük kırtal şekerleri normal kırtal şeker büyüklüğüne pişirim sonunda ulaşır. Pişirim kuru madde oranı %92-93 olduğunda tamamlanır. Standart şurup ise kırtal şeker lapası haline gelir. Santrifüj makinelerinde şeker kristalleri ve ortam şurubu ayrılır. Şeker kristalleri kurutulmaya, ortam şurubu da orta şeker pişirimine gönderilir.

#### 4.5.2. Orta Şeker Pişirimi

Kırtal şeker pişiriminden gelen şurup orta şeker vakum pişirim aparatlarına alınır. Orta vakum aparatlarında mayalanma gerçekleşir. Pişirim devam ederken magma içindeki küçük kırtal şekerleri normal kırtal şeker büyüklüğüne ulaşır. Pişirim sonunda oluşan lapa, santrifüj makinelerinde orta şeker kristallerine ve orta şeker

şurubuna ayrılır. Kristal şeker kristallerine göre esmer olan orta şeker kristalleri standart şurupta kullanılmak üzere kristal şeker pişirimine, ortam şurubu da son şeker pişirimine gönderilir.

#### **4.5.3. Son Şeker Pişirimi**

Orta şeker pişirim santrifüjlerinden gelen şurup son şeker vakum pişirim aparatlarına alınır. Lapa oluşumu, kristal şeker pişirimi ve orta şeker pişiriminde olduğu gibidir. Ancak lapa, kristalizörlere gönderilerek son kristalleşme gerçekleştirilir. Kristalizörden alınan lapa, santrifüj makinelerinde işlenerek son şeker ve şurup olarak ayrılır. Ayrılan şurup melastır. Son şeker ise afinedir. Afine şeker ise standart şurup hazırlanmasında kullanılmak üzere kristal şeker pişirimine gönderilir.

#### **4.5.4. Afine Şeker**

Son şeker pişirim santrifüjünde elde edilir. Esmer renkli ve safiyeti düşük bir üründür. Afine şeker, standart şurup hazırlanmasında kullanılmakta olup son şeker pişirim şurubudur.

#### **4.5.5. Melas**

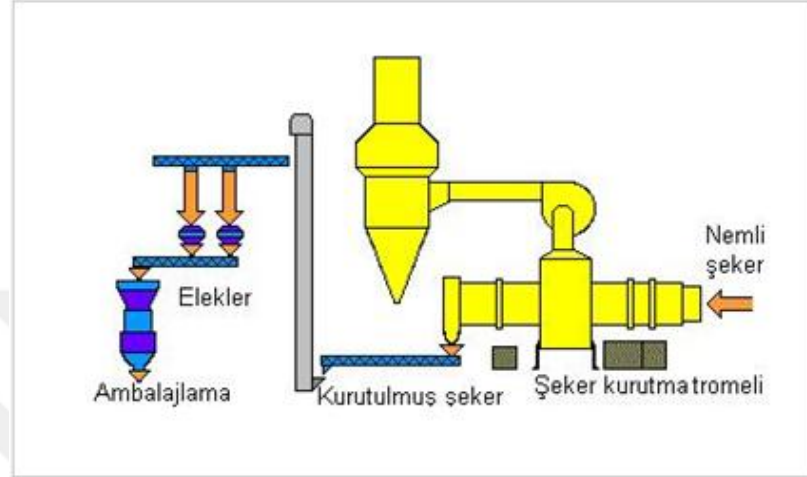
Rafine ünitesinde son şeker santrifüjünden elde edilen ve kristalleşme olanağı bulunmayan şuruba melas denir. Melas % 45-55 aralığında şeker oranında olmasına rağmen şeker dışı maddelerin fazla miktarda bulunmasından dolayı kristalleşmesi imkânsızdır.

Melas organik madde ve vitamin yönünden zengin olmasından dolayı maya üretimi, yem sanayi, alkol üretim sanayilerinde kullanılmaktadır.

### **4.6. ŞEKERİN KURUTULMASI VE SOĞUTMA**

Son şeker pişiriminden gelen rutubetli kristal şekerlerinin depolanması ve paketlenmesi sıkıntı oluşturur. Bu nedenle kristal şeker, filtrelenen ve ısıtılan hava ile

kurutulur. Kristal şekerleri, kurutulması sırasında ısınır. Isınan şekerin soğutulması ise içerisinde soğuk su dolaşan serpantinlerle gerçekleşir. Böylece fabrika giren şeker pancarı 34 °C sıcaklık ve % 00,04 nem oranında şeker olarak rafine ünitesini terk eder. Şeker paketlenmek üzere ambalajlama ünitesine gönderilir (Şekil 4.7).



Şekil 4.7. Şeker kurutma-soğutma akış şeması (www.turkseker.gov.tr, 2016).

#### 4.7. FABRİKA SU SİSTEMİ

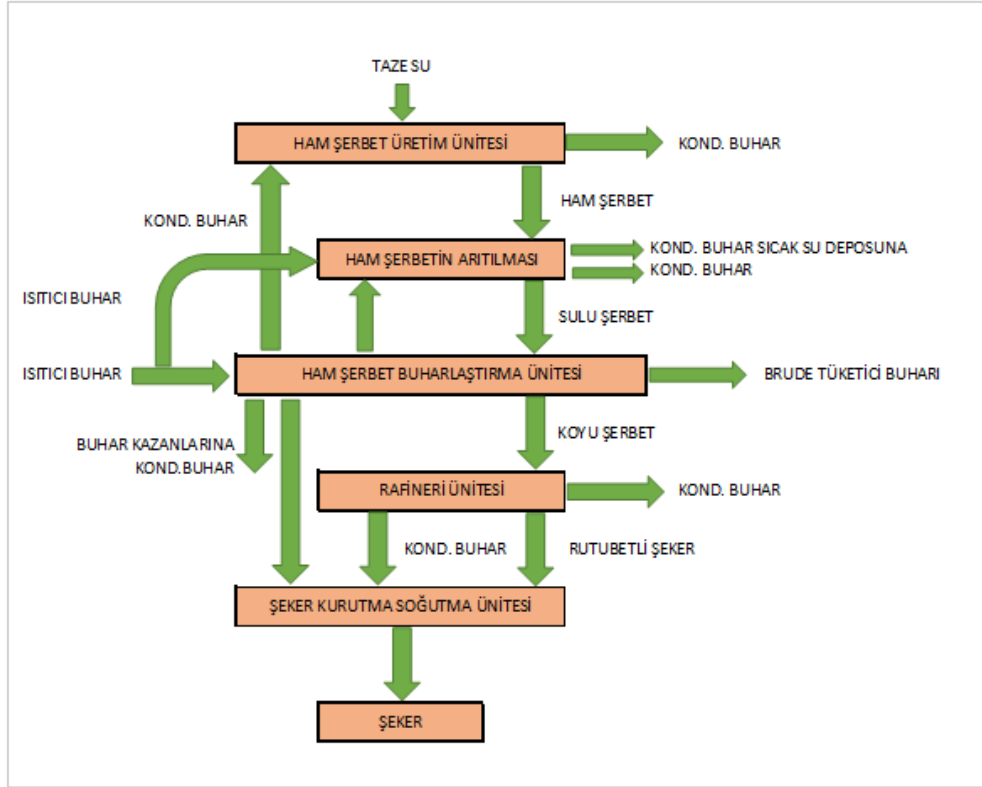
Difüzyon besleme suyu şeker kalitesini etkilemekte olup, difüzyon besleme suyunun temiz ve pH değerine dikkat edilmesi gerekmektedir. Ayrıca difüzyon besleme suyu yaklaşık 90 °C sıcaklığında olduğundan ısıtılması gerekmektedir.

Buhar kazanlarında üretilen buhar, buharlaştırıcılarda ve rafine ünitesinde kullanılmaktadır. Buharlaştırma ünitesinde ve rafine ünitesinde kullanılan buhar yoğunlaşarak genleşme deposuna gelmektedir.

Son kademe buharlaştırıcının fazla buharı ile pişirim aparatlarında yoğunlaşan buhar kondensere gelir. Burada soğutma kulesinden gelen 25 °C deki soğuk su püskürtülerek buharın yoğunlaştırılması sağlanır. Püskürtme işlemi ile 50-55 °C su elde edilir. Bu su dış hava ile soğutulur tekrar 25 °C ye düşürülür. Kullanma suyu döngüsü tekrarlanır.



Fabrika su sistemi ring hattında kullanılan buhar ve su, fabrika sisteminin ring hattı borularından geçerken boru yüzeylerinde sıcaklık kaybına, boru sürtünmelerinden dolayı basınç kaybına sebep olmaktadır. Fabrika su sisteminde meydana gelen bu kayıplar sonucunda enerji ve ekserji kayıpları gerçekleşmektedir. Fabrika su sistemi akış şeması 4.8. nolu Şekilde gösterilmiştir.



Şekil 4.8. Fabrika su sistemi akış şeması.

## BÖLÜM 5

### ŞEKER FABRİKASINA ENERJİ VE EKSERJİ ANALİZİNİN UYGULANMASI

Şeker fabrikası ham şerbet üretim ünitesi, ham şerbet arıtım ünitesi, şerbet buharlaştırma ünitesi, rafine ünitesi, şeker kurutma-soğutma ünitesi ve fabrika su sistemine enerji ve ekserji analizi uygulanmıştır. Tesisin 2014-2015 kampanya döneminin yaklaşık işletme verileri kullanılarak enerji ve ekserji analizi uygulanmıştır. Pancar kıyımı ile şerbet ve küspenin enerji ve ekserji analiz hesaplarında ekte sunulan özgül entalpi ve özgül ekserji grafikleri (Ek A.1., Ek A.2., Ek A.3., Ek A.4., Ek A.5.) ile <http://www.sugartech.co.za/enthalpy/index.php> internet sitesi kullanılmıştır.

Fabrikanın enerji ve ekserji analizlerinde kullanılmak üzere 2014-2015 kampanya dönemine ait verilerin yaklaşık değerleri 5.1.a ve 5.1.b. nolu çizelgelerde verilmiştir. Yapılan kabuller;

Çizelge 5.1. Fabrika değerleri.

a) Fabrika için yapılan kabuller.

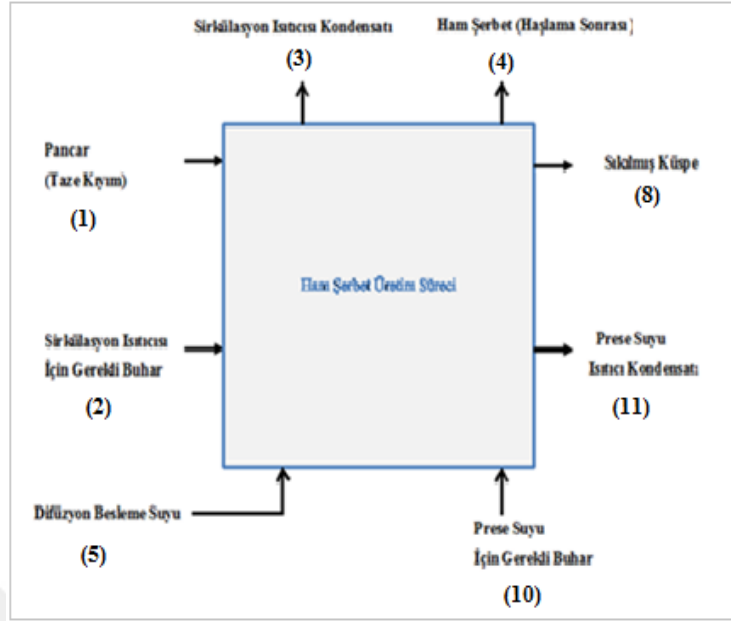
Pancardaki Şeker Oranı (%)	16,4
Pancarn Sıcaklığı (°C)	10
Difüzyon Sıcaklığı (°C)	72
Sirkülasyon Sıcaklığı (°C)	80
Sıkılmış Küspe % K.M	17,6
Ham Şerbet Çekiş Oranı (% pg)	120
Ham Şerbet Sa fiyeti (%)	87,8
Ham Şerbet Sıcaklığı (°C)	30
Koyu Şerbet % K.M	56,7

Çizelge 5.1. (devam ediyor).

b) Fabrika kampanya dönemi verileri.

