

**GÜMÜŞHANE MEYVE SUYU FABRİKASI'NIN
ENERJİ VE EKSERJİ ANALİZİ**

Hakan ŞAHİN

**Yüksek Lisans Tezi
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı
Doç. Dr. Kemal ÇOMAKLI
2014
Her hakkı saklıdır**

**ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**GÜMÜŞHANE MEYVE SUYU FABRİKASI'NIN ENERJİ VE
EKSERJİ ANALİZİ**

Hakan ŞAHİN

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**ERZURUM
2014**

Her hakkı saklıdır



T.C.
ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



TEZ ONAY FORMU

GÜMÜŞHANE MEYVE SUYU FABRİKASI'NIN ENERJİ VE EKSERJİ ANALİZİ

Doç. Dr. Kemal ÇOMAKLI danışmanlığında, Hakan ŞAHİN tarafından hazırlanan bu çalışma 27/02/2014 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Makine Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans tezi olarak ~~oybirliği/oy çokluğu~~ (3/3) ile kabul edilmiştir.

Başkan : Doç. Dr. Kemal ÇOMAKLI

İmza :

Üye : Doç. Dr. Kadir BAKIRCI

İmza :

Üye : Doç. Dr. Süleyman KARSLI

İmza :

Yukarıdaki sonuç;

Enstitü Yönetim Kurulu .06-03-2014 tarih ve .347. nolu kararı ile onaylanmıştır.

Prof. Dr. İhsan EFEOĞLU
Enstitü Müdürü

Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaklardan yapılan bildirişlerin, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak olarak kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

GÜMÜŞHANE MEYVE SUYU FABRİKASI'NIN ENERJİ VE EKSERJİ ANALİZİ

Hakan ŞAHİN

Atatürk Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Kemal ÇOMAKLI

Bu çalışmada; Gümüşhane Meyve Suyu Fabrikası'nın 2010 yılındaki üretim verileri kullanılarak meyve suyu ve marmelat üretim süreçleri için enerji ve ekserji analizleri yapılmıştır. Bu analizler sanayideki üretim tesislerinin enerji verimliliğini artırmak ve atık enerjinin geri kazandırılmasını amaçlamaktadır. Bu amaç doğrultusunda endüstriyel tesislerde enerji ve ekserji analizleri termodinamik açılarından büyük önem taşımaktadır. Sürekli akışlı bir açık sistem olarak ele alınan meyve suyu ve marmelat üretim süreçlerine giren ve çıkan her bir durum için enerji ve ekserji analizi sonuçları elde edilmiştir. Bu sonuçlara bağlı olarak meyve suyu ve marmelat üretim süreçlerinin birinci ve ikinci kanun verimleri tespit edilmiştir. Elde edilen sonuçlar değerlendirilerek birinci ve ikinci kanun verimlerini iyileştirmek için Gümüşhane Meyve Suyu Fabrikası'na önerilerde bulunulmuştur.

2014, 105 sayfa

Anahtar Kelimeler: Kuşburnu suyu üretimi, enerji, entropi, ekserji, ekserji verimi, ekserji yok oluşu, termodinamik, tersinmezlik.

ABSTRACT

Master Thesis

THE ENERGY AND EXERGY ANALYSIS OF FRUIT JUICE INDUSTRY OF GÜMÜŞHANE

Hakan ŞAHİN

Atatürk University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Mechanical Engineering

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Kemal ÇOMAKLI

In this study, it is made the energy and exergy analyzes for the fruit juice and jam production processes by using production data of Fruit Juice Factory of Gümüşhane in 2010. These analyzes aim to gain them back to the waste of energy and to increase energy efficiency of production facilities in the industry. For this purpose, energy and exergy analyzes of industrial plants is of great importance in terms of thermodynamic. It is obtained the results of energy and exergy analysis for each condition entering and leaving to production processes of the fruit juice and jam taken as an continuous flow open system. Depending on these results, the first and second laws of fruit juice and jam the production process yields were determined. It is made suggestions to the Fruit Juice Industry of Gümüşhane in order to improve the efficiency of the first and second law by evaluating the results obtained.

2014, 105 pages

Keywords: Production of fruit juice, energy, entropy, exergy, exergy efficiency, exergy destruction, thermodynamics, irreversibility.

TEŞEKKÜR

Yüksek lisans tezi olarak sunduğum bu çalışma, Atatürk Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü'nde hazırlanmıştır.

Tez hazırlama sürecinde yardımlarını esirgemeyen Sayın Doç. Dr. Kemal ÇOMAKLI'ya teşekkürlerimi arz ederim.

Tez çalışmamın hemen her aşamasında her türlü desteği esirgemeyen Bayburt Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü öğretim üyesi Sayın Yrd. Doç. Dr. Ugur ÇAKIR'a ve Gıda Mühendisi Sayın Fatih ÖZTÜRK'e teşekkürlerimi bir borç bilirim.

Her zaman için beni destekleyen ve bana güvenen sevgili eşim Demet Demir ŞAHİN'e, kardeşim Rıdvan ŞAHİN'e ve aileme sonsuz minnettarlığımı dile getirmek isterim.

Hakan ŞAHİN

Şubat 2014

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
SİMGELER DİZİNİ ve KISALTMALAR.....	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	x
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	xiii
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Tez Çalışmasının Amacı ve Kapsamı.....	8
1.2. Çalışma Yer Bilgisi.....	8
2. KURAMSAL TEMELLER.....	17
2.1. Genel Tanım ve Kavramlar.....	17
2.2. Ekserji Verimliliği ve Analiz Metotları.....	20
2.3. İş Etkisi ile Ekserji Transferi.....	23
2.4. Isı Etkisi ile Ekserji Transferi.....	23
2.5. Madde Akışı ile Ekserji Transferi.....	24
3. MATERYAL ve YÖNTEM.....	28
3.1. İlk İşlem Ünitesi.....	28
3.1.1. Meyvenin hazırlanması.....	30
3.1.2. Yıkama-ayıklama ve taşıma.....	30
3.1.3. Parçalama.....	32
3.1.4. Pişirme kazanı.....	33
3.1.5. Pulper besleme pompası.....	34
3.1.6. Pulperden geçirme.....	37
3.1.7. Aktarma tankı.....	38
3.1.8. Seperatör ve marmalet ürün besleme pompası.....	38
3.2. Meyve Suyu Dolum Ünitesi.....	39
3.2.1. Seperasyon.....	41
3.2.2. Aktarma tankı.....	41
3.2.3. Balans tankı besleme pompası.....	42

3.2.4. Balans tankı	43
3.2.5. Ürün tankı besleme pompası	43
3.2.6. Ürün tankı	44
3.2.7. Besleme tankı	45
3.2.8. Meyve suyu dolum pompası.....	45
3.2.9. Eşanjör	46
3.2.10. I. Eşanjör besleme pompası.....	47
3.2.11. Buhar-Su eşanjörü	47
3.2.12. Vakum pompası.....	48
3.2.13. Dolum ve kapaklama.....	49
3.3. Marmelat Dolum Ünitesi.....	49
3.3.1. Ürün hazırlama tankı	50
3.3.2. Pişirme ve vakumlama	52
3.3.3. Vakum pompası.....	52
3.3.4. Devirdaim pompası	53
3.3.5. Dolum ve kapaklama.....	53
3.3.6. Pastörize Sepeti	54
3.3.7. Pastörizasyon.....	55
3.4. Etiketleme ve Paketleme Ünitesi.....	56
3.4.1. Etiketleme.....	56
3.4.2. Paketleme	58
3.5. Enerji Üretim Ünitesi	59
3.5.1. Kazan için enerji ve ekserji analizi.....	59
3.5.2. Hava üretimi için kompresörde enerji ve ekserji analizi.....	69
3.5.3. Su üretimi için pompalarda enerji ve ekserji analizi	73
4. ARAŞTIRMA BULGULARI	76
5. SONUÇ ve ÖNERİLER.....	94
KAYNAKLAR	97
EKLER.....	100
EK 1.....	100
EK 2.....	101
EK 3.....	102

EK 4.....	103
EK 5.....	104
EK 6.....	105
ÖZGEÇMİŞ	106

SİMGELER DİZİNİ ve KISALTMALAR

atm	: Atmosfer
C	: Isı kapasitesi, kJ/kg K
\bar{C}	: Molar özgül ısı, kJ/mol
E	: Enerji, kJ
EES	: Engineering Equation solver
\dot{E}	: Birim zamanda enerji, kW
\dot{E}_x	: Birim zamanda ekserji, kW
E_x	: Ekserji, kJ
e	: Özgül enerji, kJ/kg
e_x	: Özgül ekserji, kJ/kg
g	: Yerçekim ivmesi, m/sn ²
H	: Entalpi, kJ
H_u	: Yakıtın alt ısı değeri, kJ/ kg
h	: Özgül entalpi, kJ/kg
I	: Ekserji kaybı, kJ
ISIC	: Uluslararası Gıda Sanayi Sınıflandırılması
ka	: Karışım
\dot{m}	: Kütleli debi, kg/sn
n	: Kişi sayısı
P	: Basınç, kpa
R	: İdeal gaz sabiti, kJ/kg K
R_x	: İdeal gaz ekserjisi, kJ/kg
T	: Sıcaklık, °C, K
t	: Zaman, sn
V	: Hız, m/sn
z	: Yükseklik, m
\dot{W}	: Güç, kW
W	: İş, kJ

U	: İç enerji, kJ
u	: Özgül iç enerji, kJ/ kg
ϵ	: Ekserji verimi
ϕ	: Yakıtın alt ısı değer
η	: Enerji verimi
τ	: Ekserjetik sıcaklık
Q	: Isı enerjisi, kJ
γ	: Aktiflik Katsayısı

Alt İndisler

a	: Aktarılan
b	: Buhar
ba	: Baca
ç	: Çıkan
D	: Dış
Fiz	: Fiziksel
g	: Giren
İ	: İç
ka	: Karışım
Kim	: Kimyasal
Kin	: Kinetik
ku	: Kuşburnu
Kul	: Kullanılabilirlik
Küt	: Kütlesel
Kon	: Kondens
O	: Oluşum
ort	: Ortalama
p	: Pompa
P	: Basınç
pot	: Potansiyel
r	: Sistem

S	: Entropi
s	: Özgül entropi
T	: Tüketim
ü	: Üretim
y	: Yüzeysel
yok	: Yokoluş
o	: Referans
Q	: Isı transferi

Üst İndisler

o	: Oluşum
ϵ	: Ekserjiye bağlı
s	: Entropiye bağlı
h	: Entalpiye bağlı

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. Birincil enerji üretiminin kaynaklar bazında dağılımı.....	3
Şekil 1.2. Birincil enerji tüketiminin kaynaklar bazında dağılımı.....	3
Şekil 1.3. Birincil enerji kaynaklarının tüketim alanları.....	4
Şekil 1.4. Türkiye de sanayide enerji kullanımı	5
Şekil 1.5. Gümüşhane meyve suyu fabrikasının ürün akış şeması	7
Şekil 2.1. Sistem, sınır ve çevre.....	20
Şekil 2.2. Sürekli akış halindeki açık bir sistem	21
Şekil 2.3. Ekserji kullanım kayıpları.....	22
Şekil 2.4. Isı ve iş etkisi ile ekserji transferi	24
Şekil 3.1. İlk işlem ünitesinin ekipmanlarının şematik görünümü	29
Şekil 3.2. İlk işlem ünitesine giren-çıkan kütle ve enerji akımları	29
Şekil 3.3. Yıkama-ayıklama kabına ve konveyöre giren ve çıkan akımların analizi	31
Şekil 3.4. Kırıcıya giren ve çıkan akımların analizi.....	33
Şekil 3.5. Kazana giren ve çıkan akımların analizi.....	34
Şekil 3.6. Pompaya giren ve çıkan akımların analizi.....	35
Şekil 3.7. Pulpere giren ve çıkan akımların analizi	37
Şekil 3.8. Aktarma tankına giren ve çıkan akımların analizi.....	38
Şekil 3.9. Pompaya giren ve çıkan akımların analizi.....	39
Şekil 3.10. Şişe dolum ünitesinde kullanılan ekipmanların şematik görünümü	40
Şekil 3.11. Şişe dolum ünitesine giren-çıkan akımların kütle ve enerji akım şeması	40
Şekil 3.12. Seperatöre giren ve çıkan akımların analizi.....	41
Şekil 3.13. Aktarma tankına giren ve çıkan akımların analizi	42
Şekil 3.14. Balans tankı besleme pompasına giren ve çıkan akımların analizi.	42
Şekil 3.15. Balans tankına giren ve çıkan akımların analizi	43
Şekil 3.16. Ürün tankı beslenme pompasına giren ve çıkan akımların analizi.	44
Şekil 3.17. Ürün tankına giren ve çıkan akımların analizi.....	44
Şekil 3.18. Besleme tankına giren ve çıkan akımları analizi.	45