Akış İsmi	Debi % pg	% KM
Pancar	100	23,11
Besleme Suyu	37	-
Prese Suyu	39,8	3,5
Islak Küspe	67,1	9
Sıkılmış Küspe	27,3	17,6
Ham Şerbet	120	15,4
CaO	1,8	-
CO <sub>2</sub>	1,5	-
Fitre Çamuru	8	75
Absüs Suyu	8,25	-
Sulu Şerbet	121	14,6
Buharlaştırıcı Üniteleri için Şerbet	121	14,6
Koyu Şerbet	31	56,7
Su Buharlaştırıcısı	90	-
Ra fineri için Koyu Şerbet	31	56,7

Ham şerbet üretim ünitesindeki akışlara ait enerji ve ekserji bilançosu için ekserji hesabı örneği;



Şekil 5.1. Ham şerbet üretim ünitesi akış blok diyagramı.

Ham şerbet üretim ünitesine net giren akışlar 1,2,5,10 nolu akışlar olup ham şerbet üretim ünitesinden çıkan net akışlar ise 3,4,8,11 nolu akışlardır. Difüzyona giren prese suyu (6), ıslak küspe (7) ve prese makinelerinden çıkan prese suyu (9) akışları ise ham şerbet ünitesine ait ara ürün akışlardır. Ünitelere ait madde enerji ve ekserji bilançosu çizelgelerinde, ünitelere giren ve çıkan net akışların değerleri gösterilmiş olup ara ürünlerin değerleri gösterilmedi. Ham şerbet üretim ünitesine ait akış bloğu diyagramı Şekil 5.1’de gösterilmekte olup örnek hesaplamaları aşağıdaki gibidir.

#### 1 nolu akış:

$$T = 10^{\circ}\text{C} = 283^{\circ}\text{K} \quad m = 100 \text{ kg}/100 \text{ pg}$$

$$\varepsilon = 0; E_x = \varepsilon_1 \cdot m = 0.120 = 0$$

#### 2 nolu akış:

$$T = 107^{\circ}\text{C} = 380^{\circ}\text{K} \quad m = 1,57 \text{ kg}/100 \text{ pg} \quad h = 2686,48 \text{ kJ/kg} \quad s = 7,2724 \text{ kJ/kgK}$$

$$\varepsilon_2 = (h - h_0) - T_0(s - s_0) = (2686,48 - 104,83) - 298(7,2724 - 0,3672)$$

$$\varepsilon_2 = 523,900 \text{ (kJ / kg)}$$

$$E_x = \varepsilon_2 \cdot m = 523,900 \cdot 1,57 = 823 \text{ (kJ)}$$

### 3 nolu akış:

$$T = 107^\circ\text{C} = 380^\circ\text{K} \quad m = 1,57 \text{ kg/100 pg} \quad h = 448,598 \text{ kJ/kg} \quad s = 1,3856 \text{ kJ/kgK}$$

$$\varepsilon_3 = (h - h_0) - T_0(s - s_0) = (448,598 - 104,83) - 298(1,3856 - 0,3672)$$

$$\varepsilon_3 = 40,2848 \text{ (kJ / kg)}$$

$$E_x = \varepsilon_3 \cdot m = 40,2848 \cdot 1,57 = 63 \text{ (kJ)}$$

### 4 nolu akış:

$$T = 35^\circ\text{C} = 308^\circ\text{K} \quad m = 120 \text{ kg/100 pg}$$

$$\varepsilon_0 = 17,5$$

$$\varepsilon = 19,6$$

Teknik sakkoroz su çözeltisi için özgül ekserji grafiğinden yararlanılmıştır.

$$\varepsilon_4 = \varepsilon - \varepsilon_0 = 19,6 - 17,5 = 2,1$$

$$E_x = \varepsilon_4 \cdot m = 2,1 \cdot 120 = 252 \text{ (kJ)}$$

### 5 nolu akış:

$$T = 69^\circ\text{C} = 342^\circ\text{K} \quad m = 37 \text{ kg/100 pg} \quad h = 288,88 \text{ kJ/kg} \quad s = 0,9428 \text{ kJ/kgK}$$

$$\varepsilon_5 = (h - h_0) - T_0(s - s_0) = (288,88 - 104,83) - 298(0,9428 - 0,3672)$$

$$\varepsilon_5 = 12,5212 \text{ (kJ / kg)}$$

$$E_x = \varepsilon_5 \cdot m = 12,5212 \cdot 37,37 = 463 \text{ (kJ)}$$

6 nolu akış:

$$T = 74^\circ\text{C} = 347^\circ\text{K} \quad m = 39,87 \text{ kg/100 pg} \quad h = 305,646 \text{ kJ/kg} \quad s = 0,9915 \text{ kJ/kgK}$$

$$\varepsilon_6 = (h - h_0) - T_0(s - s_0) = (305,646 - 104,83) - 298(0,9915 - 0,3672)$$

$$\varepsilon_6 = 14,7746 \text{ (kJ / kg)}$$

$$E_x = \varepsilon_6 \cdot m = 14,7746 \cdot 39,87 = 589 \text{ (kJ)}$$

7 nolu akış:

$$T = 64^\circ\text{C} = 337^\circ\text{K} \quad m = 67,1 \text{ kg/100 pg}$$

$$\varepsilon_0 = 25,8 \text{ (kJ/kg)}$$

$$\varepsilon = 37,1 \text{ (kJ/kg)}$$

Sıkılmış küspe özgül ekerji grafiğinden yararlanılmıştır.

$$\varepsilon_4 = \varepsilon - \varepsilon_0 = 37,1 - 25,8 = 11,3$$

$$E_x = \varepsilon_4 \cdot m = 11,3 \cdot 67,1 = 758 \text{ (kJ)}$$

8 nolu akış:

$$T = 54^\circ\text{C} = 327^\circ\text{K} \quad m = 23,7 \text{ kg/100 pg}$$

$$\varepsilon_0 = 22,1 \text{ (kJ/kg)}$$

$$\varepsilon = 29,3 \text{ (kJ/kg)}$$

Sıkılmış küspe özgül ekerji grafiğinden yararlanılmıştır.

$$\varepsilon_4 = \varepsilon - \varepsilon_0 = 29,3 - 22,1 = 7,2$$

$$E_x = \varepsilon_4 \cdot m = 7,2 \cdot 23,7 = 170 \text{ (kJ)}$$

9 nolu akış:

$$T = 62^\circ\text{C} = 335^\circ\text{K} \quad m = 39,87 \text{ kg/100 pg} \quad h = 259,556 \text{ kJ/kg} \quad s = 0,8563 \text{ kJ/kgK}$$

$$\varepsilon_2 = (h - h_0) - T_0(s - s_0) = (259,556 - 104,83) - 298(0,8563 - 0,3672)$$

$$\varepsilon_2 = 8,9742 \text{ (kJ / kg)}$$

$$E_x = \varepsilon_2 \cdot m = 8,9742 \cdot 39,87 = 358 \text{ (kJ)}$$

10 nolu akış:

$$T = 62^\circ\text{C} = 335^\circ\text{K} \quad m = 39,87 \text{ kg/100 pg} \quad h = 259,556 \text{ kJ/kg} \quad s = 0,8563 \text{ kJ/kgK}$$

$$\varepsilon_{10} = (h - h_0) - T_0(s - s_0) = (2669,2 - 104,83) - 298(7,4029 - 0,3672)$$

$$\varepsilon_{10} = 467,7314 \text{ (kJ / kg)}$$

$$E_x = \varepsilon_{10} \cdot m = 467,7314 \cdot 0,45 = 210 \text{ (kJ)}$$

11 nolu akış:

$$T = 96^\circ\text{C} = 347^\circ\text{K} \quad m = 0,45 \text{ kg/100 pg} \quad h = 402,306 \text{ kJ/kg} \quad s = 1,2618 \text{ kJ/kgK}$$

$$\varepsilon_{11} = (h - h_0) - T_0(s - s_0) = (402,306 - 104,83) - 298(1,2618 - 0,3672)$$

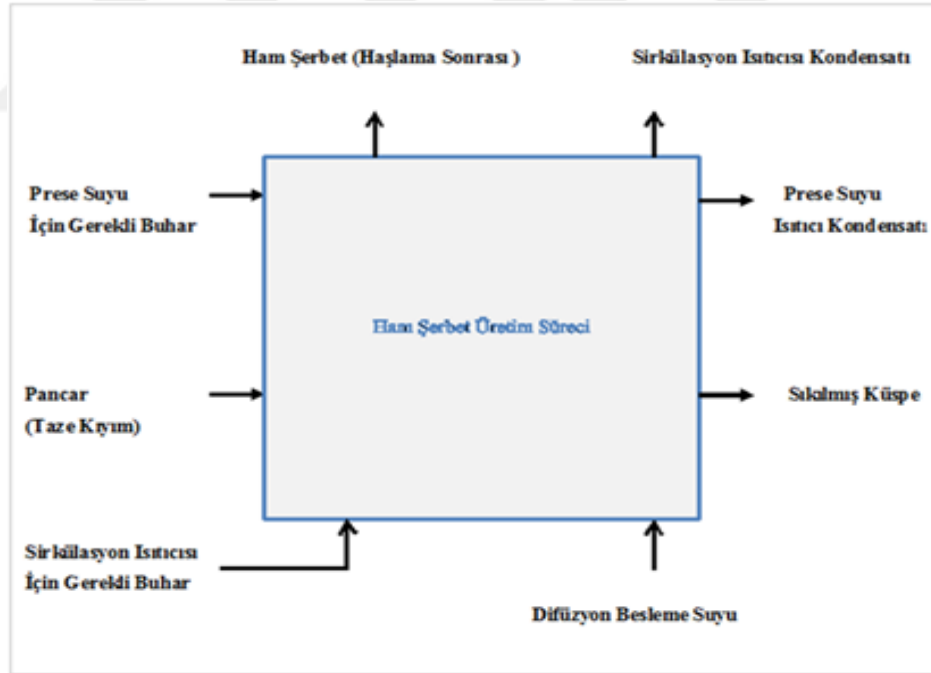
$$\varepsilon_{11} = 30,8852 \text{ (kJ / kg)}$$

$$E_x = \epsilon_{11} \cdot m = 30,8852 \cdot 0,45 = 14 \text{ (kJ)}$$

Tesisin ham şerbet artım, şerbet buharlaştırma ünitesi, rafine ünitesi, şeker kurutma-soğutma ünitesi ve fabrika su sistemine ait enerji ve ekserji bilançosu çizelgeleri oluşturulurken ham şerbet üretim ünitesi için yukarıda sunulan hesaplama yöntemleri uygulanmış olup hesap detayları gösterilmemiştir. Hesaplamalar sonucu elde edilen değerler enerji ve ekserji bilançosu çizelgelerine aktarılmıştır.