Şekil 3.19. Meyve suyu dolum pompasına giren ve çıkan akımların analizi	46
Şekil 3.20. Eşanjöre giren ve çıkan akımların analizi.....	46
Şekil 3.21. I. Eşanjör besleme pompasına giren ve çıkan akımların analiz.....	47
Şekil 3.22. II. Eşanjöre giren ve çıkan akımların analizi.....	48
Şekil 3.23. Vakum Pompasına giren ve çıkan akımların analizi	48
Şekil 3.24. Dolum makinesine giren ve çıkan akımların analizi.	49
Şekil 3.25. Ürün hazırlama tankına giren ve çıkan akımların analizi.....	50
Şekil 3.26. Marmelat dolum ünitesindeki ekipmanların şematik görünümü.....	51
Şekil 3.27. Marmelat dolum ünitesinde kullanılan ekipmanların akım şeması	51
Şekil 3.28. Pişirme ve vakumlama sürecindeki giren ve çıkan akımların analizi.....	52
Şekil 3.29. Vakum pompasına giren ve çıkan akımların analizi.....	53
Şekil 3.30. Devirdaim pompasının giren ve çıkan akımların analizi	53
Şekil 3.31. Dolum ve kapaklama sürecine giren ve çıkan akımların analizi.	54
Şekil 3.32. Pastörize sepetine giren ve çıkan akımların analizi	55
Şekil 4.33. Pastörizasyona giren ve çıkan akımların analizi.....	56
Şekil 3.34. Etiketleme ve paketleme ünitesindeki ekipmanların şematik görünümü	57
Şekil 3.35. Etiketleme ve paketleme ünitesindeki ekipmanların akım şeması	57
Şekil 3.36. Etiketlenmeye giren ve çıkan akımların analizi.....	58
Şekil 3.37. Paketlemeye giren ve çıkan akımların analizi	58
Şekil 3.38. Buhar üretim ünitesinin şematik görünümü	60
Şekil 3.39. Buhar kazanına giren ve çıkan akımların analizi.....	61
Şekil 3.40. Hava üretim ünitesinin şematik görünümü.....	71
Şekil 3.41. Hava üretim ünitesinin akım şeması.....	71
Şekil 3.42. Kompresöre giren ve çıkan akımların analizi.....	72
Şekil 3.43. Su üretim ünitesinin şematik görünümü.....	74
Şekil 3.44. Su üretim ünitesinin akım şeması.....	74
Şekil 3.45. Pompalar ile su arıtma sistemine giren ve çıkan akımların analizi.	75
Şekil 4.1. İlk işlem ünitesindeki ekipmanların enerji, ekserji ve ekserji yok oluşu... 78	
Şekil 4.2. İlk işlem ünitesindeki ekipmanların enerji ve ekserji verim değerleri	79
Şekil 4.3. Meyve suyu dolum ünitesi ekipmanlarının enerji, ekserji ve ekserji yok oluşu	80

Şekil 4.4. Meyve suyu dolum ünitesi ekipmanlarının enerji ve ekserji verimi	81
Şekil 4.5. Marmalet dolum ünitesindeki ekipmanların enerji, ekserji ve ekserji yok oluşu	82
Şekil 4.6. Marmalet dolum ünitesindeki ekipmanların enerji ve ekserji verimi.....	83
Şekil 4.7. Etiketleme ve paketleme ünitesindeki enerji, ekserji ve ekserji yok oluşu	84
Şekil 4.8. Etiketleme ve paketleme ünitesindeki ekipmanların enerji ve ekserji verimi	85
Şekil 4.9. Kazan ekserji Grassman diyagramı	86
Şekil 4.10. Enerji üretim ünitesindeki ekipmanların enerji, ekserji ve ekserji yok oluşu	87
Şekil 4.11. Enerji üretim ünitesindeki ekipmanların enerji ve ekserji verim değerleri.....	88
Şekil 4.12. Gümüşhane Meyve Suyu Fabrikası'nın Grassman diyagramı	91
Şekil 4.13. Gümüşhane Meyve Suyu Fabrikası'nın 2010 yılı performansı.....	93
Şekil 5.1. Gümüşhane Meyve Suyu Fabrikası'nın elektrik kullanımı	95

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 4.1. Kuşburnu meyvesinin özgül ısı değerleri	77
Çizelge 4.2. İlk işlem ünitesinin enerji ve ekserji analiz sonuçları.....	77
Çizelge 4.3. Meyve suyu dolum ünitesinin enerji ve ekserji analiz sonuçları.....	79
Çizelge 4.4. Marmelat dolum ünitesinin enerji ve ekserji analiz sonuçları	81
Çizelge 4.5. Etiketleme ve paketleme ünitesinin enerji ve ekserji analiz sonuçları ..	84
Çizelge 4.6. Kazan ünitesinde 1 yılda elde edilen ekserji değerleri	86
Çizelge 4.7. Enerji üretim ünitesinin enerji ve ekserji analiz sonuçları	87
Çizelge 4.8. Fabrikanın 1 yıldaki performansı.....	89
Çizelge 4.9. Fabrikanın tüm ünitelerine ait ekserji ve ekserji yok oluş değerleri.....	90

1. GİRİŞ

Enerji, modern sanayi toplumlarında kalkınmanın bir göstergesi olup az ya da çok her alanda kullanılan bir kaynaktır. Bu kaynak özellikle üretim maliyetleri içerisinde ağırlıklı bir yer tutmaktadır. Enerjinin ekonomik ve sosyal kalkınmanın önemli bileşenlerinden biri olduğu, yaşam standartlarının yükseltilmesinde hayati bir rol oynadığı bilinmektedir. Sürdürülebilir bir kalkınmanın sürekli ve kaliteli bir enerji üretimi ile mümkün olacağı da önemli bir husustur. Günümüzde enerjiye olan talep her geçen gün artmaktadır. Buna bağlı olarak enerji Dünya üzerinde savaşların çıkmasına neden olabilecek önemli bir güçtür. Kimyasal, fiziksel, ısı, ışık, elektrik, potansiyel, kinetik, nükleer ve ses olmak üzere 8 ana enerji çeşidinden oluşmaktadır. Bu enerji çeşitlerini elde etmek için kullanılan en önemli enerji kaynağı fosil yakıtlar olup Kömür, petrol ve doğalgazdır.

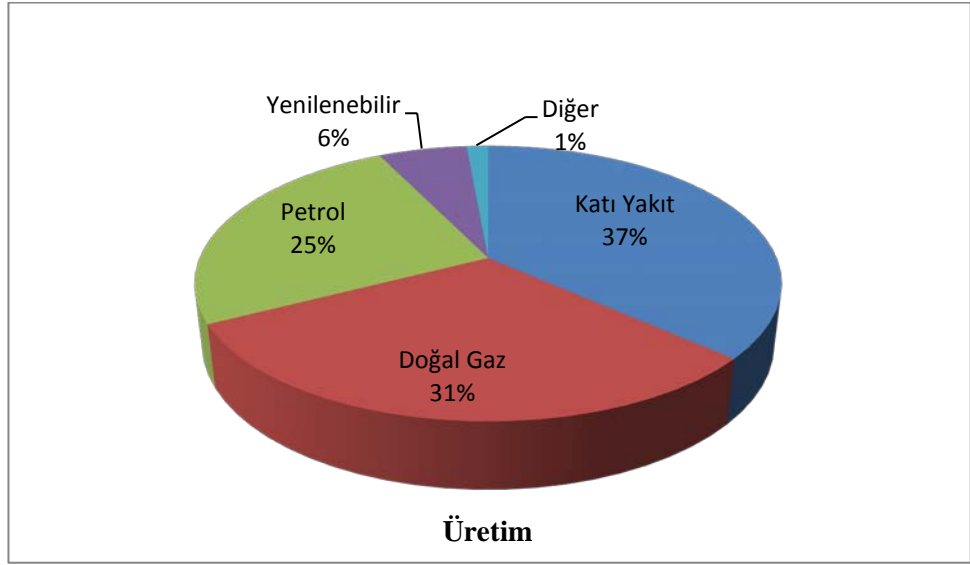
Bugün dünya genelinde enerji ihtiyacının büyük bir bölümünü karşılamakta olan fosil yakıtların rezervleri hızla tükenmektedir. Bir yandan tükenen fosil yakıtların yerine alternatif enerji kaynakları aranırken diğer yandan da mevcut kaynakların etkin ve verimli biçimde değerlendirilmesi gündeme gelmektedir. Fosil yakıtların giderek ve hızlı bir şekilde azalması ve bu kaynakların yarattığı çevresel sorunlar ile enerjiyi verimli kullanım olgusu, enerji verimliliği kavramını gündeme getirmiştir. Enerjiyi verimli bir şekilde kullanabilmek için sistemdeki enerji kayıplarının yerini ve miktarını, verimsiz kullanılan enerji kaynaklarını ve sistemde var olan tersinmezlikleri enerji ve ekserji analiz yöntemleri kullanılarak belirlenir. Bu nedenle sistemin gerçek veriminin tayinindeki hesaplamaları ekserji verimine göre yapmak sistemdeki kayıpları ve iyileştirme yerlerini ortaya koymak bakımından oldukça önemlidir.

Dünyanın enerji darboğazına girdiği 21. yüzyılda enerji verimliliği ve daha yüksek verimli sistemlerin dizayn edilebilmesi için ekserji analizi ve sistemlerin ekserji verimlerinin belirlenmesiyle mümkün olmaktadır.

Enerji verimliliği, enerjinin üretimi, iletimi ve aynı zamanda tüketimi alanında genel etkinlik çalışmalarının tümünü içine alan bir kavramdır. Bu kavramda enerji verimliliği, sürdürülebilir kalkınmayı sağlayan en önemli faktörler arasında yer almaktadır. Bu nedenle de ülkeler “birim hasıla başına tüketilen enerji” şeklinde ifade edilen enerji yoğunluğunun azaltılması ve sera gazlarının olumsuz etkisinin hafifletilmesi için enerji politikalarında enerji verimliliğine önem vermektedir. Bir tarafta daha az maliyet ve daha az birincil kaynak kullanımıyla daha çok enerji üretimi yönünde çalışmalar sürdürülürken, diğer taraftan aynı miktar enerjiyle daha çok iş yapılması veya aynı miktar işin daha az enerji tüketilerek yapılması konusunda çeşitli çalışmalar yürütülmektedir.

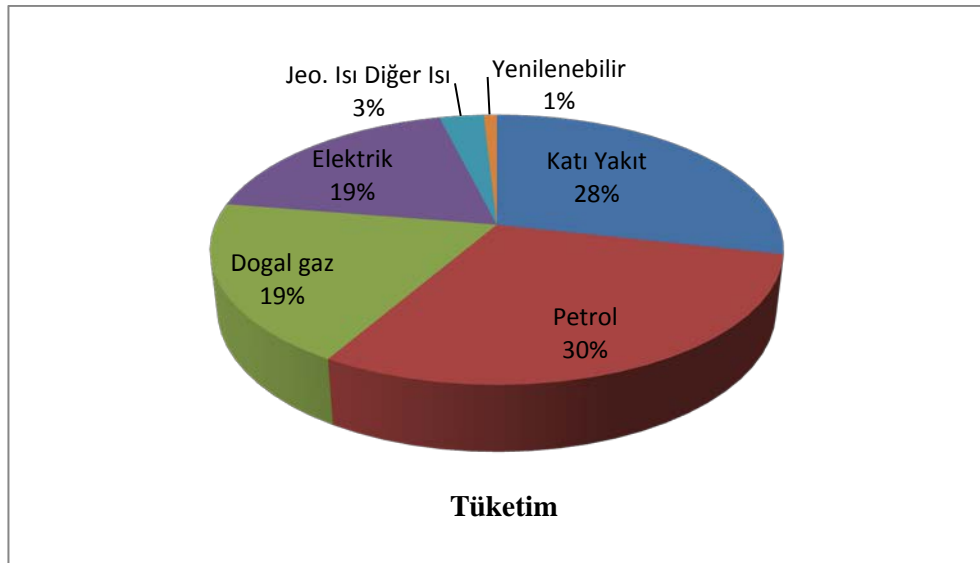
Dünyada, özellikle de gelişmiş ülkelerde enerjinin verimli kullanılması için çok çeşitli çalışmalar yapılmaktadır. Bu çalışmalarda enerjiyi verimli bir şekilde kullanan teknolojilerin geliştirilmesi ve yaygınlaştırılmasında büyük bütçeli programlar uygulanmaktadır. Bunların bir kısmı kamu eliyle yürütülen çeşitli uygulamalar, eğitim ve bilgilendirme faaliyetleri, yaptırımlar getiren yasal düzenlemeler ile sivil kuruluşlar tarafından yürütülen kampanyalar, gönüllü faaliyetler, büyük endüstriyel şirketler ile üniversiteler tarafından yürütülen ve bazılarını hükümetlerin de desteklediği teknoloji geliştirme programlarıdır.