### 5.1. HAM ŞERBET ÜRETİM ÜNİTESİ (H.Ş.Ü.Ü)

Ham şerbet üretim ünitesinde pancarın kıyım haline getirilip haşlanma işlemi gerçekleşir. Haşlama sonrası elde edilen ham şerbet, ham şerbet artım ünitesine gönderilir. Ham şerbet üretim ünitesine giren akışlar ve çıkan akışların blok diyagramları Şekil 5.2’de verilmiştir.



Şekil 5.2. Ham şerbet üretim ünitesi blok diyagramı.

Ham şerbet üretim sürecinde 1,2,5,7 nolu akışlar sürece girmekte olup, 3,4,6,8 nolu akışlar ise süreç sonucunda çıkan akışlardır. Ham şerbet üretim ünitesinin enerji ve



ekserji değerleri hesaplanarak enerji ve ekserji bilançosuna ait 5.2. nolu çizelge oluşturulmuştur.

Çizelge 5.2. Ham şerbet üretim ünitesi madde enerji ve ekserji bilançosu.

Akış No	Akışın Adı	M	P	T	Enerji	Ekserji	%
		100 pg	Bar	°C	kJ/100pg	kJ/100pg	GAEGO
1	Pancar (Taze Kıyım)	100	1	10	7620	0	0
2	Sirkülasyon Isıtıcısı İçin Gerekli Buharı	1,57	1,1	107	4218	823	55
3	Sirkülasyon Isıtıcısı <del>Kondensatı</del>	1,57	1,1	107	705	63	4,2
4	Ham Şerbet (Haşlama Sonrası )	120	1	35	15792	199	13,3
5	Difüzyon Besleme Suyu	37	1	69	10698	463	30,9
6	Sıkılmış Küşpe	23,7	1	54	4432	170	11,3
7	Prese Suyu İçin Gerekli Buhar	0,45	0,85	96	1201	210	14
8	Prese Suyu Isıtıcı <del>Kondensatı</del>	0,45	0,85	96	181	14	0,9

Termodinamiğin I. Kanununa göre verim;

Giren akışların enerjileri toplamı=23737kJ/100pg

Çıkan akışların enerjileri toplamı=21110 kJ/100pg

$$\eta_I = \frac{\sum E_{\text{ç}}}{\sum E_{\text{g}}} = \frac{21110}{23728}$$

$$\eta_I = 0,889$$

Termodinamiğin I. Kanununa göre H.Ş.Ü.Ü'nin ısı (I. Yasa) verimi % 88,9 olarak hesaplanmıştır.

Termodinamiğin II. Kanununa göre verim;

Giren akışların ekserjileri toplamı,

$$\sum_i \Delta E_{x,g} = 1496 \text{ kJ/100 pg}$$

Çıkan akışların net ekserjileri toplamı;

$$\sum_i \Delta E_{x,net\checkmark} = 446 \text{ kJ/100 pg}$$

$$\eta_{II} = \frac{\sum \Delta E_{x,\checkmark}}{\sum \Delta E_{x,g}} = \frac{446}{1496}$$

$$\eta_{II} = \%29,8$$

Termodinamiğin II. Kanununa göre sürecin verim % 29,8 olarak hesaplanmıştır.

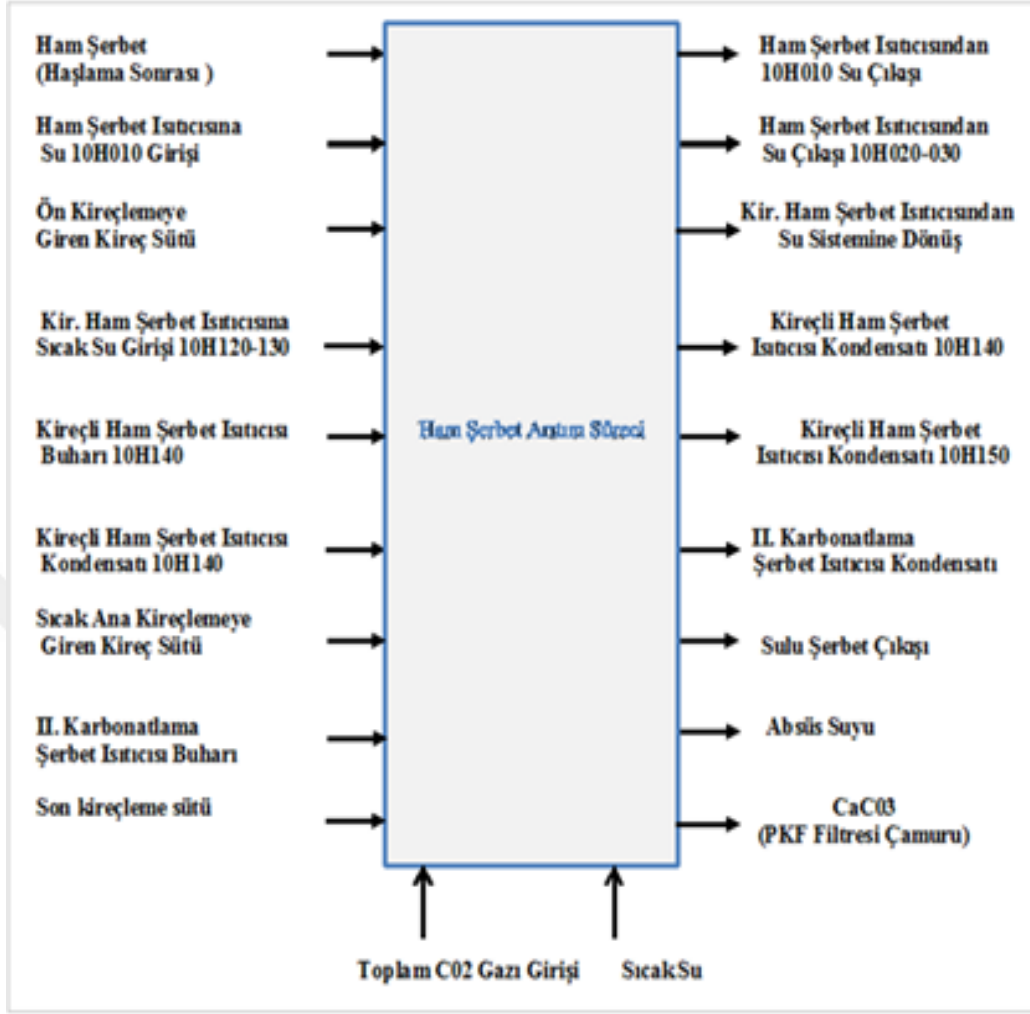
Ham şerbet üretimi sürecindeki tersinmezlikler;

$$\dot{I} = \sum E_{x,g} - \sum E_{x,\checkmark} = 1496 - 446$$

$\dot{I} = 1050 \text{ kJ/100pg}$  olarak hesaplanmıştır

## 5.2. HAM ŞERBET ARITIM ÜNİTESİ (H.Ş.A.Ü)

Ham şerbet üretim ünitesinden gelen şerbetin arıtılarak buharlaştırma ünitesine gönderilme işlemi ham şerbet arıtım ünitesinde gerçekleştirilir. Ham şerbet arıtım ünitesine giren akışlar ve çıkan akışların blok diyagramları Şekil 5.3' te verilmiştir.



Şekil 5.3. Ham şerbet arıtım ünitesi blok diyagramı.

Ham şerbet arıtım ünitesinde 1,2,5,6,8,9,12,13,15,16 ve 18 nolu akışlar sürece girmekte olup, 3,4,7,10,11,14,17,19 ve 20 nolu akışlar ise süreç sonucunda çıkan akışlardır. Ham şerbet arıtım ünitesinin enerji ve ekserji değerleri hesaplanarak enerji ve ekserji bilançosuna ait 5.3' nolu çizelge oluşturulmuştur.

Çizelge 5.3. Ham şerbet arıtım ünitesi madde enerji ve ekserji bilançosu.

Akış No	Akışın Adı	M	P	T	Enerji	Ekserji	%
		100 pg	Bar	°C	kJ/100pg	kJ/100pg	GAEGO
1	Ham Şerbet (Haşlama Sonrası )	120	1	35	15792	199	2,9
2	Ham Şerbet Isıtıcısına Su 10H010 Girişi	141	1	59	34826	1078	15,9
3	Ham Şerbet Isıtıcısından 10H010 Su Çıkışı	141	1	49	28927	550	8,1
4	Ham Şerbet Isıtıcısından Su Çıkışı 10H020-030	65,8	1	56	15426	421	6,2
5	Ön Kireçlemeye Giren Kireç Sütü	3,21	1	54	0	0	0
6	Kir. Ham Şerbet Isıtıcısına Sıcak Su Girişi 10H120-130	87,3	1	96	35121	2696	39,9
7	Kir. Ham Şerbet Isıtıcısından Su Sistemine Dönüş	23,23	1	72	7002	330	4,8
8	Kireçli Ham Şerbet Isıtıcısı Buharı 10H140	3,59	0,8	96	9582	1679	24,8
9	Kireçli Ham Şerbet Isıtıcısı Buharı 10H150	0,26	1,1	107	698	136	2,0
10	Kireçli Ham Şerbet Isıtıcısı Kondensatı 10H140	3,59	0,8	96	1444	111	1,6
11	Kireçli Ham Şerbet Isıtıcısı Kondensatı 10H150	0,26	1,1	107	116	11	0,16
12	Sıcak Ana Kireçlemeye Giren Kireç Sütü	5,45	1	54	0	0	0
13	II. Karbonatlama Şerbet Isıtıcısı Buharı	1,57	1	107	4218	823	12,1
14	II. Karbonatlama Şerbet Isıtıcısı Kondensatı	1,57	1,1	107	705	63	0,9
15	Son Kireçleme Kireç Sütü	0,55	1	54	0	0	0
16	Toplam CO2 Gazı Girişi	1,74	1	84	0	0	0
17	Sulu Şerbet Çıkışı	121	1	96	44394	3824	56,6
18	Sıcak Su	11,36	1	69	3281	142	2,1
19	Absüs Suyu	8,25	1	64	2210	82	1,2
20	CaCO3 (PKF Filtresi Çamuru)	8	1	34	0	0	0

Termodinamiğin I. Kanununa göre verim;

Giren akışların enerjileri toplamı=103518kJ/100pg

Çıkan akışların enerjileri toplamı=100224kJ/100pg

$$\eta_I = \frac{\sum E_{\dot{c}}}{\sum E_{\dot{g}}} = \frac{100224}{103518}$$

$$\eta_I = 0,968$$

Termodinamiğin I. Kanununa göre H.Ş.A.Ü'nin ısı (I. Yasa) verimi % 96,8 olarak hesaplanmıştır.