Ülkemizde birincil enerji üretim kaynakları Şekil 1.1 de gösterildiği gibi katı yakıt %37, doğal gaz %31, petrol %25, yenilenebilir %6 ve %1 diğer enerji kaynaklarından oluşmaktadır. Bu kaynakların büyük bir bölümü ithal edilmektedir. İthal edilen enerjinin büyük bir bölümü doğal gaz, petrol ve katı yakıttan oluşmaktadır. Doğal gazın 45922 (106Sm³), petrolün 36199 (Bin ton) ve kömürün 33449 (Bin ton) ithal edilmektedir (ETKB 2012).



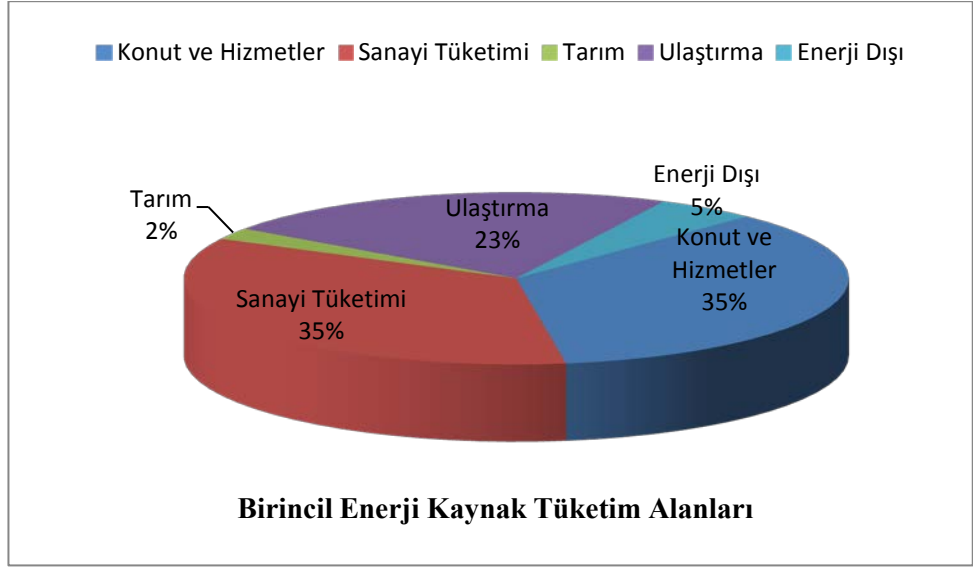
Şekil 1.1. Birincil enerji üretiminin kaynaklar bazında dağılımı

Birincil enerji tüketiminin Ülkemizde kaynaklar bazında dağılımı Şekil 1.2 de verilmiştir. Bu enerji tüketiminin %19'u doğal gaz, %28'u katı yakıt, %30'u petrol, %19'u elektrik, %3'ü jeotermal dışı ısı ve %1 yenilenebilir enerji kaynaklarından oluşmaktadır (ETKB 2012).



Şekil 1.2. Birincil enerji tüketiminin kaynaklar bazında dağılımı

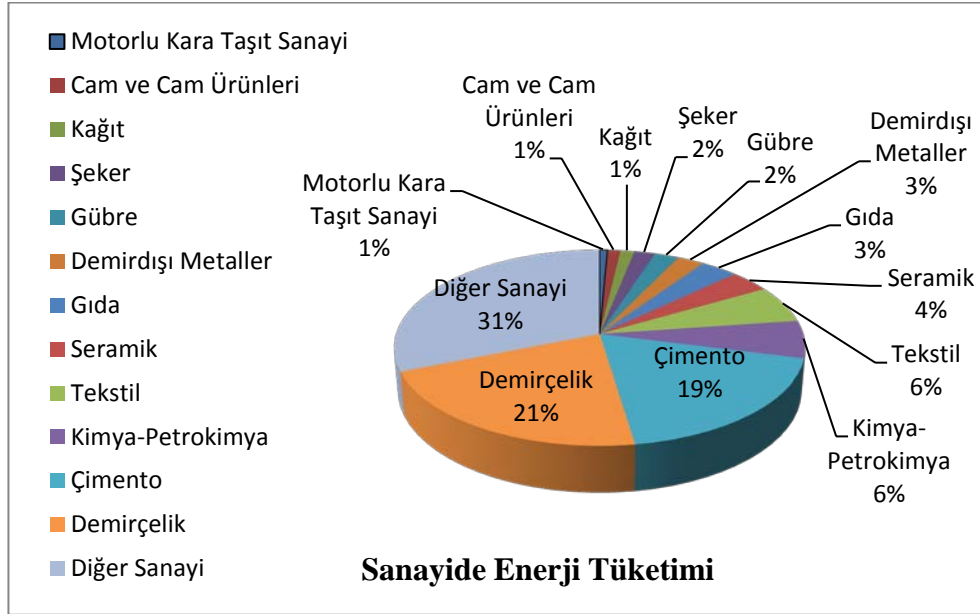
Enerjinin çok farklı tüketim alanları vardır. Bu alanlar 2012 yılı verilerine göre 5 ana başlık altında değerlendirilmiştir. Değerlendirmede; konut ve hizmetler %35, sanayi %35, ulaştırma da %23, enerji dışı %5 ve tarım da %2 den oluşmaktadır (Şekil 1.3).



Şekil 1.3. Birincil enerji kaynaklarının tüketim alanları

Sanayi sektörü, gerek yüksek enerji tasarruf potansiyeline sahip olması, gerekse de sanayide tüketilen enerjinin çoğunlukla ticari enerji olması nedeniyle enerji tasarrufu çalışmalarında da öncelikle ele alınması gereken bir sektördür.

Enerjinin çok farklı tüketim alanları vardır. Bu alanlar 2012 yılı verilerine göre 5 ana başlık altında değerlendirilmiştir. Değerlendirmede; konut ve hizmetler %35, sanayi %35, ulaştırma da %23, enerji dışı %5 ve tarım da %2 den oluşmaktadır (Şekil 1.3).



Şekil 1.4. Türkiye de sanayide enerji kullanımı

Sanayi sektöründe kullanılan enerjinin 2012 verilerine göre %3'lik kısmı gıda ve meyve suyu üretiminde kullanılmaktadır. Ülkemizde Meyve suyu üretim sektörü 2007 yılında toplam 34 adet büyük ölçekli ve bunların dışında üretim yapan küçük ölçekli işletmelerden oluşmaktadır.

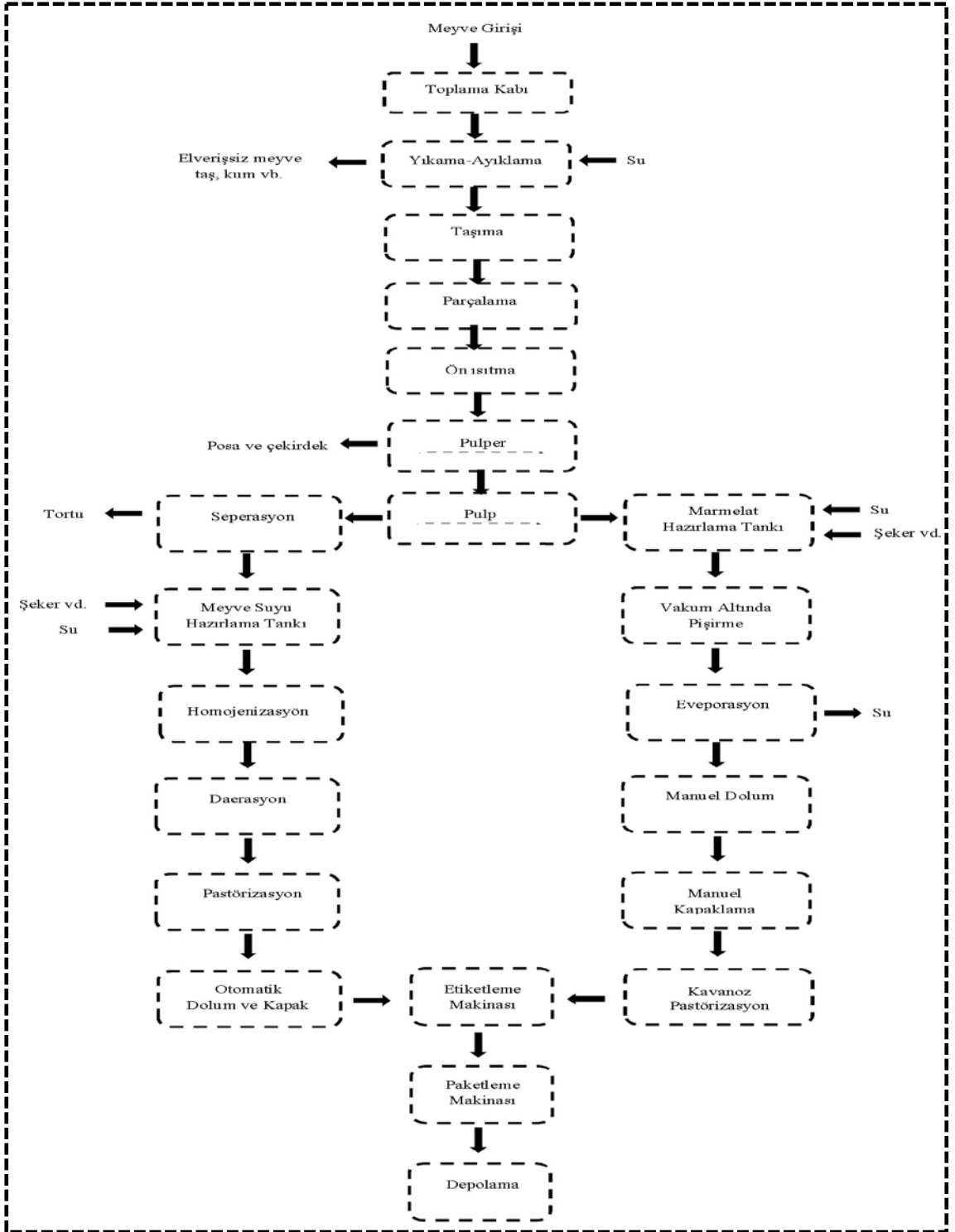
Sanayide enerji yönetimi; planlama, koordinasyon ve kontrol organizasyonu, ürün kalitesinden, güvenlikten veya çevresel tüm koşullardan fedakârlık etmeksizin ve üretimi azaltmaksızın enerjinin daha verimli kullanımı doğrultusunda yapılandırılmış ve organize edilmiş disiplinli bir çalışmadır.

Gıda sanayi, tarımdan sağladığı bitkisel ve hayvansal hammaddeyi, uyguladığı bir veya daha fazla işleme, raf ömrü uzun ve tüketime hazır ürünlere dönüştüren bir imalat sanayi koludur. Tarımsal üretimin mevsime ve yöreye bağlı değişkenliğine karşılık gıda gereksiniminin sürekliliği, çabuk bozulma eğilimindeki tarımsal ürünlere belirli işleme ve muhafaza yöntemlerinin uygulanmasını zorunlu kılmakta ve bu işlevi gıda sanayi yerine getirmektedir (Ekşi vd 2005).

Uluslararası gıda sanayi sınıflandırma (ISIC-3) sistemine göre gıda sanayi; et ve et ürünleri, süt ve süt ürünleri, su ürünleri mamulleri, tahıl ve nişasta mamulleri, meyve ve sebze işleme, bitkisel yağ ve mamulleri, şeker ve şekerli mamuller, yem sanayi olmak üzere sekiz alt sektörden oluşmaktadır (Ekşi vd 2005).

Türkiye Cumhuriyeti kurulduğunda; unun tümü karataş değirmenlerde elde ediliyor, ekmeğin tümü kubbeli fırınlarda üretiliyor, 1 adet konserve fabrikası bulunuyor, süt ve et geleneksel yöntemlerle işleniyor, zeytinyağı ilkel yöntemlerle presleniyor, margarin bilinmiyor, şeker ve çay ithal ediliyordu. Meyve suyu ve dondurulmuş gıda fabrikalarının kuruluşu 1970'li yıllarda başlamıştır (Ekşi vd 2005).

Gümüşhane Meyve Suyu Fabrikası 1970 yılların teknolojisiyle kurulmuş ve zamanla yeni teknolojiler eklenmiştir. Eklenen ekipmanları, inceleme yaparken meselenin ana hatlarıyla ortaya konulmasına dikkat edilecektir. Çünkü her bir sektörde çok sayıda verimlilik alanı bulunmakta, her biriyle ilgili çok sayıda teknolojik araştırma yapılmakta, pek çok farklı program geliştirilmektedir. Bunlar olabildiğince bütüncül bir perspektifle ve gruplandırılarak sunulmaya çalışılacaktır. Fabrikanın üretim hattı boyunca işlenen kuşburnunun, suyu ve marmelatının elde edilmesi Şekil 1,5'te verilmiştir.



Şekil 1.5. Gümüşhane meyve suyu fabrikasının ürün akış şeması

1.1. Tez Çalışmasının Amacı ve Kapsamı

Bu çalışma meyve suyu ve marmelat üretimi yapan Gümüşhane Meyve Suyu Fabrikasının enerji ve ekserji analizleri sistemin gerçek işletme verilerinden yola çıkılarak modellenecektir. Fabrikasındaki meyve suyu ve marmelat üretim sürecindeki her bir ekipman için ayrı ayrı enerji ve ekserji analizleri yapılacaktır. Bu analizler sonucunda meyve suyu üretimi aşamasındaki ünitelerin her birindeki enerji kayıpları araştırılacaktır.

Bu çalışma enerji verimliliği konusu doğrultusunda enerjiyi daha verimli kullanarak ülke ekonomisine katkıda bulunmayı amaçlamaktadır. Bu amaç doğrultusunda gıda sektöründe büyük bir paya sahip olan meyve suyu (meşrubat) üretiminde kullanılan enerji belirlenerek bu enerjinin kullanımının minimum seviyede verimin ise maksimum seviyede olması istenmektedir. Bir başka ifadeyle üretim hızını ve kalitesini düşürmeden verimliliğin artırılması hedeflenmektedir.

1.2. Çalışma Yer Bilgisi

Gümüşhane Meyve Suyu Fabrikası; Gümüşhane iline 10 km uzaklıkta bulunan Tekke Beldesi'nde faaliyet göstermektedir. Fabrika 1974 yılında Kooperatifler Birliği Başkanı Kemal Saygıner tarafından Konsantre, Pulp ve Meyve Suyu İşletme Fabrikası adı altında kurulmuştur. Dönemin imkânları ile Kuşburnu başta olmak üzere yöresel boyutta yetişen, bugün bile kültüre alınmamış, alıç, kızılıcık, böğürtlen, kızamık gibi birçok meyve ürünü işlenmiştir. Takip edilen yıllarda talebinin olduğu anlaşılması ile meyve çayları, bitki çayları ve karışık çaylar imalatı da başlamış işletmeye yeni teknolojiler eklenmiştir.

Fabrikanın bugün 30.000 m² açık, 6.000 m² kapalı yerleşkesi mevcuttur. Fabrika yılda 2000 ton meyve işleme kapasitesine sahip olan üretiminin %25'ini Avrupa Birliği Ülkeleri ve Karadeniz'e kıyısı olan ülkelere (Rusya, Gürcistan vb.) ihraç etmektedir.

Bodvarsson and Eggers (1972), ilk ekserji analizini tek ve çift buharlaştırmalı iki farklı sistemden oluşan bir jeotermal güç santralinde uygulamışlar ve santral geneli için ekserji verimliliğini hesaplamışlardır.

Ekserji kavramı ilk olarak 1878 yılında J.W. Gibbs tarafından ortaya koyulmuştur. Kelime karşılığı olarak ise 1953 yılında Z. Rant tarafından kullanılmıştır (Lee 2001).

Çomaklı (2003), yılında yaklaşık 10.000 (on bin) ton özel kalorifer yakıtı tüketen Atatürk Üniversitesinin ısıtma merkezinin enerji ve ekserji analizini yapmıştır ve bunun sonucunda ısıtma sisteminin yanı sıra binalarda yapılacak iyileştirmeler ile yılda yaklaşık 3.000 ton yakıt tasarrufu yapılabileceğini tespit etmiştir.

Dikici vd (2005), yapmış oldukları çalışma da, hava kaynaklı ısı pompası deney sistemini Elazığ ilinde boş bir odanın ısıtılması amacıyla, kurulan hava kaynaklı ısı pompası sisteminden elde edilen deneysel ölçümlere dayanmaktadır. Deneyler, 2002 ve 2003 yılları arasındaki Aralık ayından Şubat ayına kadar olan ısıtma sezonunda yapılmıştır. Sonuç olarak; sistemin performans katsayısı, enerji ve ekserji analizleri ile ekonomik analizi yapmışlardır.

Akbulut ve Kıncay (2006), yapmış oldukları çalışmada tüm buhar sıkıştırımlı soğutma çevrimlerini inceleyerek enerji ve ekserji analizleri yapmışlardır. Buhar sıkıştırımlı soğutma çevrimlerinin soğutma etkinliklerinin, ikinci yasa verimlerinin ve her proses sırasında ekserji kayıplarının hangi değerlerde olacağını hesaplayabilmek için etkili ve kolay uygulanabilir eşitlikler türeterek konuyu açıklamaya çalışmışlardır.

Akyol (2006), yapmış olduğu çalışmada Atatürk Üniversitesi Kampüsü'nde bulunan ve yılda yaklaşık 330 kWh/m² ısıtma enerjisine ihtiyaç duyan aynı tipteki iki ayrı lojman binasının enerji ve ekserji analizini yapmıştır. Başlangıçta her iki binanın da dış duvarlarında ısı yalıtımı bulunmamaktadır. Binalardan birine ısı yalıtımı uygulayarak, ısı yalıtımı yapılmayan bina ile karşılaştırma yapılmıştır. Karşılaştırma sonucunda ısı yalıtımı yapılan bina, ısı yalıtımı yapılmayan binaya göre %51.3 daha az ısı enerjisi

tükettiği görülmüştür. Karşılaştırmaya, her iki binada 2004–2005 ısıtma sezonunda yapılan ısı tüketim ve sıcaklık ölçümleri temel teşkil etmiştir. Gerçekleştirilen ısı yalıtımı sayesinde binanın dış duvarlarında meydana gelen ısı kayıpları ise %81 oranında azalmıştır. Yalıtım yapılan binanın 165 gün boyunca tükettiği ısı enerjisi ile yalıtım yapılmayan bina 57 gün ısınabilmiştir. Çalışmada her iki binanın dış duvarlarından olan ekserji kayıpları da hesaplanmış ve eşit ısı tüketim değerlerinde yalıtımlı blokun dış duvarlarında %94 daha az ekserji kaybı olduğu görülmüştür. Ayrıca binalarda bulunan ısıtıcılar ile iç ortamlar arası ısı transferinden dolayı meydana gelen tersinmezlikler incelenmiş ve alınan yalıtım önlemi sonucu, yalıtımlı binada %28.8 daha az tersinmezlik olduğunu tespit etmiştir.

Çomaklı vd (2006a), bölgesel ısıtma sisteminin kullanıldığı Atatürk Üniversitesi kampüsünde ki boru dağıtım hatlarında meydana gelen enerji ve ekserji kayıplarını hesaplamıştır. Çomaklı vd (2006b), başka bir çalışmalarında kazan bacalarında meydana gelen enerji ve ekserji kayıplarını incelemişlerdir.

Dazlak (2006), yapmış olduğu çalışmada Bursa da bulunan bir doğalgaz enerji santrali üzerinde atık ısı kazanım tesisinden alınan gerçek işletme verilerini kullanarak enerji ve ekserji analizi yapmıştır. Santralde her ünitenin giriş ve çıkışlarındaki enerji ve ekserji değerlerini hesaplamıştır. Bu değerlere bağlı olarak kayıp enerji ve ekserji değerleri belirlemiştir. Ekserji kayıpları akış, yanma ve baca gazlarından olduğu düşünülmüştür. Her bir ünitenin enerji ve ekserji kayıpları birbirleriyle karşılaştırmıştır. Tesisteki toplam enerji kaybı 2538,84 kW ve toplam ekserji kaybı 17075,91 kW olarak hesaplamıştır. Tesis üzerinde yapılan enerji ve ekserji analizi sonucunda en büyük enerji kaybı buhar türbininde 2781,4 kW, ekserji kaybı ise yine buhar türbininde 9034,87 kW olarak tespit etmiştir.

Esen ve Hosoz (2006), yapmış oldukları çalışmada soğutucu akışkan olarak R134a'nın kullanıldığı bir otomobil klima sisteminde enerji ve ekserji analizi yapmışlardır. Otomobil klima sisteminin her bir bileşeni için farklı çalışma şartlarında ekserji analizi yapmışlardır. Ekserji ve enerji analizleri, artan kompresör devri ile sistem

performansının azaldığını görmüşlerdir. R134a'lı sistemin Soğutma Tesir Katsayısı (STK), aynı soğutma yükü için artan kompresör hızı ile azalmıştır. Ayrıca STK, artan evaporatör yükü ile artmakta ve artan kompresör devri ve yoğunlaşma sıcaklığı ile azalmaktadır. Otomobil klima sisteminde her bir çevrim elemanında yapılan ekserji yıkımı bulmuşlardır. Ekserji yıkımı, artan kompresör devri ile kompresör, kondenser, evaporatör ve termostatik genişleme valfleride (TXV) artmıştır. Ekserji yıkımındaki en büyük artış, kompresör devrinin bir sonucu olarak kompresörün kendisinde olmuştur. Ekserji yıkımı, sırasıyla kompresör, kondenser, evaporatör ve TXV olmak üzere azalmıştır.

Kırmacı (2006), yapmış olduğu çalışmada hacimsel debileri ayarlamak için bir kontrol vanası dışında hiçbir hareketli parçası bulunmayan vorteks tüpü kullanmıştır. Deneysel çalışmada, sıcak akışkan çıkış tarafındaki kontrol vanası tam açık konumda bırakılmıştır. Yapılmış olan deneysel çalışmada, basınçlı akışkan olarak hava ile hava içinde bulunan oksijen, karbondioksit ve azot gazını kullanmıştır. Hava, oksijen (O_2), karbondioksit (CO_2) ve Azot (N_2) vorteks tüpüne giriş basınçları 2 bar'dan 7 bara kadar 1 bar aralıklarla değişik basınçlarda uygulamıştır. Bu çalışmada, vorteks tüplerde oluşan enerji ayrışma olayı dört farklı akışkan için deneysel olarak incelemiştir ve performansı termodinamik açıdan incelemeleri yapmıştır. Ayrıca, yapılan ekserji analizi ile sistemdeki kayıp iş ve verimi hesaplamıştır.

Şen (2006), yapmış olduğu çalışmada linyit yakıtını kullanan bir termik santrale, termodinamiğin ikinci kanununa göre ekserji analizi uygulamıştır. Çalışmada sistemi oluşturan her bir ekipmandaki faydalı güç, tersinir güç ve tersinmezlik miktarları tespit etmiş ve sistemin genel verimleri hesaplamıştır.

Tezcan (2006), yapmış olduğu çalışmada suyun, likorişin ve şurubun değişik özelliklere haiz çeşitli noktalara göre ekserjileri üzerinde çalışmış ve bu değerlerin bir sonucu olarak bu akışkanları kullanan makinelerin enerji verimlerini hesaplamıştır. Ayrıca her nokta için ekserji analizi termodinamik prensipler kullanılarak ayrı ayrı yapmıştır. Ekserjinin sebep olduğu ekonomik çıktılar "Thermal Design and Optimization"

kitabında sunulan prensiplere bağı kalınarak hesaplamıştır.

Apak (2007) yapmış olduğu çalışmada Kütahya ilinde bulunan bir seramik fabrikasının enerji kullanımı ve enerji tasarruf olanaklarının belirlenmesi amacıyla fabrika da enerji ve ekserji analizi yapmıştır. Yapılan çalışmada fabrikadaki enerji tüketiminin yüksek olduğu noktalar belirlenerek bu noktalarda yapılabilecek iyileştirmeler belirlenmiştir. Belirlenen noktalardaki enerji ve ekserji verim yüzdeleri sırasıyla %65,3 ve %35 olarak hesaplanmıştır.