Termodinamiğin II. Kanununa göre verim;

Giren akışların ekserjileri toplamı= 6753 kJ/100pg

Çıkan akışların ekserjileri toplamı= 5392 kJ/100pg

$$\eta_{II} = \frac{\sum \Delta E_{x,\dot{c}}}{\sum \Delta E_{x,\dot{g}}} = \frac{5392}{6753}$$

$$\eta_{II} = 0,798$$

Termodinamiğin II. Kanununa göre sürecin verim % 79,8 olarak hesaplanmıştır.

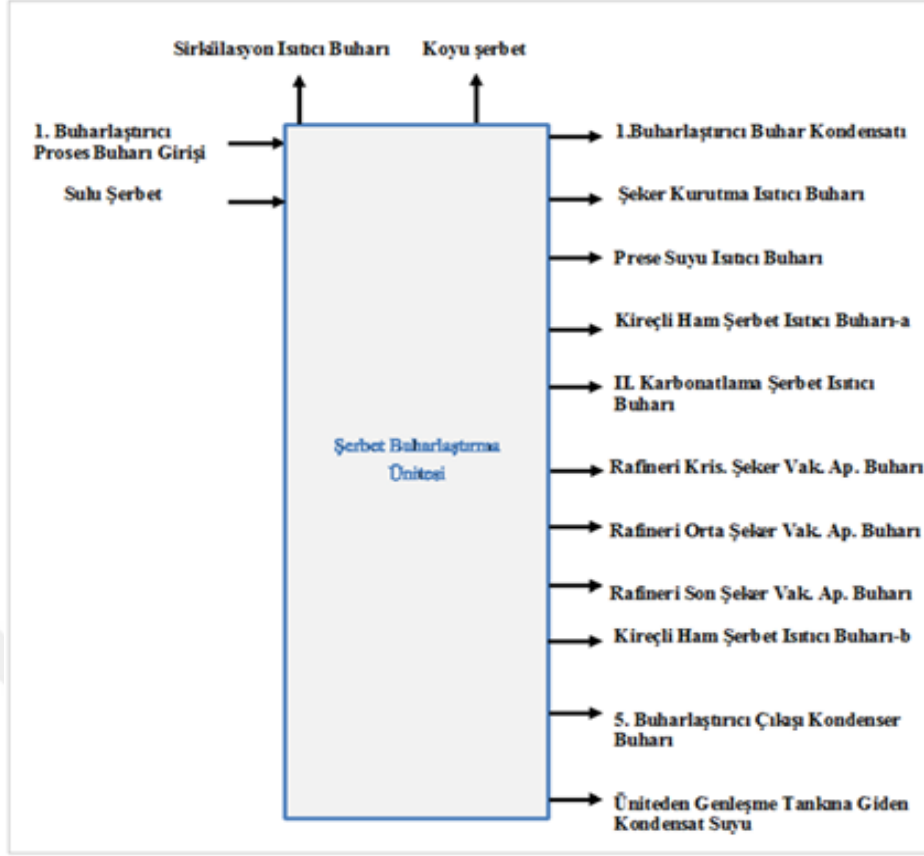
Ham şerbet arıtım ünitesindeki tersinmezlikler;

$$\dot{I} = \sum E_{x,\dot{g}} - \sum E_{x,\dot{c}} = 6753 - 5392$$

$\dot{I} = 1361$  kJ/100pg olarak hesaplanmıştır.

### 5.3. ŞERBET BUHARLAŞTIRMA ÜNİTESİ (Ş.B.Ü)

Ham şerbet arıtım ünitesinden gelen şerbetin koyulaştırılarak rafine ünitesine gönderilme işlemi şerbet buharlaştırma ünitesinde gerçekleştirilir. Şerbet buharlaştırma ünitesine giren akışlar ve çıkan akışların blok diyagramları Şekil 5.4'te verilmiştir.



Şekil 5.4. Şerbet buharlaştırma ünitesi blok diyagramı.

Şerbet buharlaştırma ünitesinde 1 ve 3 nolu akışlar sürece girmekte olup, 2,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13,14 ve 15 nolu akışlar ise süreç sonucunda çıkan akışlardır. Şerbet buharlaştırma ünitesinin enerji ve ekserji değerleri hesaplanarak enerji ve ekserji bilançosuna ait 5.4 nolu çizelge oluşturulmuştur.

Çizelge 5.4. Şerbet buharlaştırma ünitesi madde enerji ve ekserji bilançosu.

Akış No	Akışın Adı	M	P	T	Enerji	Ekserji	%
		100 pg	Bar	°C	kJ/100pg	kJ/100pg	GAEGO
1	1. Buharlaştırıcı Proses Buharı Girişi	27,34	3,1	139	74793	18289	82,7
2	1. Buharlaştırıcı Buhar Kondensatı (Kazan Dönüşü)	27,34	3,1	133	15208	1839	8,3
3	Sulu Şerbet	121,00	1,0	95	44439 4	3824	17,2
4	Sirkülasyon Isıtıcı Buharı	1,57	1,1	107	4218	823	3,7
5	Prese Suyu Isıtıcı Buharı	0,45	0,8	96	1201	210	0,9

Çizelge 5.4. (devam ediyor).

Akış No	Akışın Adı	M	P	T	Enerji	Ekserji	%
		100 pg	Bar	°C	kJ/100pg	kJ/100pg	GAEGO
6	Kireçli Ham Şerbet Isıtıcı Buharı	3,59	0,8	96	9532	1679	7,5
7	Kireçli Ham Şerbet Isıtıcı Buharı	0,26	1,1	107	696	136	0,6
8	II. Karbonatlama Şerbet Isıtıcı Buharı	1,57	1,1	107	4218	823	3,7
9	Rafineri Kıs. Şeker Vak. Ap. Buharı	9,29	1,1	107	24513	4867	22
10	Rafineri Orta Şeker Vak. Ap. Buharı	3,06	1,1	107	8217	1603	7,2
11	Rafineri Son Şeker Vak. Ap. Buharı	1,35	1,1	107	3624	707	3,1
12	Şeker Kurutma Isıtıcı Buharı	0,90	2,5	122	2457	536	2,4
13	5. Buharlaştırıcı Çıkışı Kondenser Buharı	0,55	0,8	96	1445	257	1,1
14	Üniteden Genleşme Tankına Giden Kondensat Suyu	79,99	1,0	96	31781	2471	11,1
15	Koyu Şerbet	31,00	1,0	96	7941	688	3,1

Termodinamiğin I. Kanununa göre verim;

Giren akışların enerjileri toplamı=119187 kJ/100pg

Çıkan akışların enerjileri toplamı=115042 kJ/100pg

$$\eta_I = \frac{\sum E_{\text{ç}}}{\sum E_{\text{g}}} = \frac{115042}{119187}$$

$$\eta_I = 0,965$$

Termodinamiğin I. Kanununa göre Ş.B.Ü'nin ısı (I. Yasa) verimi % 96,5 olarak hesaplanmıştır.

Termodinamiğin II. Kanununa göre verim;

Giren akışların ekserjileri toplamı=22113kJ/100pg

Çıkan akışların ekserjileri toplamı= 16639 kJ/100pg

$$\eta_{II} = \frac{\sum \Delta E_{x,\zeta}}{\sum \Delta E_{x,g}} = \frac{16639}{22113}$$

$$\eta_{II} = 0,752$$

Termodinamiğin II. Kanununa göre sürecin verim % 75,2 olarak hesaplanmıştır.

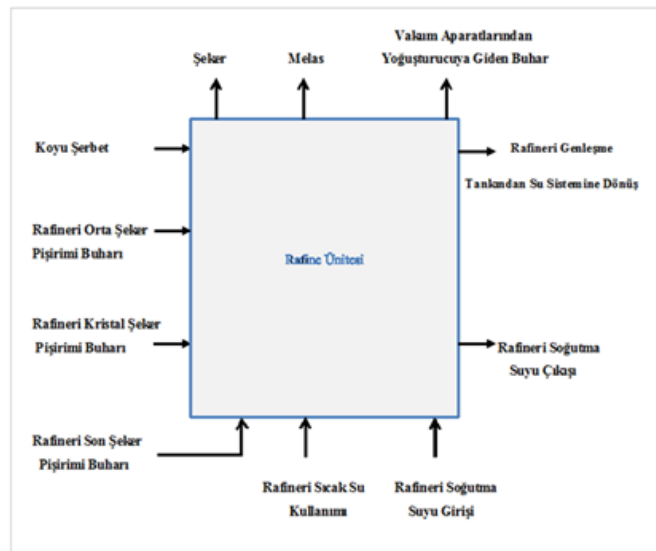
Şerbet buharlaştırma ünitesindeki tersinmezlikler;

$$\dot{I} = \sum E_{x,g} - \sum E_{x,\zeta} = 22113 - 16639$$

$\dot{I} = 5474$  kJ/100 pg olarak hesaplanmıştır.

#### 5.4. RAFİNERİ ÜNİTESİ (R.Ü)

Buharlaştırma ünitesinden gelen koyu şerbetin süzülerek kristal şeker vakum pişirim aparatlarında kristal şeker olarak pişirilmesi rafine ünitesinde gerçekleştirilir. Rafine ünitesine giren akışlar ve çıkan akışların blok diyagramları Şekil 5.5' de verilmiştir.



Şekil 5.5. Rafine ünitesi blok diyagramı.



Rafineri sürecinde 1,2,3,4,5 ve 7 nolu akışlar sürece girmekte olup, 6,8,9,10 ve 11 nolu akışlar ise süreç sonucunda çıkan akışlardır. Rafineri ünitesinin enerji ve ekserji değerleri hesaplanarak enerji ve ekserji bilançosuna ait 5.5'nolu çizelge oluşturulmuştur.

Çizelge 5.5. Rafineri ünitesi madde enerji ve ekserji bilançosu.

Akış No	Akışın Adı	M	P	T	Enerji	Ekserji	%
		100 pg	Bar	°C	kJ/100p g	kJ/100p g	GAEGO
1	Koyu Şerbet	31,00	1,00	96	7941	688	8,7
2	Rafineri Kristal Şeker Pişirimi Buharı	9,29	1,10	107	24513	4867	61,8
3	Rafineri Orta Şeker Pişirimi Buharı	3,06	1,10	107	8221	1603	20,3
4	Rafineri Son Şeker Pişirimi Buharı	1,35	1,10	107	3624	707	8,9
5	Rafineri Sıcak Su Kullanımı	3,69	1,00	96	1485	114	1,4
6	Rafineri Genleşme Tankından Su Sistemine Dönüş	10,03	1,10	96	4035	310	3,9
7	Rafineri Soğutma Suyu Girişi	15,27	2,00	34	2175	9	0,1
8	Şeker	15,30	1,00	59	273	0	0
9	Vakum Aparatlarından Yoğurturucuya Giden Buhar	13,71	0,19	63	35838	3784	48
10	Melas	5,36	1,00	59	0	0	0
11	Rafineri Soğutma Suyu Çıkışı	15,27	1,00	74	4731	234	2,9

Termodinamiğin I. Kanununa göre verim;

Giren akışların enerjileri toplamı=47959 kJ/100pg

Çıkan akışların enerjileri toplamı=44877kJ/100pg

$$\eta_I = \frac{\sum E_{\text{ç}}}{\sum E_{\text{g}}} = \frac{44877}{47959}$$

$$\eta_I = 0,935$$

Termodinamiğin I. Kanununa göre R.Ü'nin ısı (I. Yasa) verimi % 93,5 olarak hesaplanmıştır.