Şahin vd (2007), yaptıkları çalışmada Kayseri Şeker Fabrikası'nın 2002–2003 yılı kampanya verilerini kullanarak şeker üretim süreçleri için termodinamiğin birinci kanun (enerji analizi) ve ikinci kanun (ekserji analizi) analizlerini yapmışlardır. Endüstriyel tesislerde enerji ve ekserji analizlerinin termodinamik açılarından büyük önem taşıdığı belirtmişlerdir. Bu analizlerin endüstrideki üretim tesislerinin enerji verimliliğini artırmak ve atık enerjinin geri kazandırılması gerektiğini söylemişlerdir. Termodinamik açık sistem olarak ele alınan şeker üretim süreçlerine giren ve çıkan her bir durum için enerji ve ekserji analizi sonuçlarını elde etmişlerdir. Bu sonuçlara bağı olarak şeker üretim süreçlerinin birinci ve ikinci kanun verimlerini tespit etmişlerdir. Elde edilen birinci ve ikinci kanun verimlerini iyileştirmek için Kayseri Şeker Fabrikasına tavsiyelerde bulunmuşlardır.

Bozoğlan (2008), yılında yapmış olduğu çalışmasında saatte 6250 kg/h yağ işleme kapasitesine sahip bir zeytinyağı rafineri tesisinin enerji ve ekserji analizlerini tesisin gerçek çalışma verisine dayalı olarak hesaplanmıştır. Tesisdeki her ekipmanın ekserji yok oluşu ve ekserji verim değerleri referans (ölü hal) sıcaklığı 25°C olarak hesaplanmıştır. Hesaplanan değerlerin sistemdeki en büyük ekserji yok oluşu, toplam ekserji yok oluşu içerisinde %54 ile buhar kazanında gerçekleşmiştir. Bunu, %22 ile kötü koku ve yağ asidi giderme ünitesi ve %10 ile yüksek basınçlı buhar jeneratörü izlemiştir. İncelenen tüm sistemin Grassmann (ekserji akış ve kayıp) diyagramı çizilerek ekipmanlardaki ekserjiler giren ekserjiye göre oranlanmıştır. Tesisin toplam ekserji verimi, ölü hal sıcaklığının 25 °C olması durumunda %18 olarak hesaplanmıştır.

Waheed *et al.* (2008), Nijerya da bir portakal suyu fabrikasında enerji optimizasyon metotlarını ve enerji tüketim modelini belirlemek için enerji ve ekserji analizi yapılmıştır. Yapılan analizlere göre portakal suyu üretimi için ortalama 1,112 Mj/kg'lık enerjinin harcanması gerektiği öne sürülmüştür. Enerjinin en çok kullanıldığı yer sırasıyla 0,119 Mj/kg ile paketleme ve 0,932 Mj/kg ile pastörizasyon birimi olarak belirlenmiştir. Yapılan analizler sonucunda verimsizliğin (%90 üzeri) en çok olduğu birim pastörizasyon olduğundan bu birimdeki mevcut makinaların kapasitelerinin artırılması ile fabrikanın veriminin artırılabilceği görmüşlerdir.

Bektaş (2009), yapmış olduğu çalışmada İzmir de faaliyet gösteren bir toz deterjan üretim tesisinde işletme verileri kullanılarak enerji ve ekserji analizini yapmıştır. Toz deterjan üretim tesisi; sülfasyon, sülfonasyon, arıtma ve toz deterjan ünitelerinden oluşmaktadır. Her bir ünite için kütle, enerji ve ekserji denklileri oluşturularak, ısı ve ekserji kayıpları hesaplanmış, enerji ve ekserji verimleri karşılaştırılmıştır. Tüm işletme için enerji verimi 0.68, ekserji verimi ise 0.53 olarak hesaplanmıştır. Tesisin değişik bölümlerinde buhar kullanılmaktadır. Bu buharın üretim ünitesinde termodinamik performansı incelenmiştir. Enerji ve ekserji verimleri sırası ile 0.93 ve 0.55 olarak hesaplanmıştır.

Polat (2009), Bir meyve pulpu üretim prosesinin yapay sinir ağları kullanılarak bir meyve pulp üretim tesisinin modellenmesini yapmıştır. Bu tesiste meyve olarak kayısı kullanılıp pulp elde edilmiştir. Kullanılan enerji ayıklama, yıkama, ön ısıtıcı, vidalı ayırıcı, karıştırma tankı ve pastörizasyondan oluşmaktadır. Sırasıyla enerji verimlilikleri 0,998, 0,997, 0,873, 0,317, 0,996, 0,847 ve 0,286'dır. Ekserji verimlilikleri ise 0,998, 0,996, 0,952, 0,225, 0,987, 0,882 ve 0,192 olarak hesaplanmıştır. Bu hesaplamalar MATLAB programı kullanılarak yapılmıştır.

Türküzü vd (2010), yılında yapmış oldukları çalışmada Çumra Şeker Fabrikası'nın 2006/2007 yılının işletme verileri kullanılarak şeker üretim sürecinin ekserji analizi ile değerlendirmişlerdir. Değerlendirilen ünitelerin sürekli akışlı açık sistem olarak kabul etmişlerdir. Sürece ait enerji ve ekserji sonuçlarını kullanarak termodinamiğin I. Kanun

ve II. Kanun verimlerini hesaplanmışlardır. Giren ve çıkan ürünlerin ekserji değerlerini kullanarak Grassman diyagramını çizmişlerdir. Çalışmanın sonucunda sistemdeki önemli kayıplar sayısal olarak ortaya koymuşlar ve enerji tasarrufu yapılacak yerleri tespit etmişlerdir.

Kaçan (2011), yılında yapmış olduğu çalışmada ülkemizde var olan güneş enerjili konut ısıtma sistemlerine yenilik kazandırmak istemiştir. Yerden ısıtma sisteminde 6 cm yarı kanatçık boyu ve 4 cm kanatçık arası mesafe kurgulanarak çalışmalar yapmıştır. Deneysel sistem kurularak, Aralık 2010-Mayıs 2011 tarihleri arasında gerek sistem iç çalışma parametreleri, gerekse dış ortam parametreleri ölçülmüştür. Kurulan sistem, içerisinde 2 kapalı akış çevrimi bulunmaktadır. Bu çevrimler sistem içine yerleştirilmiş 3 farklı kontrol ünitesi ile çalıştırılmaktadır. Aynı zamanda yerden ısıtma sisteminde yeni bir yaklaşım ortaya konularak, bakır kanatçıklı bakır borularla mekân ısıtması sağlanmıştır. Sistemin tasarım ve uygulama aşamalarında gerçekleştirilen yeni yaklaşımlar, sistemin enerji ve ekserji verimine pozitif yönde etki edmiş, CO₂ ve SO₂ salımlarında %59 ile %89 arasında tasarruf sağlamıştır.

Ilık (2012), yılında doğalgaz yakıtı ile çalışan bir trijenerasyon sisteminin enerji ve ekserji analizini yapmıştır. Her bir nokta için entalpi, entropi, basınç ve sıcaklık değerleri termodinamik tablolarından bulunarak tablolar halinde sunulmuştur. Yine her bir ünite için tersinmezlik, entropi üretimi, kayıp kullanılabilir enerji ve ikinci kanun verimleri hesaplanmıştır. Kojenerasyon sisteminin termodinamik analizi sonucunda en fazla ekserji kaybının yaşandığı üniteler % 32 yoğunlaştırıcı, % 25 yanma odası, % 23'lerde atık ısı kazanında olduğu görülmüştür. Absorbsiyon soğutma sisteminde ise en fazla ekserji kaybının yaşandığı üniteler % 37 kondenser % 31 generatör ve % 18'lerde evaporatörde olduğu tespit edilmiştir. Öncelikle en fazla ekserji kaybının yaşandığı ünitelerde iyileştirme yapılması gerektiği görülmüştür. Kayıpların nedenleri belirtilmiş ve olası çözüm yolları sunulmuştur.

Sanaei *et al.* (2012), yapmış oldukları çalışmada İran'ın endüstri sektöründe enerjinin verimli kullanılmasını araştırmışlardır. Ekserji analizi sektörün koşullarının

derinlemesine ve daha gerçekçi anlaşılmasını sağlamak için enerji analizi ile birlikte uygulamışlardır. On yedi farklı endüstride birincil enerji kullanımı her bir endüstri için inceledikten sonra İran'ın tüm endüstri sektörü için ekserji ve enerji verimliliğinin hesaplanmasında göz önünde bulundurmışlardır. Bütün endüstrilerde ve ayrıca endüstri sektöründe ekserji verimliliği enerji verimliliğinden daha azmış. Verimliliğin iyileşmesi için ekserji analizlerinin öncelikleri enerji analizlerinden farklı olduğu kanısına varmışlardır, sırasıyla bu politika için uygun bir araç olan ekserji analizini önermişlerdir. Enerji kaynaklarının azalması ve enerjinin kalitesinin azalmasına sebep olan mekanizmaları belirlemişlerdir. Üstelik kaliteli enerjinin daha iyi kullanımı için iyileştirici faaliyetler önermişlerdir. İran'ın bütün endüstri sektörü için enerji ve ekserji verimliliği sırasıyla %63 ve %42 olarak tahmin etmişlerdir.

Tontu (2013), yılında yapmış olduğu çalışmada buharlı güç santraline enerji ve ekserji analizi üç farklı çalışma yükü (%100, %70 ve %40) için uygulamıştır. Bu buhar santrali kritik altı durumlarda işletilecek şekilde tasarlanmıştır ve tam yükte 660 MW güç kapasitesine sahipmiş. Her bir ekipmanın ve santralin ikinci yasa verimini hesaplamıştır. Üç farklı yükte de en fazla enerji ve ekserji kaybı sırasıyla kondenserde ve kazanda oluşmuştur. Sonuçlara göre ekserji analizinin enerji analizine göre önemli olduğu kanısına varmıştır. Ekserji kayıpları azaltılması durumunda santral verimleri olumlu yönde artacaktır.

Park *et al.* (2014), yapmış oldukları bu çalışma da küresel ısınma ve çevre kirliliği konusunda artan endişeden dolayı, gerçek hayat uygulamaları için yenilenebilir enerji sistemlerinin kullanımının son yıllarda giderek artacağından söz etmişlerdir. Yenilenebilir enerji kaynaklarına doğada temiz ve kolay ulaşılabilir olmasına rağmen bunların verimli kullanımı hala bilim ve iş çevreleri arasında endişe yarattığını düşünmektedirler. Bu çalışma termal güneş enerjisi, güneş pili ve biokütle ocağı içeren tipik yenilenebilir enerji sistemlerinin hem enerji, hem de ekserji analizlerini gözden geçirerek oluşturulmuş geniş bir literatürden oluşmaktadır.

Zafar and Dincer (2014), yılında yapmış oldukları çalışmada hibrid yenilenebilir enerji

sisteminde elektrik, sıcak su ve hidrojen üretimi için dizayn ve analizler yapmışlardır. Yapılan analizleri ekserji, enerji ve ekserjiekonomik farklı işletme ve çevre durumları altında sistemlerin performansını belirlemek için incelemişlerdir. Yenilenebilir enerji sistemi, elektrik üretim işlemi için kullanılan rüzgar tribünleri ve fotoelektrik panelleri ile hidrojen üreten elektrolizlerden oluşmaktadır. Hidrojen ya direkt olarak elektrik üretmek için bir yakıt hücresi boyunca ya da yüksek basınç altında ki bir yakıt hücresini çalıştırmak için bir kompresör boyunca ilerliyormuş. Yakıt hücrelerinden elde edilen ısı iç kullanım da suyu ısıtmak için kullanılmış. Yapılan analiz sonuçları, iç kullanım için su ısıtıldığında yaklaşık %14 enerji ve %21 ekserji sistem verim artışı başarısı öngörülmüş. Kompresör içeren sistemler tüm sistem enerji ve ekserji verimini düşürüyormuş. Verimin düşüşü yüksek basınç altında hidrojen yoğunluğunun artmasıyla bağlantılıymış ki bu durum daha büyük kompresörlerin çalışmasını gerektirmiş. Ekserjiekonomik çalışma ayrıca iç suyun yakıt hücrelerinden dış ısı kullanarak ısıtıldığında sistemde bir ilerleme olacağını öngörmüşlerdir.

2. KURAMSAL TEMELLER

2.1. Genel Tanım ve Kavramlar

Enerji kelimesi, değişikliklere yol açan etken olarak tanımlanabilir. Çevremizdeki birçok olayın gerçekleşmesine neden olan, kullanıldığında bir şekilden başka bir şekle dönüşen iş yapma yeteneğidir. Enerji, dünyamızda değişik şekillerde bulunabilmektedir. Kimyasal, elektrik, ısı, ışık, mekanik, nükleer, vb. bunlardan bazılarıdır.

Sürekli akış halindeki açık bir sistem için kontrol hacmindeki (KH) termodinamiğin birinci yasasının sözle ve matematiksel olarak ifadesi aşağıdaki şekildeki gibi yazılabilir (Çengel ve Boles 1996).

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{Birim zamanda ısı veya} \\ \text{iş olarak sınırları geçen} \\ \text{toplam enerji} \end{array} \right\} = \left\{ \begin{array}{l} \text{Birim zamanda kütle} \\ \text{ile birlikte KH'den çıkan} \\ \text{toplam enerji} \end{array} \right\} = \left\{ \begin{array}{l} \text{Birim zamanda kütle} \\ \text{ile birlikte KH'ne giren} \\ \text{toplam enerji} \end{array} \right\}$$

Açık bir sisteme, termodinamiğin birinci kanunu genel denge denkleminde yararlanılarak uygulandığında;

$$\text{Giren Enerji} = \dot{E}_g = \sum_g m_g \left(h_g + \frac{1}{2} V_g^2 + gZ_g \right) + \dot{Q} \quad (2.1)$$

$$\text{Çıkan Enerji} = \dot{E}_ç = \sum_ç m_ç \left(h_ç + \frac{1}{2} V_ç^2 + gZ_ç \right) + \dot{W} \quad (2.2)$$

Sistemde deęişiklik,

$$\Delta \dot{E} = \Delta (\dot{U} + \dot{E}_{\text{Pot.}} + \dot{E}_{\text{Kin.}}) \quad (2.3)$$

ifadeleri elde edilir. Bu ifadelerde “h”, birim kütle başına entalpiyi, “V” hızı, “Z” ise belirli bir referansa göre yüksekliği ifade etmektedir. Isı ve iş dışındaki diğer enerji türleri (yüzey gerilim, elektriksel vb.) ihmal edilmiştir. Sistem toplam enerjisi de “ \dot{E} ” ile gösterilmiştir. Potansiyel ve Kinetik enerjiler de ihmal edildiği takdirde termodinamiğin I. kanunu açık bir sistem için denklem (2.4) halini alır.

$$\sum_{\text{g}} \dot{m}_{\text{g}} h_{\text{g}} - \sum_{\text{ç}} \dot{m}_{\text{ç}} h_{\text{ç}} + \dot{Q} - \dot{W} = 0 \quad (2.4)$$

Kimyasal tepkimeleri içeren her bir süreç kimyasal, içermeyenler ise fiziksel olarak nitelendirilebilir. Fiziksel süreçler söz konusu ise, sisteme giren ve çıkan her bir kütle akımının entalpisini; sadece belirli bir sıcaklık ve basınç referans kabul edilerek denklem 2.5’deki gibi hesaplanabilir.

$$h_{\text{g}} = \int_{T_0}^T \left(\frac{\partial h_{\text{g}}}{\partial T} \right)_{\text{P}} dT + \int_{P_0}^P \left(\frac{\partial h_{\text{g}}}{\partial P} \right)_{\text{T}} dP \quad (2.5)$$

Genellikle sıvı ve katılar için denklem (2.5) de yer alan ikinci integral termodinamik büyüklüklerin basınçtan fazla etkilenmedikleri varsayılarak ihmal edilebilir. Sabit basınçtaki özgül ısıdan “ c_p ” yararlanarak entalpi, denklem (2.6)’daki gibi ifade edilir.

$$dh = \int C_p dT \quad (2.6)$$

Sabit basınçtaki özgül ısının “ c_p ” sıcaklıktan bağımsız olduğu koşullarda, entalpi denklem (2.7) ile bulunur.

$$\Delta h = c_p(T - T_0) \quad (2.7)$$

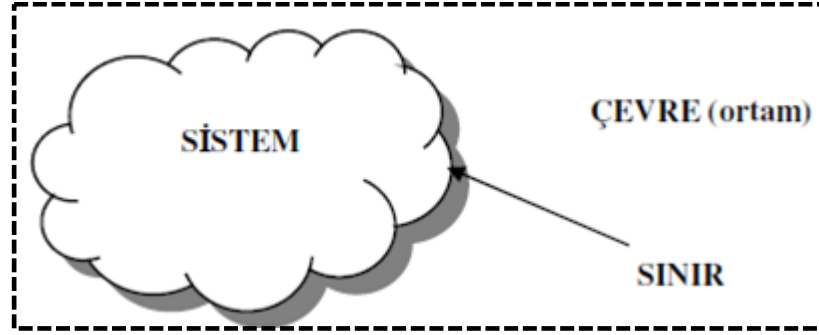
Değişik sıcaklıklardaki özgül ısı kapasiteleri bilinmeyen maddelerin değerleri denklem (2.8) de belirtilen formülasyon ile hesaplanabilir.

$$c_p = a + bT + cT^2 + dT^3 \quad (2.8)$$

Kimyasal süreçlerde, giriş ve çıkış entalpilerinin hesaplanmasında (2.5), (2.6), veya (2.7) no'lu denklemlerin hiçbiri yeterli değildir. Kimyasal tepkime sonucu açığa çıkan veya tepkime için gerekli olan tepkime ısısının hesaba katılabilmesi için seçilen referans sıcaklığındaki kimyasal oluşum ısılarının da bilinmesi gerekir. Bu durumda entalpi ifadesi; (2.9) şeklini alır.

$$h_g = h_g^0 \int_{T_0}^T \left(\frac{\partial h_g}{\partial T} \right)_p dT + \int_{P_0}^P \left(\frac{\partial h_g}{\partial P} \right)_T dP \quad (2.9)$$

Buradaki h_g^0 referans sıcaklığındaki kimyasal oluşum ısısıdır. (2.5) ve (2.9) no'lu denklemler her bir kütle akımının tek bir saf maddeden oluştuğu durumlarda yeterlidir (Arıkoğlu 1985).



Şekil 2.1. Sistem, sınır ve çevre

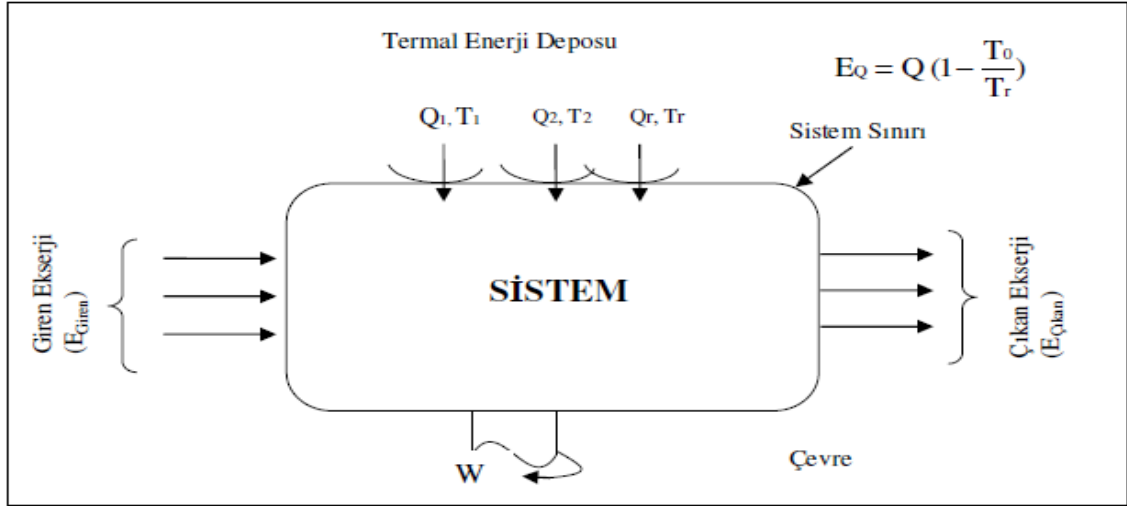
Sistem, belirli bir kütleyi veya uzayın incelenmek üzere ayrılan bir bölgesini belirtir. Termodinamik sistemin sınırları dışında kalan her şey sistemin çevresini oluşturur. Sistemi çevresinden ayıran gerçek veya hayali yüzey de “sistem sınırı” diye adlandırılabilir. Kapalı bir sistemin durumu, çevrenin durumundan farklı ise, sistemin çevre ile enerji alışverişi yaparak iş üretebilme yeteneği vardır. Bu olanak, sistemin durumu ortamın durumuna yaklaştıkça azalır ve sistemin durumu ortamın durumu ile aynı olduğunda iş üretme şansı kalmaz. Sistemin iş üretme şansının kalmadığı bu durum “ölü hal” olarak tanımlanabilir (Çengel and Boles 1996; Can 2004).

Bir ısı sistem, belirli bir başlangıç halinden, ölü hal olarak tanımlanan çevre ile dengeye ulaştığında sistemden elde edilebilecek en fazla teorik iş sistemin ekserjisini oluşturur. Ekserji; kullanılabilir enerjidir. Gerçekte de teknik olmayan insanların enerji, enerji üretimi veya tüketimi dediklerinde kastettikleri de aslında bu ekserjidir. Enerjinin işe dönüştürülemeyen kısmı ise kullanılamaz enerji yani “anenerji” dir ve ekserji ile enerjinin toplamı sistemin enerjisine eşittir.

2.2. Ekserji Verimliliği ve Analiz Metotları

Geleneksel metotlarda, termodinamiğin I. kanunu termal sistem analizlerinin temelini oluşturur. Bu metotlar sistem ve çevre arasındaki ısı transferinde, sistemin enerji balansının belirlenmesinde kullanılır. Enerji balansı, termal sistem sınırlarındaki enerji geçişleri ve iç kayıpların belirlenmesini sağlar.

Ekserji, enerji kalitesinin bir ölçüsüdür. Termodinamiğin II. kanunu, termal sistemlerin dizayn ve analizi için ekserji balansını inceler. Sürekli akış halinde açık bir sistemdeki ekserji balansı Şekil 2.2 yardımı ile açıklanabilir.



Şekil 2.2. Sürekli akış halindeki açık bir sistem (Hammache *et al.* 2002).

$$\dot{E}_{x,g} + \dot{E}_{x,Q} = \dot{E}_{x,\varphi} + \dot{W} + I \quad (2.10)$$

$$\dot{E}_{x,g} = \sum \dot{m}_g e_g \quad (2.11)$$

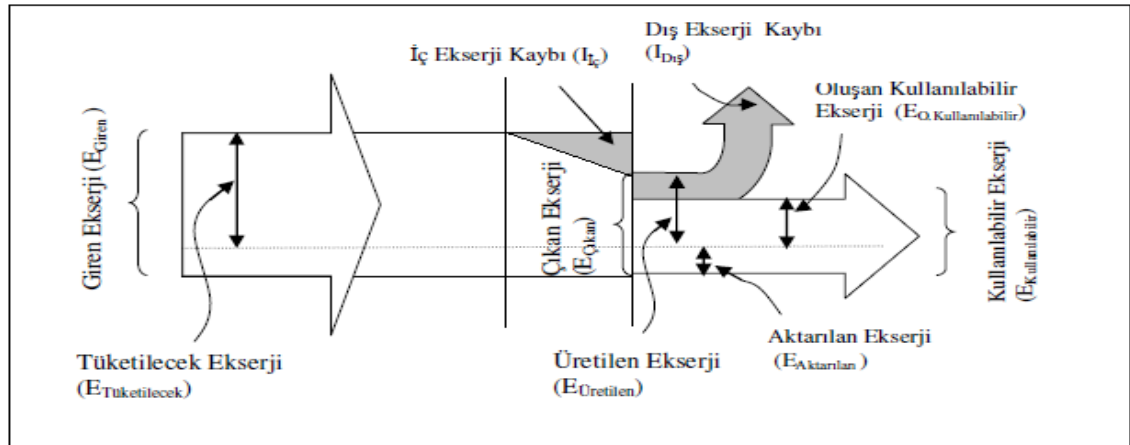
$$\dot{E}_{x,\varphi} = \sum \dot{m}_\varphi e_\varphi \quad (2.12)$$

$$\dot{E}_Q = \sum \dot{Q} \left(1 - \frac{T_0}{T_r} \right) \quad (2.13)$$

Buradaki ekserji denklemi birim kütle için yazılır ise ifade (2.14) elde edilir.

$$e_x = (h-h_0) - T_0 (s-s_0) + e_{x,ch} + \left(\frac{V_0^2}{2} \right) + gZ_0 \quad (2.14)$$

Kontrol hacmine giren ekserji daima çıkıştaki ekserjiden büyüktür. Aradaki fark ise ekserji kayıplarını oluşturur. Oluşan bu ekserji kayıpları ekserji kullanım oranı ile belirlenir. Ekserji kullanım kayıplarının (ekserji balansı) ayrıntılı gösterimi Şekil 3.3 de verilmiştir.