Termodinamiğin II. Kanununa göre verim;

Giren akışların ekserjileri toplamı=7874kJ/100pg

Çıkan akışların ekserjileri toplamı= 4328 kJ/100pg

$$\eta_{II} = \frac{\sum \Delta E_{x,\zeta}}{\sum \Delta E_{x,g}} = \frac{4328}{7874}$$

$$\eta_{II} = 0,549$$

Termodinamiğin II. Kanununa göre sürecin verim % 54,9 olarak hesaplanmıştır.

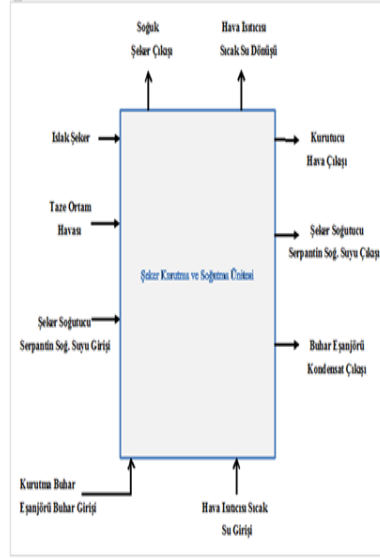
Rafineri sürecindeki tersinmezlikler;

$$\dot{I} = \sum E_{x,g} - \sum E_{x,\zeta} = 7874 - 4328$$

$$\dot{I} = 3546 \text{ kJ/100pg}$$

### 5.5. ŞEKER KURUTMA VE SOĞUTMA ÜNİTESİ (Ş.K.S.Ü)

Rafine ünitesinden gelen rutubetli kristal şekerin ısıtılan kuru hava ile kurutulma ve soğutulma işlemi şeker kurutma ve soğutma ünitesinde gerçekleştirilir. Şeker kurutma ve soğutma ünitesine giren akışlar ve çıkan akışların blok diyagramları Şekil 5.6'da verilmiştir.



Şekil 5.6. Şeker kurutma – Soğutma blok diyagramı.

Şeker kurutma ve soğutma sürecinde 1,3,4,5 ve 8 nolu akışlar sürece girmekte olup 2,6,7,9 ve 10 nolu akışlar ise süreç sonucunda çıkan akışlardır. Ham şerbet arıtım ünitesinin enerji ve ekserji değerleri hesaplanarak enerji ve ekserji bilançosuna ait 5.6' nolu çizelge oluşturulmuştur.

Çizelge 5.6. Şeker kurutma-soğutma ünitesi madde enerji ve ekserji bilançosu.

Akış No	Akışın Adı	M	P	T	Enerji	Ekserji	%
		100 pg	Bar	°C	kJ/100p g	kJ/100p g	GAEGO
1	Islak Şeker	15,29	1	59	277	24	4,5
2	Kurutucu Hava Çıkışı	8,47	1	44	2846	5	0,9
3	Taze Ortam Hava	6,32	1	20	1890	0	0
4	Hava Isıtıcı Sıcak Su Girişi	0,33	1	96	133	10	1,8
5	Şeker Soğutucu Serpantin Soğ. Suyu Girişi	5,45	1	20	457	1	0,1
6	Şeker Soğutucu Serpantin Soğ. Suyu Çıkışı	5,45	1	32	731	2	0,3
7	Soğuk Şeker Çıkışı	15,05	1	34	150	0	0
8	Kurutma Buhar Eşanjörü Buhar Girişi	0,9	1,9	112	2425	493	93,3
9	Buhar Eşanjörü Kondensat Çıkışı	0,9	1,9	112	423	41	7,7
10	Hava Isıtıcı Sıcak Su Dönüşü	0,33	1	69	95	4	0,7

Termodinamiğin I. Kanununa göre verim;

Giren akışların enerjileri toplamı=5182 kJ/100pg

Çıkan akışların enerjileri toplamı=4245 kJ/100pg

$$\eta_I = \frac{\sum E_{\zeta}}{\sum E_g} = \frac{4245}{5182}$$

$$\eta_I = 0,819$$

Termodinamiğin I. Kanununa göre Ş.K.S.Ü'nin ısı (I. Yasa) verimi % 81,9 olarak hesaplanmıştır.

Termodinamiğin 2. Kanununa göre verim;

Giren akışların ekserjileri toplamı=528kJ/100pg

Çıkan akışların ekserjileri toplamı= 52 kJ/100pg

$$\eta_{II} = \frac{\sum \Delta E_{x,\zeta}}{\sum \Delta E_{x,g}} = \frac{52}{528}$$

$$\eta_{II} = 0,98$$

Termodinamiğin 2. Kanununa göre sürecin verim % 9,8 olarak hesaplanmıştır.

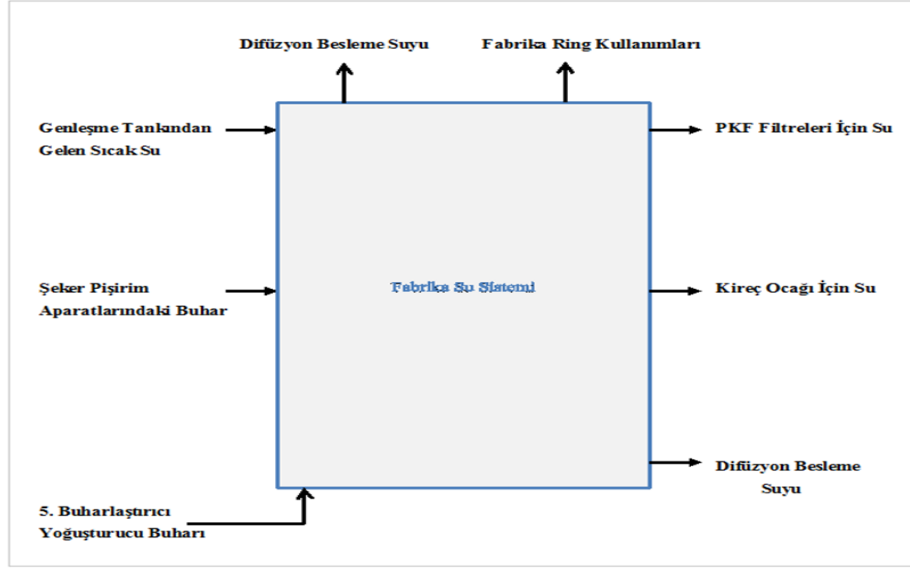
Şeker kurutma- soğutma ünitesindeki tersinmezlikler;

$$\dot{I} = \sum E_{x,g} - \sum E_{x,\zeta} = 528 - 52$$

$\dot{I} = 476$  kJ/100pg olarak hesaplanmıştır.

## 5.6. FABRİKA SU SİSTEMİ (F.S.S)

Buhar kazanlarında üretilen buhar, rafineri ve buharlaştırıcılarda kullanılmaktadır. Sistemde dolaşan buharın ünitelere girdiği akışların ve ünitelerden çıkan akışların blok diyagramları Şekil 5.7' de verilmiştir.



Şekil 5.7. Fabrika su sistemi blok diyagramı.

Fabrika su sistemi sürecinde 1,2 ve 3 nolu akışlar sürece giren akışlar olup, 4,5,6,7 ve 8 nolu akışlar ise süreç sonucunda çıkan akışlardır. Fabrika su sistemi enerji ve ekserji değerleri hesaplanarak enerji ve ekserji bilançosuna ait 5.7. nolu çizelge oluşturulmuştur.

Çizelge 5.7. Fabrika su sistemi madde enerji ve ekserji bilançosu.

Akış No	Akışın Adı	M	P	T	Enerji	Ekserji	%
		100 pg	Bar	°C	kJ/100pg	kJ/100pg	GAEGO
1	Genleşme Tankından Gelen Sıcak Su	27,34	3,1	139	39136	3005	37,2
2	Şeker Pişirim Aparatlarındaki Buhar	27,34	3,1	133	36120	4801	59,5
3	5. Buharlaştırıcı Yoğuşturucu Buharı	121,00	1,0	95	1468	257	3,1
4	Difüzyon Besleme Suyu	1,79	1,1	107	1754	135	1,6
5	Difüzyon Besleme Suyu	3,06	1,1	107	3123	147	1,8
6	Kireç Ocağı İçin Su	1,35	1,1	107	1135	49	0,6
7	PKF Filtreleri İçin Su	1,57	1,1	107	2146	93	1,1
8	Fabrika Ring Kullanımları	1,57	1,1	107	877	23	0,2

Termodinamiğin I. Kanununa göre verim;

Giren akışların enerjileri toplamı=76724 kJ/100pg

Çıkan akışların enerjileri toplamı=9035 kJ/100pg

$$\eta_I = \frac{\sum E_{\text{ç}}}{\sum E_{\text{g}}} = \frac{9035}{76724}$$

$$\eta_I = 0,117$$

Termodinamiğin I. Kanununa göre F.S.S'nin ısı (I. Yasa) verimi % 11,7 olarak hesaplanmıştır.

Termodinamiğin 2. Kanununa göre verim;

Giren akışların ekserjileri toplamı=8063 kJ/100pg

Çıkan akışların ekserjileri toplamı= 447kJ/100pg

$$\eta_{II} = \frac{\sum \Delta E_{x,\zeta}}{\sum \Delta E_{x,g}} = \frac{447}{8063}$$

$$\eta_{II} = 0,55$$

Termodinamiğin 2. Kanununa göre sürecin verim % 5,5 olarak hesaplanmıştır.

Fabrika su sistemindeki tersinmezlikler;

$$\dot{I} = \sum E_{x,g} - \sum E_{x,\zeta} = 8063 - 447$$

$$\dot{I} = 7616 \text{ kJ/100pg}$$

## BÖLÜM 6

### ENERJİ VE EKSERJİ ANALİZ SONUÇLARI VE ÖNERİLER

Mevcut bir şeker fabrikası tesisine enerji ve ekserji analizi uygulanmıştır. Tesis; ham şerbet üretim ünitesi, ham şerbet arıtım ünitesi, buharlaştırma ünitesi, rafineri ünitesi, kurutma-soğutma ünitesi ve fabrika su sistemi süreci olmak üzere altı üniteye ayrılarak her bir ünite için ayrı ayrı enerji, ekserji ve tersinmezlik değerleri ile enerji ve ekserji verimleri hesaplanmıştır. Analiz sonucu elde edilen veriler (Çizelge 6.1. ve 6.2.) grafiklere aktarılarak üniteler arasında karşılaştırmalar yapılmıştır.

Çizelge 6.1. Fabrika geneli enerji ve ekserji bilançosu.