Şekil 2.3. Ekserji kullanım kayıpları (Hammache *et al.* 2002).

İç (I_{İç}) ve dış (I_{Dış}) ekserji kayıpları bunun sebebidir.

Bu ekserji geçişindeki oluşan ekserji verimliliği;

$$\varepsilon = \frac{\dot{E}_{x,\zeta} + \dot{E}_{x,a}}{\dot{E}_{x,g} + \dot{E}_{x,a}} = \frac{\dot{E}_{x,g} - I_{iç} - I_{Dış} - \dot{E}_{x,a}}{\dot{E}_{x,g} + \dot{E}_{x,a}} = \frac{\dot{E}_{x,O}}{\dot{E}_{x,Kul.}} \quad (2.15)$$

denklem (2.15) şeklinde yazılabilir. Aktarılan ekserji miktarı $\dot{E}_{x,a}$ oluşan ekserji $\dot{E}_{x,o}$ ve tüketilecek ekserji $\dot{E}_{x,T}$ şeklinde ifade edilmiştir. Ekserji geçişindeki oluşan kayıpların toplamı (I_I+I_D) kadardır. Tüm bu veriler bize sistem performansındaki değişme ve ekserji iletimindeki azalmayı göstermektedir. Enerji türlerinin ekserji transferi; iş, ısı ve madde akışı olarak üç şekilde gerçekleşir.

2.3. İş Etkisi ile Ekserji Transferi

Ekserji, sistemden elde edilebilecek maksimum iş potansiyeli olarak tanımlanmış olup ekserji transferi $\dot{E}_{x,w}$ ise “ \dot{W} ” ye eşittir ve;

$$\dot{E}_{x,w} = \dot{W} \quad (2.16)$$

eşitliği yazılabilir.

2.4. Isı Etkisi ile Ekserji Transferi

Aynı sıcaklık dağılımına sahip bir termal enerji deposu ile çevre arasındaki ekserji transferi “ $\dot{E}_{x,Q}$ ” olsun. Isı transfer oranı “ Q ” ise oluşan ekserji transferi denklem (2.17) şekilde yazılabilir.

$$\dot{E}_{x,Q} = \dot{Q} \tau \quad (2.17)$$

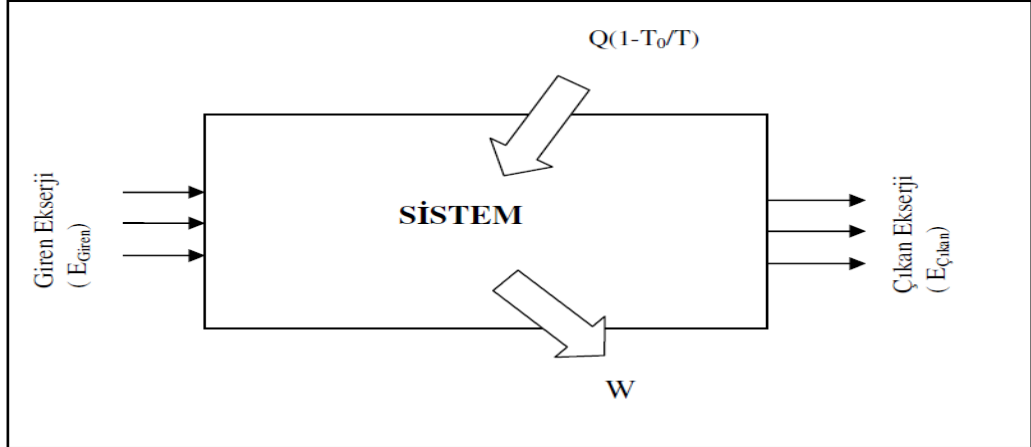
Burada “ τ ” ekserjitik sıcaklık olup aşağıdaki gibi hesaplanır;

$$\dot{\tau}=1-\left(\frac{T_0}{T_r}\right) \quad (2.18)$$

Burada “ T_0 ” atmosfer sıcaklığını, “ T_r ” ise ısı transferi kaynak sıcaklığını göstermektedir. Sonuç olarak ısı etkisi ile oluşan ekserji transferi;

$$\dot{E}_{x,Q}=\dot{Q}\left(1-\frac{T_0}{T_r}\right) \quad (2.19)$$

ile gösterilebilir. Isı ve iş etkisi ile ekserji transferinin gerçekleştiği bir sistem Şekil 2.4 de görülmektedir (Çamdalı ve Tunç 2003).



Şekil 2.4. Isı ve iş etkisi ile ekserji transferi (Çamdalı ve Tunç 2003).

2.5. Madde Akışı ile Ekserji Transferi

Madde akışı ile ekserji transferi; “ $\dot{E}_{x,kin}$ ” kinetik ekserji, “ $\dot{E}_{x,pot}$ ” potansiyel ekserji, “ $\dot{E}_{x,fiz}$ ” fiziksel ekserji ve “ $\dot{E}_{x,kim}$ ” kimyasal ekserji olmak üzere dört formda incelenebilir.

$$\dot{E}_x = \dot{E}_{x,kin.} + \dot{E}_{x,pot.} + \dot{E}_{x,fiz.} + \dot{E}_{x,kim.} \quad (2.20)$$

şeklinde hesaplanır. Kinetik ekserjiyi temsil eden “ $\dot{E}_{x,kin.}$ ” için,

$$\dot{E}_{x,kin.} = \dot{m} \left(\frac{V_0^2}{2} \right) \quad (2.21)$$

denklem (3.21) yazılabilir. $V_0 \left(\frac{m}{s} \right)$ yüzeydeki hız oranıdır. Potansiyel ekserjiyi temsil eden $\dot{E}_{x,pot.}$;

$$\dot{E}_{x,pot.} = \dot{m} g Z_0 \quad (2.22)$$

denklem (2.22) şeklinde hesaplanır. Denklemde yer alan “g” (m/s^2) yerçekimi ivmesini temsil etmektedir. Fiziksel ekserjiyi temsil eden “ $\dot{E}_{x,fiz.}$ ” farklı sıcaklık ve sabit basınçtaki katı, sıvı ve gaz karışımları denklemleri aşağıda (2.23), (2.24), (2.25), (2.26) ve (2.27) verilmiştir.

$$\dot{E}_{x,fiz.} = \dot{m} [(h-h_0) - T_0 (s-s_0)] \quad (2.23)$$

Farklı sıcaklık ve farklı basınç ortamındaki gazlar için;

$$\dot{E}_{x,fiz.} = \{(h-h_0) - T_0 (s-s_0)\} + \left[m T_0 R_x \ln \left(\frac{P}{P_0} \right) \right] \quad (2.24)$$

Farklı sıcaklık ve farklı basınç ortamındaki katı ve sıvılar için;

$$\dot{E}_{x,\text{fiz.}} = (h-h_0) - T_0 (s-s_0) + [mV(P-P_0)] \quad (2.25)$$

Sabit sıcaklık ve farklı basınç ortamındaki gazlar için;

$$\dot{E}_{x,\text{fiz.}} = \dot{m} T_0 R_x \ln \left(\frac{P}{P_0} \right) \quad (2.26)$$

Sabit sıcaklık ve farklı basınç ortamındaki katı ve sıvılar için ise;

$$\dot{E}_{x,\text{fiz.}} = [\dot{m} V_m (P-P_0)] \quad (2.27)$$

denklem (2.27) deki gibi tanımlanabilir. Buradaki h entalpi, $\left(\frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \right)$, s entropi $\left(\frac{\text{kJ}}{\text{kgK}} \right)$, V_m özgül hacim $\left(\frac{\text{m}^3}{\text{kg}} \right)$, T_0 çevre sıcaklığı (K), P ve P_0 sistem ve çevre basınçlarıdır.

Kimyasal ekserji, tersinir olarak gerçekleştirilen bir sistemden elde edilebilecek maksimum iştir. Özgül moleküler standart kimyasal ekserji “ $e_{x,0}$ ” ise ideal sıvıların karışımı veya bir gaz karışımının kimyasal ekserjisi denklem (2.28) de verilmiştir.

$$e_{x,\text{kim.}} = \sum x_i (e_{x,oi} + RT_0 \ln(x_i)) \quad (2.28)$$

Şeklinde ifade edilebilir. “ x_i ” gaz veya sıvı karışımının içerisindeki yüzdesel oranı, “ R ” universal gaz sabitini göstermektedir. Kimyasal ekserjinin gerçek çözümü ise denklem (3.29) da verilmiştir.

$$e_{x,\text{kim.}} = \sum x_i (e_{x,oi} + RT_0 \ln(\gamma x_i)) \quad (2.29)$$

Buradaki “ γ ” parçanın aktiflik katsayısını göstermektedir (Arıkol 1985; Winnick 1997; Yüncü 2000; Hammache and Shukuya 2002).

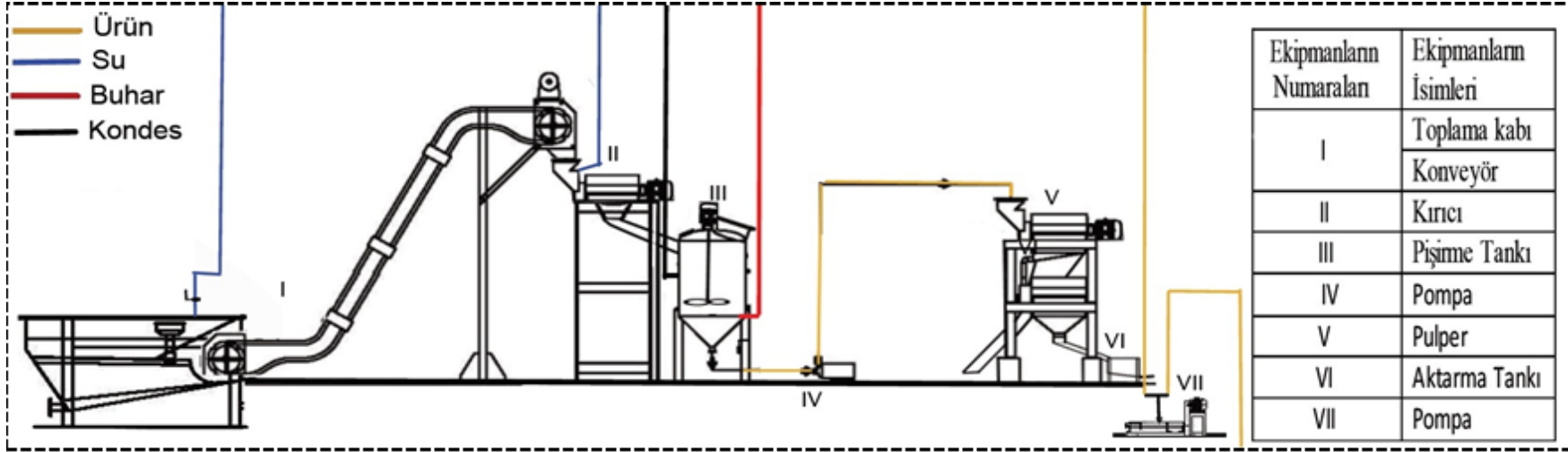
3. MATERYAL ve YÖNTEM

Bu çalışmada materyal olarak Gümüşhane Kuşburnu Fabrikası'ndaki meyve suyu üretim proseslerindeki ekipmanlar, marmelat üretim proseslerinde kullanılan ekipmanlar ile bunlara ek olarak buhar, hava ve su üretim hatlarının enerji ve ekserji analizi dahil edilmiştir. Kullanılan ekipmanlar üretim hattı boyunca farklı aşamalardan oluşmaktadır. Bu aşamalar; ürün işlenmesi (meyve ve pulp işleme), yıkama-ayıklama, su ilavesi, parçalama, pişirme, taşıma (konveyör ve pompalar) pulperden geçirme, seperasyon, marmelat ve meyve suyu dolun, pastörizasyon, etiketleme ve paketleme aşamalarından oluşmuştur. Fabrika da meyve suyu ve marmelat olarak kuşburnu, kızılcık, nar, böğürtlen, vişne, alıç ve kızılcık meyveleri işlenmiştir. Bu tezde tüm üretim hattı boyunca kuşburnu meyvesi işlenerek proseslerindeki enerji ve ekserji analizi hesaplanmıştır.