UNITE ADI	ENERJİ				EKSERJİ			
	Giren Enerji kJ/100pg	Çıkan Enerji kJ/100pg	Enerji Kaybı kJ/100pg	Enerji Kaybı (%)	Giren Ekserji kJ/100pg	Çıkan Ekserji kJ/100pg	Ekserji Kaybı kJ/100pg	Ekserji Kaybı (%)
H.Ş.U.U	23737	21110	2627	11,1	1496	446	1050	70,2
H.Ş.A.U	103518	100224	3294	3,2	6753	5392	1361	20,2
Ş.B.U	119187	115042	4145	3,5	22113	16639	5474	24,8
R.U	47959	44877	3082	6,5	7874	4328	3546	45,1
Ş.K.S.U	5182	4245	937	18,1	528	52	476	90,2
F.S.S	76724	9035	67689	88,2	8063	447	7616	94,5

Tesise ait enerji ve ekserji analizi uygulanması sonucu altı ünite için elde edilen değerler çizelge 6.1.'de verilmiştir. Bu değerlere göre;

1. Tesiste incelenen altı ünite için elde edilen tersinmezlik değerleri 6.2' nolu çizelgede verilmiştir. Tesisteki üniteler arasında miktar olarak en düşük tersinmezlik

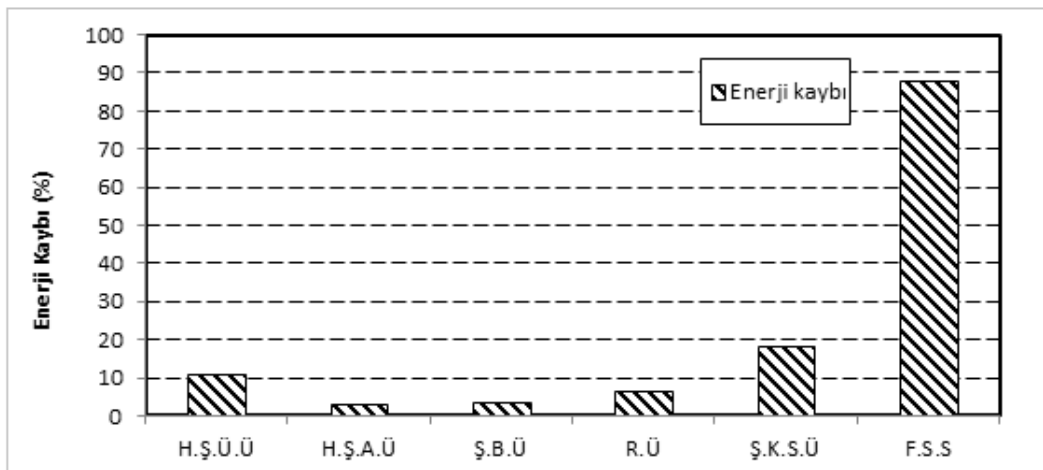


şeker kurutma-soğutma ünitesinde (476 kJ/100 pg), en yüksek tersinmezlik ise fabrika su sisteminde (7616 kJ/100 pg) gerçekleşmektedir.

Çizelge 6.2. Fabrika tersinmezlik değerleri.

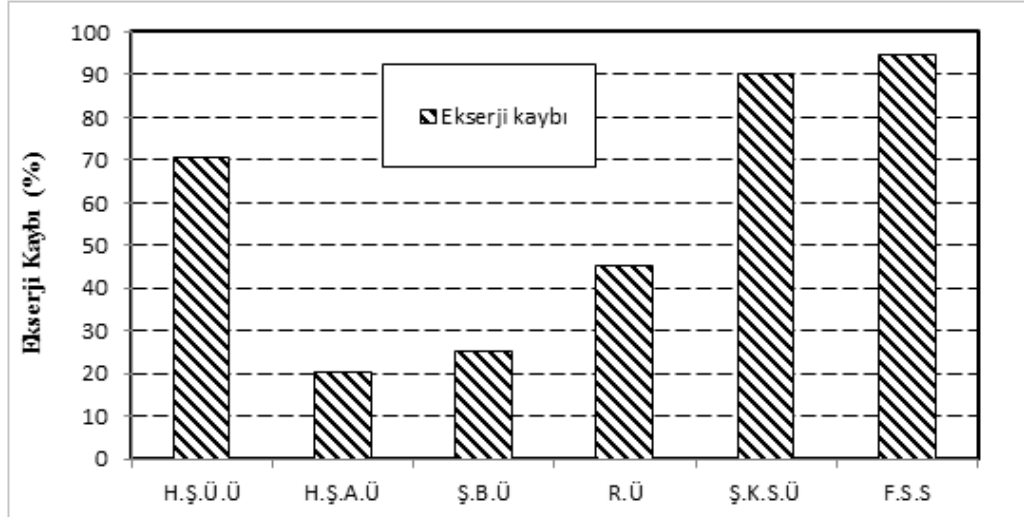
Ünite Adı	Tersinmezlik Değeri (kJ / 100 pg)
Ham şerbet üretim ünitesi	1050
Ham şerbet arıtım ünitesi	1361
Buharlaştırma ünitesi	5474
Ra fineri ünitesi	3546
Şeker kurutma – soğutma ünitesi	476
Fabrika su sistemi	7616

2. Tesisteki enerji kayıplarını (%) gösteren Şekil 6.1’olu grafik oluşturulurken çizelge 6.1’den yararlanılmıştır. Tesisin enerji kayıpları (%) her bir ünite için gösterilmiştir. En yüksek oransal enerji kaybı fabrika su sisteminde (% 88,2), en düşük oransal enerji kaybının ham şerbet arıtım ünitesinde (% 3,2) gerçekleştiği görülmektedir.



Şekil 6.1. Ünitelerdeki kayıp enerjiler (%).

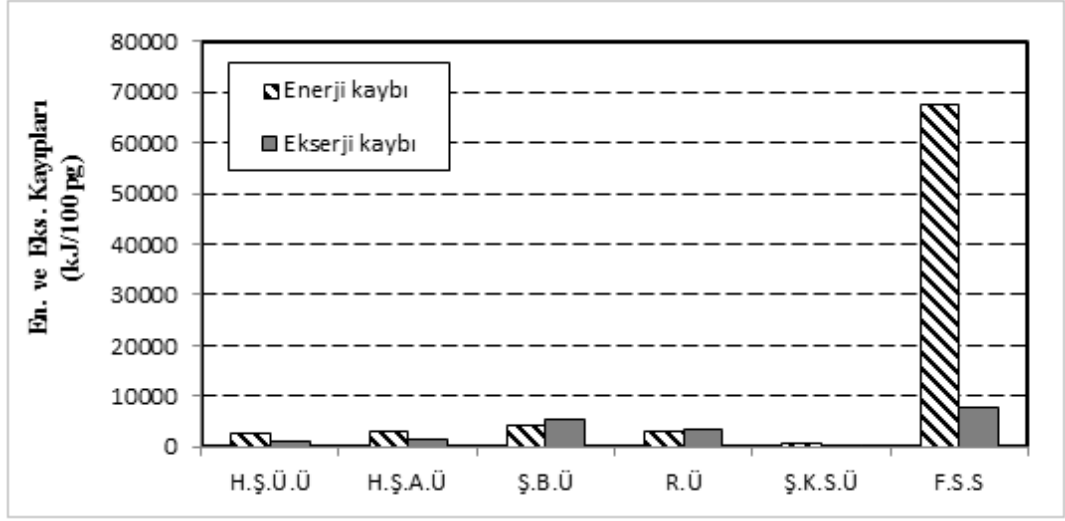
3. Tesise ait oransal kayıp ekserji (%) grafiği Şekil 6.2 oluşturulurken izelge 6.1'den yararlanılmıştır. Ünitelerdeki ekserji kayıpları oransal olarak incelenirse en yüksek ekserji kayıp oranı % 94,5 ile fabrika su sisteminde ünitesinde, en düşük ekserji kaybı da % 20,2 ile ham Şerbet artım ünitesinde gerçekleşir.



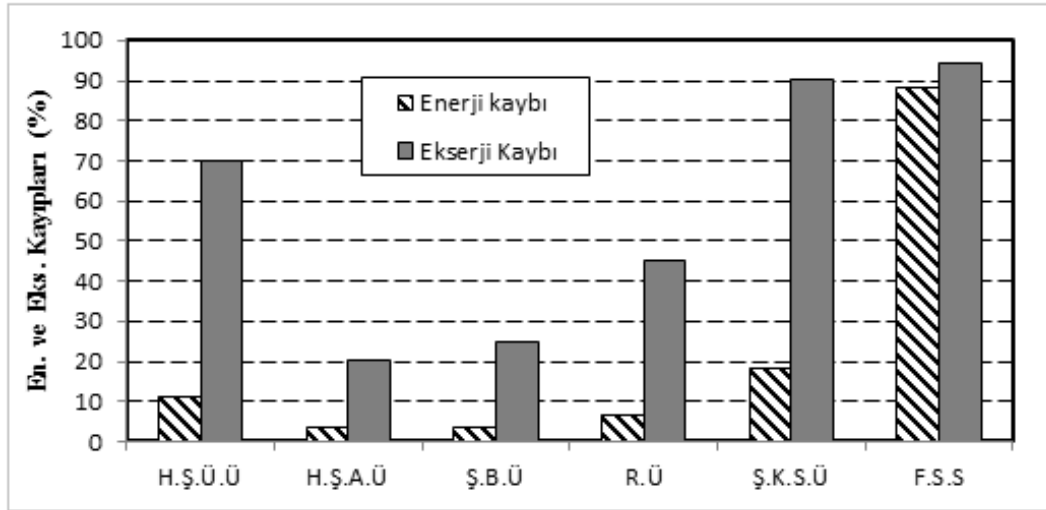
Şekil 6.2. Ünitelerdeki kayıp ekserjiler (%).

4. Tesiste meydana gelen kayıplara ait Şekil 6.3 Kayıp enerji – Kayıp ekserji (kJ/100pg) ve 6.4. Kayıp Enerji – Kayıp Ekserji (%) grafikleri oluşturulurken izelge 6.1'den yararlanılmıştır. Enerji ve ekserji kayıp miktarları, Şekil 6.3'te kayıp miktarları aynı grafikte verilerek kayıp miktarlarının karŐılaŐtırılması hedeflenmiŐtir. Enerji ve ekserji miktarlarındaki en yüksek kayıpların fabrika su sisteminde, en düşük enerji ve ekserji kayıplarının ise Şeker kurutma-soğutma ünitesinde gerçekleştiği gürölmektedir.

Tesisteki oransal olarak enerji ve ekserji kayıpları Şekil 6.4'te tesisteki verilmiştir. Her bir ünitenin enerji ve ekserji kaybının tesisin toplam enerji ve ekserji kayıplarına oranı gürsterilmiŐtir. Tesisteki oransal olarak en yüksek enerji ve ekserji kayıpları fabrika su sisteminde, en düşük enerji ve ekserji kayıpları ise ham Şerbet artım ünitesinde olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 6.3. Ünitelerdeki kayıp enerjiler ve ekserjiler (kJ/100pg).



Şekil 6.4. Ünitelerdeki kayıpların fabrikadaki toplam kayıplara oranı (%).

Fabrika için hesaplanan ekserji ve enerji analizlerine göre enerji ve ekserji verimlerini;

- Küşpenin ham şerbet üretim ünitesinden çıkış sıcaklığı ile birlikte küşpenin kuruluk oranı
- Taze kıyım pancarının haşlama teknesine geliş sıcaklığı
- Fabrikanın şeker pancarı çekiş oranını,
- Kireç sütü miktarı ve sıcaklığının,

- CO<sub>2</sub> gaz girişi miktarı ve sıcaklığının,
- CaCO<sub>3</sub> (PFK filtresi çamurunun) miktarı ve sıcaklığının,
- Soğutulmuş kristal şeker çıkışı miktarı ve sıcaklığının,
- Melas ıkışı miktarı ve sıcaklığının,
- Sisteme giren taze ortam havasının ve kurutucu hava çıkışı miktarı ve sıcaklığının,
- Fabrika su sisteminde dolaşan buhar ve suyun miktarları ile sıcaklıklarının etkilediği grlmektedir.

şeker fabrikası işletmesine; enerji ve ekserji verimlerini artırmak için fabrikaya giren kütlelerin ve sistemden çıkan maddelerin miktarlarını, sıcaklık değerlerin, maddelere ait kuruluk oranlarının optimum seviyede tutulması önerilmektedir.

## KAYNAKLAR

Çakmak, A., “Uşak Şeker Fabrikasının enerji ve ekserji analizi”, Yüksek Lisans Tezi, *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Isparta, 47-94 (2012)

Çam, B., ve Erbay, B. L., “Eskişehir Kazım Taşkent Şeker Fabrikasının enerji ve ekserji analizi”, *Mühendis ve Makina Dergisi*, 52 (618): 60-70 (2011).

Çalışkan, H., “İçten yanmalı motorlarda ekserji analizi”, Yüksek Lisans Tezi, *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Eskişehir, 21-40 (2009)

Çengel, Y. A. ve Boles, M. A., “Mühendislik Yaklaşımıyla Termodinamik, 3.Baskı”, Derbentli, T, *Literatür*, İstanbul, 215-218, 159-250 (2000)

Çolak, İ., Bayındır, R. ve Demirtaş M. ”Türkiye’nin Enerji Geleceği”, TÜBAV *Bilim*, 1 (2): 36-44 (2008).

Dikici, A., Akbulut, A., Gülçimen, F., ve Akbulut, A., “Hava kaynaklı ısı pompası sisteminin performans katsayısı, enerji ve ekserji analizi”, *Tesisat Mühendisliği Dergisi*, 87: 33-42 (2005).

Direybatogulları, E., “Kaliteli Şeker Üretimi Notları”, *Türkiye Şeker Fabrikası A.Ş Muş Şeker Fabrikası*, Nisan (2012).

Erduranlı, P., “Enerji santralına ekserji analizinin uygulanması”, Yüksek Lisans Tezi, *Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Zonguldak, 10-30 (1997)

İnternet: Sugar Tech, “SugarTechnology”, <http://www.sugartech.co.za/matlprop.php3> (2016).

İnternet: Türkiye Şeker fabrikaları A.Ş. “Şeker Üretim Teknolojisi”, <http://www.turkseker.gov.tr/sekeruretimi.aspx> (2016)

Kaplan, E., “Ereğli Şeker Fabrikasının enerji ve ekserji verimliliğinin incelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Aksaray Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Aksaray, 1-5 (2012)

Karakoç, T. H. ve Karakoç, N., ”Enerji Terminolojisi”, Enerji Analizi, 2486, Ergün Y. ve Tanışlı M., *Anadolu Üniversitesi*, Eskişehir, 2-23 (2012)

Koç, E., ve Şenel, M. C., “Dünyada ve Türkiye’de enerji durumu-genel değerlendirme”, *Mühendis ve Makina Dergisi*, 54 (639): 32-44 (2013).

Koçyiğit, E., “Kayseri Şeker Fabrikası şeker üretim proseslerinde enerji ve ekserji analizi”, Yüksek Lisans Tezi, Ankara **Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Ankara, 56-70 (2004)

Nurveren, K., “Bor Şeker Fabrikası buharlaştırma sistemlerinin ekserji analizi”, Yüksek Lisans Tezi, **İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, İstanbul, 33-67 (2001)

Özgener, L. ve Hepbaşı, A., “HVAC sistemlerinde ekserji analizinin gerekliliği ve uygulamaları”, **VI. Ulusal Tesisat mühendisliği Kongresi ve Sergisi**, İzmir, 1-14 (2003).

Öztürk, M., “Binalar için toprak kaynaklı ısı pompası ısıtma opsiyonunun termodinamik değerlendirmesi”, **El-Cezeri Journal of Science and Engineering**, 2 (1): 21-39 (2015).

Özyurt, E., “Dizel motorlarında turboşarjın motor performansına etkisinin enerji ve ekserji analizi kullanılarak belirlenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, **Bülent Ecevit Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Zonguldak, 15-27 (2013).

Schneider, F. And Reinefeld, E., “Şerbet Üretimi”, Şekerin Teknolojisi, 168, Bozok O, **Türkiye Şeker Fabrikaları A.Ş.**, Ankara, 229 (1971) .

Sekmen, P. and Yılbaşı, Z., “Application of energy analyses to a CI engine using biodiesel fuel”, **Mathematical and Computational Applications**, 16 (4): 797-808, (2011)

Şahin, Z., “Gaz-Katı yakıtlı enerji santralının ekserji verim artışının araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, **Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Zonguldak, 1-4 (2006)

Şahin, H. M., Acır, A., Baysal, E. ve Koçyiğit, E., “Enerji ve ekserji metoduyla kayseri şeker fabrikasında enerji verimliliğinin değerlendirilmesi”, **Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi**, 22 (1): 111-119 (2007)

Şöhret, Y. ve Karakoç, T. H., “Gaz türbinli uçak motorlarının termodinamik modellenmesi”, **Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi**, 1 (2): 29-36 (2014).

Taner, T., “Gıda sektöründe enerji verimliliği ve enerji yönetimi: Şeker fabrikası örneği”, Doktora Tezi, **Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Ankara, 68-162 (2013)

Türküzü, B., “Çumra şeker fabrikası ekserji analizi”, Yüksek Lisans Tezi, **Konya Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Konya, 9-102 (2008)

Türküzü, B., Nur, D. ve Altınışik, K., “Çumra şeker fabrikası enerji verimliliğinin ekserji analiziyle değerlendirilmesi”, **Isı Bilimi Tekniği Dergisi**, 30 (2): 77-83 (2010).

Üze, S., “Bir işletmede enerji ve kullanılabilir enerji çözümlenmesi Elazığ Şeker Fabrikası örneği”, Doktora Tezi, *Niğde Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Niğde, 21-128 (1991)

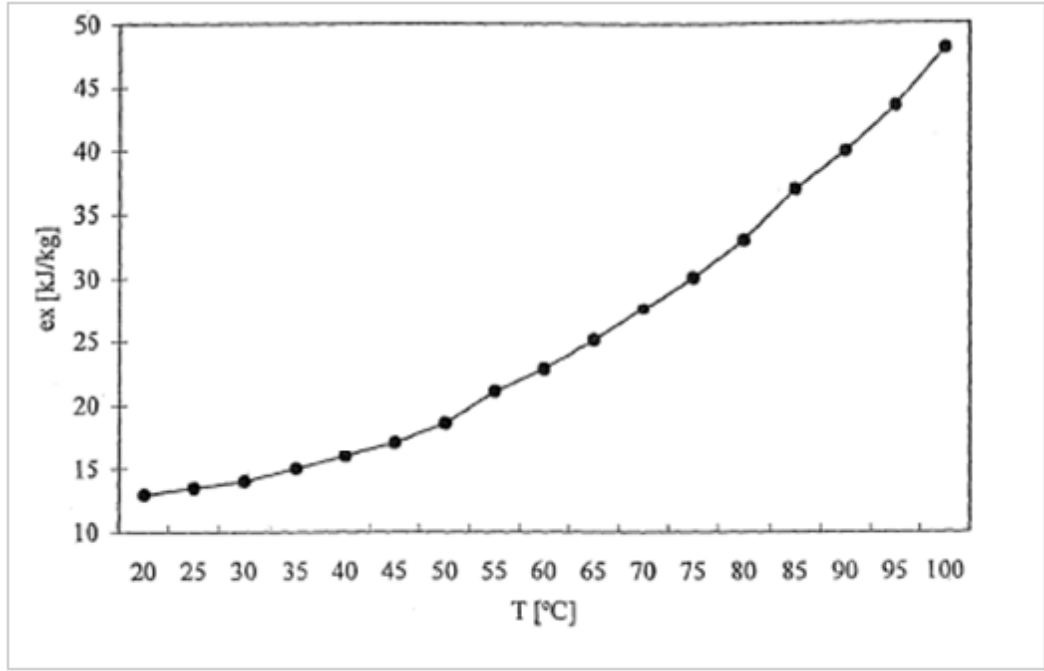




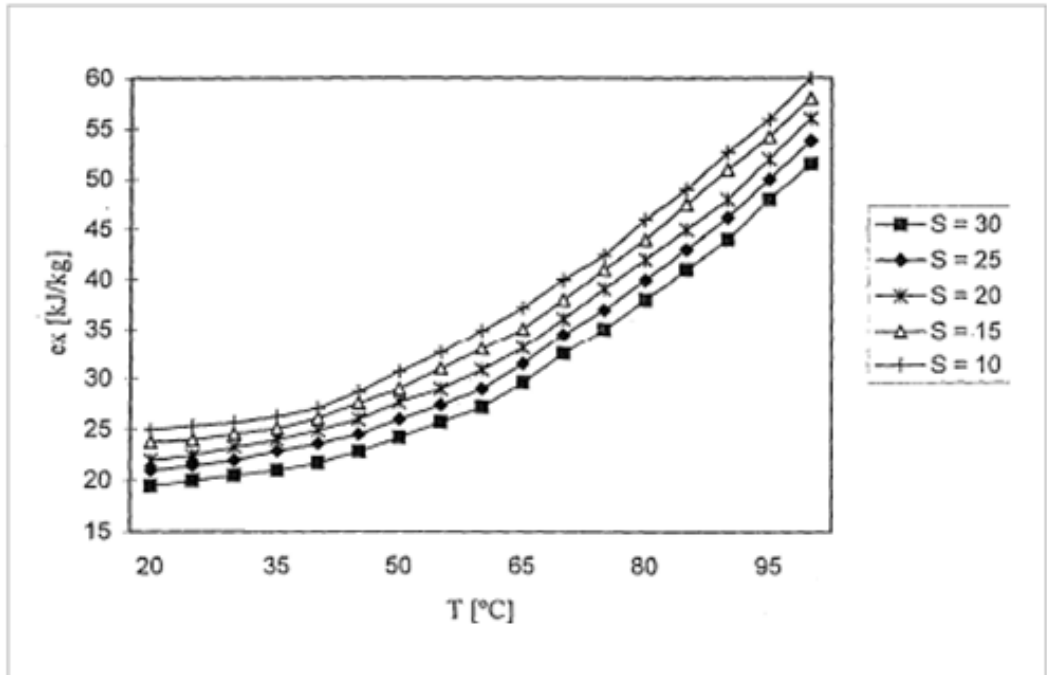
**EK AÇIKLAMALAR A.**

**ÖZGÜL ENTALPİ VE ÖZGÜL EKSERJİ DEĞERLERİ**

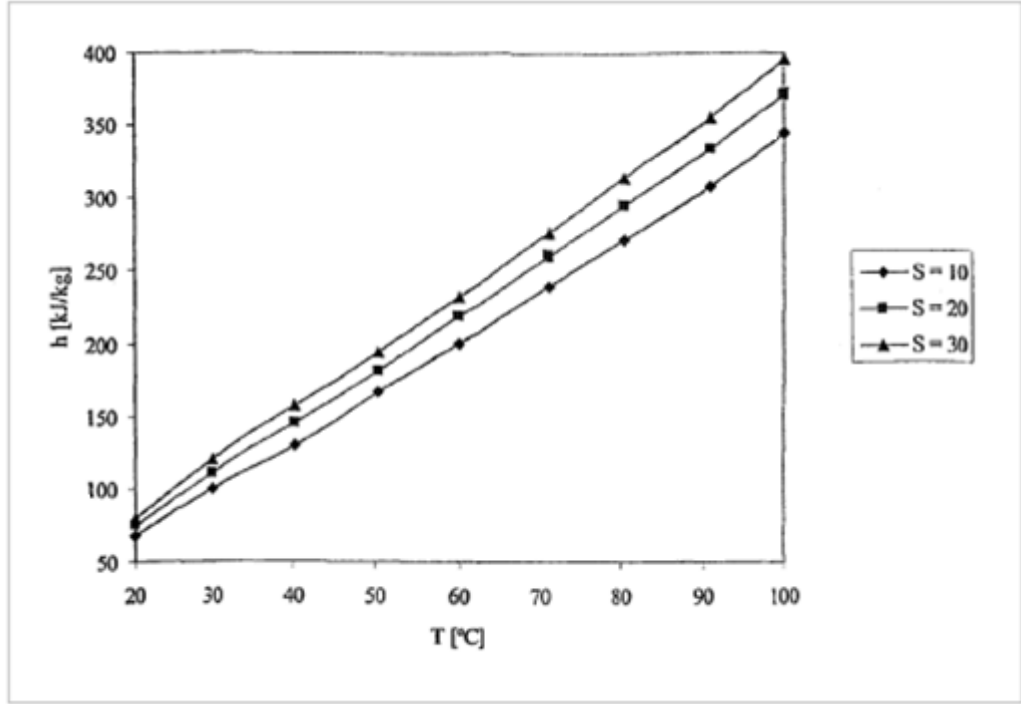




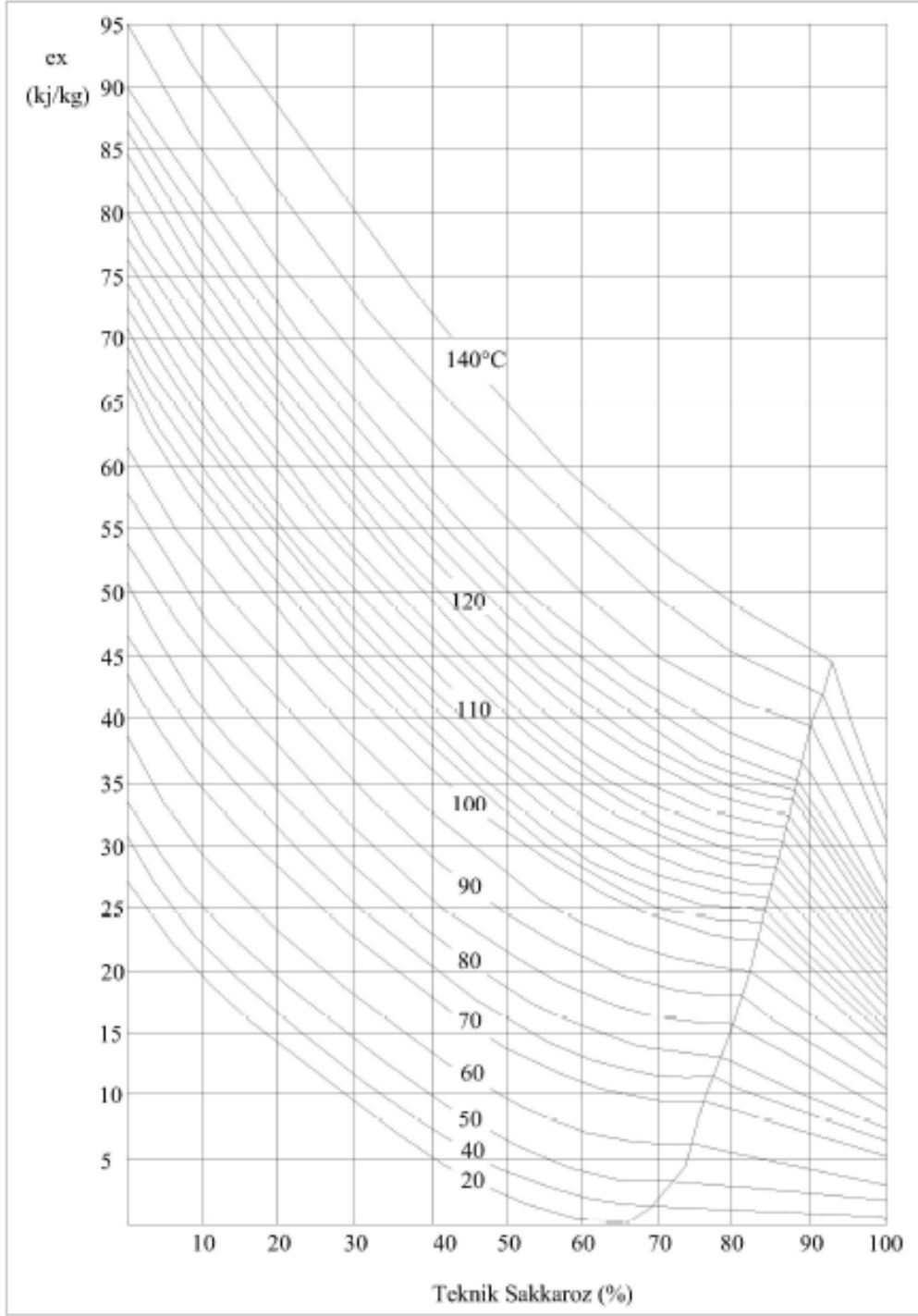
Şekil Ek A.1. Pancar kıyımının özgül ekserji grafiği (Türküzü, 2008).



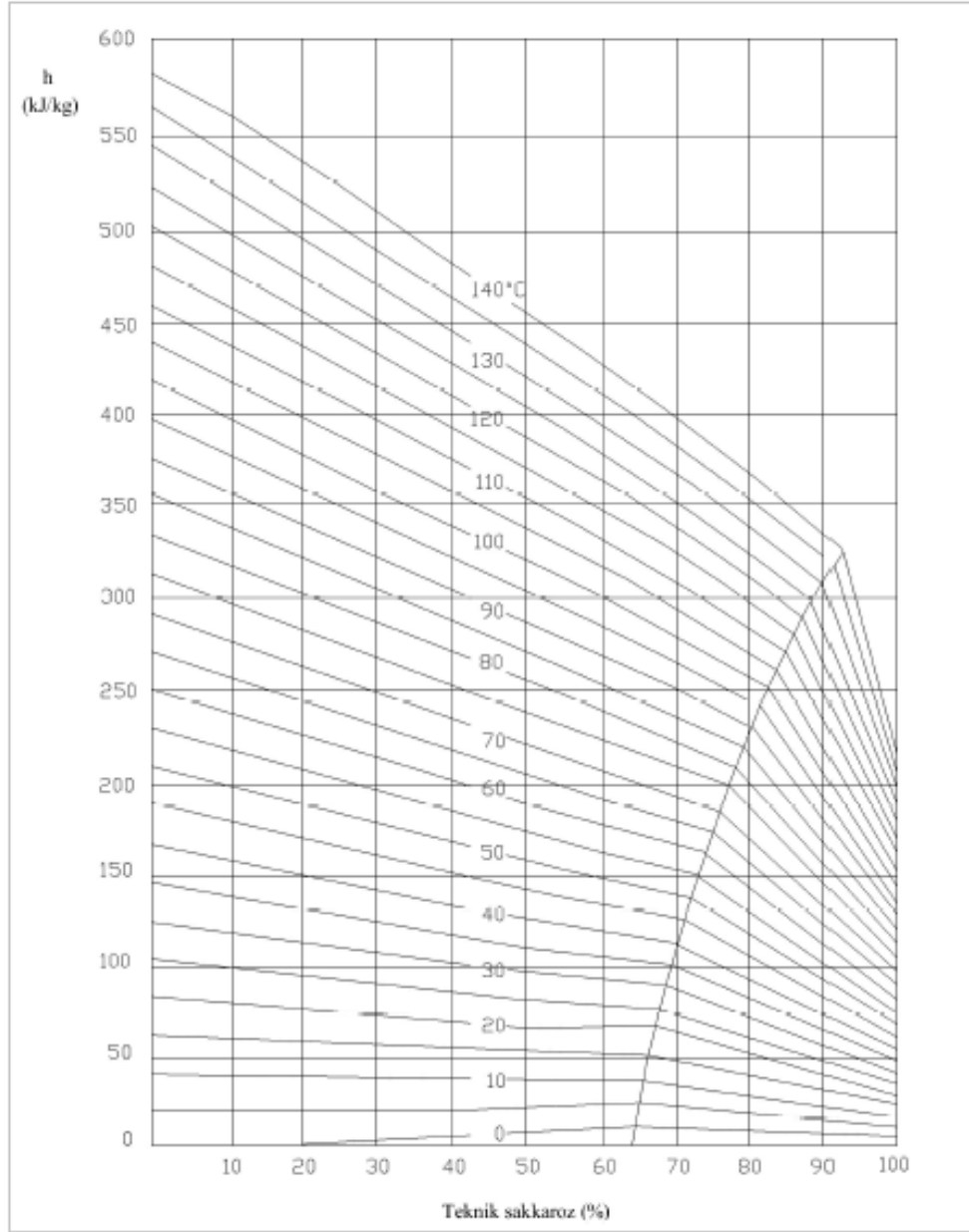
Şekil Ek A.2. Sıkılmış küşpenin özgül ekserji grafiği (Türküzü, 2008).



Şekil Ek A.3. Sıkılmış küsphenin özgül entalpi grafiği (Türküzü, 2008).



Şekil Ek A.4. Teknik sakkaroz çözeltisi özgül ekserji grafiği (Türküzü, 2008).



Şekil Ek A.5. Teknik sakkoroz çözeltisi entalpi grafiği (Türközü, 2008).

## **ÖZGEÇMİŞ**

Ekrem ARSLANEL 1979'da Çankırı'da doğdu; ilk ve orta öğrenimini aynı şehirde tamamladı; Çorum Fen Lisesi'nden mezun olduktan sonra 2000 yılında SDÜ Mühendislik Mimarlık Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü'ne girdi; 2005'de mezun oldu. Çeşitli kamu kurumlarında memur olarak görev yaptıktan sonra 2013 yılında Kastamonu Üniversitesi Yapı İşleri ve Teknik Daire Başkanlığında Makine Mühendisi olarak göreve başladı. Halen; 2012 yılında Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı'nda başlamış olduğu yüksek lisans programını sürdürmektedir.

### **ADRES BİLGİLERİ**

Adres : Kastamonu Üniversitesi Rektörlüğü  
Kuzeykent Kampüsü Merkez /KASTAMONU  
Tel : (366) 280 1670  
Faks : (366) 280 13 95  
E-posta : ekmars@mynet.com