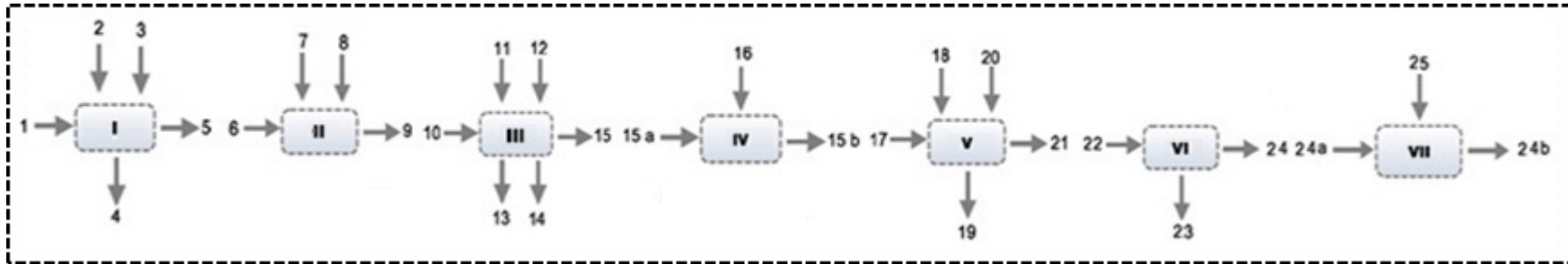
Değerlendirilen üniteler sırasıyla üretim hattı olarak ilk işlem, şişe dolun, marmelat dolun, etiketleme ve paketleme üniteleridir. Enerji üretim hattı olarak ise buhar üretimi, hava üretimi ve fabrika su üretim ünitelerinden oluşmaktadır. Bu üniteler aşağıda detaylı olarak verilmiştir. Yöntem olarak termodinamiğin I. ve II. kanunu uygulanmıştır. Atmosfer basıncı P_0 1 atm ve çevre sıcaklığı T_0 20°C alınmıştır.

3.1. İlk İşlem Ünitesi

İlk işlem ünitesi; meyvelerin hazırlanması, yıkama ayıklama ve taşıma (konveyör ve pompalar), parçalama, pişirme ve pulperden geçirme aşamalarından oluşmaktadır. Bu aşamalarda kullanılan ekipmanların şematik gösterimi Şekil 3.1 de gösterilmektedir. Her bir ekipmana giren kütle ve enerji akımları numaralandırılarak Şekil 3.2 de verilmiştir



Şekil 3.1. İlk işlem ünitesinin ekipmanlarının şematik görünümü



Şekil 3.2. İlk işlem ünitesine giren-çıkan kütle ve enerji akımları

3.1.1. Meyvenin hazırlanması

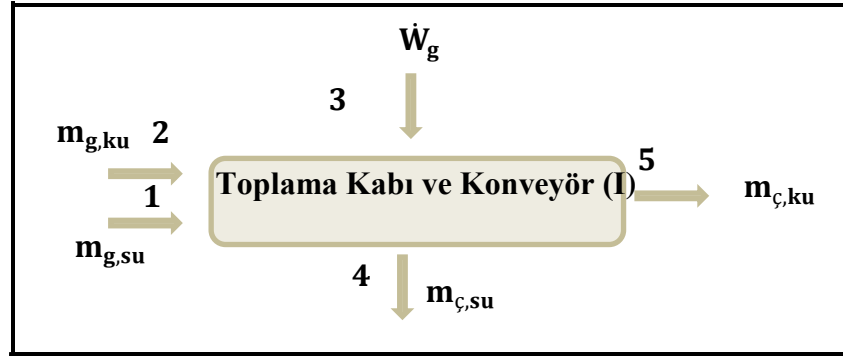
Kuşburnu meyvesi yaş ya da kuru olarak işlenebilir. Kuşburnu meyvesi eylül- ekim aylarında hasat edildiğinden gelen kuşburnunun tamamının meyve suyuna veya marmelatına dönüştürülmesine olanak yoktur. Bu nedenle meyvenin daha az yer kaplayacağı ve uzun ömürlü olabilmesi için bir kısmının kurutulması gerekmektedir. İşletmeye getirilen olgun, yaş kuşburnular 40x60x15 cm boyutlarındaki 0,75 cm çaplı delikleri bulunan plastik kasalara 5-7 cm kalınlığında serilirler. Kasalar toprakla temas etmeyecek şekilde güneşe bırakılır ve kuşburnuların iyice kuruması, yaprak parçacıklarının dökülmesi için günde bir ya da iki kez karıştırılır. Nem miktarları takip edilerek ve ortalama %15 nem değerine ulaştığında polietilen çuvallara alınarak depo edilir.

3.1.2. Yıkama-ayıklama ve taşıma

Depo edilen kuru kuşburnu veya taze kuşburnu tartılarak toplama kabı (I) içerisine alınır. Sertlik derecesi 50 Fr olan 25°C deki tazyikli suya maruz bırakılır. Toplama kabının iç kısmı dökülen kuşburnunun üst seviyesini geçecek kadar su ile doldurulur. Manuel olarak karıştırılır. Yaklaşık 5 dakika beklendikten sonra su yüzüne çıkan yaprak-sap-saman gibi yoğunluğu düşük yabancı maddeler tel süzgeç ile toplanıp alınır. Tekrar manuel olarak karıştırılır ve 5 dakika daha beklemek suretiyle temizleme işlemi yenilenir. Bu işlem su yüzüne tespit edilebilir miktarda yabancı madde çıkmayınca kadar devam edilir. Toplama kabı içerisinden yoğunluğu düşük yabancı maddeler ayıklandıktan sonra kuşburnular toplama kabının dibinden 5 cm yükseklikten başlayan döner-elekli konveyör (I) tipi taşıyıcıyla kırıcıya (II) aktarılır. Daha sonra toplama kabına doldurulan su boşaltılır.

Toplama kabı ve konveyör sürekli açık bir sistemde kontrol hacmi olarak alırsak kontrol hacmine giren ve çıkan kütle ve enerji denklemleri Şekil 3.3 de verilmiştir. Verilen bu şekilde “ $m_{g,ku}$ ” giren kuşburnunun kütlelerini, “ $m_{ç,ku}$ ” çıkan kuşburnunun kütlelerini, “ $m_{g,su}$ ” giren suyun kütlelerini, “ $m_{ç,su}$ ” çıkan suyun kütlelerini ve “ \dot{W}_g ” konveyöre giren işi

göstermektedir.



Şekil 3.3. Yıkama-ayıklama kabına ve konveyöre giren ve çıkan akımların analizi

Yıkama ve ayıklama işemi sırasında giren ve çıkan akımların kütle denklemi (3.1) aşağıdaki gibidir.

$$m_{ku} + m_{su} = m_{ku} + m_{su} \quad (3.1)$$

Toplama kabında iş ve ısı alış-verişi bulunmamaktadır. Ancak konveyör bantla birlikte tek bir kontrol hacmi olarak kabul edildiğinde iş terimi ile birlikte termodinamiğin I. yasası “ T_{ku} ” kuşburnunun sıcaklığı, “ c_{ku} ” kuşburnunun özgül ısı “ \dot{m}_{ku} ” kuşburnunun kütleli debisi olmak üzere aşağıda (3.2) denklemindeki gibi yazılır.

$$\dot{W}_g + \sum_g \dot{m}_{ku} c_{ku} T_{ku} + \sum_g \dot{m}_{su} h_{su} = \sum_{\check{c}} \dot{m}_{ku} c_{ku} T_{ku} + \sum_{\check{c}} \dot{m}_{su} h_{su} \quad (3.2)$$

Toplama kabı ile konveyöre giren ve çıkan su ve kuşburnu akımlarının fiziksel ekserji denklemleri (3.3), (3.4), (3.5) ve (3.6) dan yararlanılarak hesaplanır.

$$\dot{E}_{x \text{ fiz.,su}} = \dot{E}_{x 1, \text{su}} = \dot{m}_1 \left[(h_1 - h_0) - T_0 (s_1 - s_0) \right] \quad (3.3)$$

$$\dot{E}_{x \text{ fiz., ku}} = \dot{E}_{x 2, \text{ku}} = \dot{m}_2 \left[(c_2 T_2 - c_0 T_0) - T_0 c_{\text{ort}} \ln\left(\frac{T_2}{T_0}\right) \right] \quad (3.4)$$

$$\dot{E}_{x3} = \dot{W}_3 \quad (3.5)$$

Kontrol hacmine giren ve çıkan akımların ve işin ekserji yok oluşu denklem (3.6)'a göre hesaplanır.

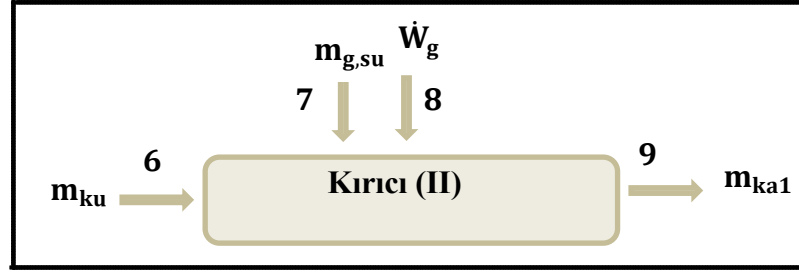
$$\dot{E}_{x \text{ yok I}} = (\dot{E}_{x 1, \text{su}} + \dot{E}_{x 2, \text{ku}} + \dot{E}_{x3}) - (\dot{E}_{x 4 \text{ su}} + \dot{E}_{x 5, \text{ku}}) \quad (3.6)$$

Toplama kabı ve konveyörün ekserji verimi sisteme giren ekserjiden yok olan ekserjinin çıkarılması ve sisteme giren ekserjiye bölünmesiyle denklem (3.7)'e göre bulunur.

$$\varepsilon = \frac{\dot{E}_{x, g} - \dot{E}_{x \text{ yok I}}}{\dot{E}_{x, g}} \quad (3.7)$$

3.1.3. Parçalama

Özel olarak dizayn edilmiş kırıcı (II); döner kırma çubuklarının sıkıştırılmaları ile kuşburnular en büyük parçaları 6-7 mm olacak şekilde su ile birlikte parçalanır. Bu işlem ile kuşburnu meyve kısmı, çekirdek ve tüy olmak üzere 3 kısma ayrılır. Yüzey alanları artan meyveler kombine olarak dizayn edilmiş meyve pişirme kazanına (III) dökülür. Kırıcıya (kontrol hacmine) giren-çıkan kütle ve enerji akımları Şekil 3.4 de aşağıda verilmektedir.



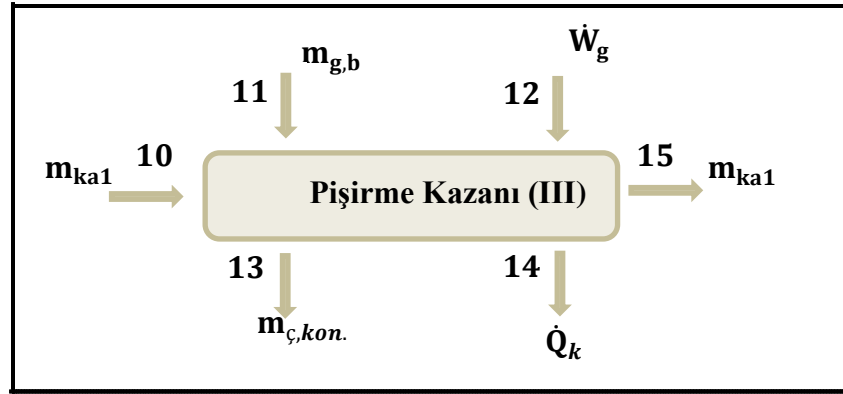
Şekil 3.4. Kırıcıya giren ve çıkan akımların analizi

Kırıcıya giren ve çıkan kütle, iş, enerji, ekserji, ekserji yok oluşu ve ekserji verimi (3.1), (3.2), (3.3), (3.4), (3.5), (3.6) ve (3.7) denklemlerine göre hesaplanır.

3.1.4. Pişirme kazanı

Kırıcıdan çıkan kuşburnu özel olarak işletme atölyelerinde dizayn edilmiş çift cidarlı kazan (III) içerisine alınır. Kazan üzerinde monte vaziyette bulunan karıştırıcının karıştırması eşliğinde 5 bar buhar basıncında pişirmeye başlanır. Meyveler parçalama aşamasında sulandırıldığı için yanma ve renk kararmasının olmaması için yapılan bir işlem basamağı olan tekrar sulandırma işlemi yapılmaz. Böylelikle fazladan bir enerji sarfiyatı da önlenmiş olunur. Farklı kaynama sıcaklıklarında ekstraksiyon işlemi takip edilmiştir. Pişirme işlemi açık kazanda ve atmosfer basıncı altında 65, 85 ve 100°C’deki farklı sıcaklık ve sürelerde yapılmıştır. Pulperden meyvenin tamamen geçebileceği yumuşaklığın eldesi için gereken pişirme süresinin her proses için farklı olduğu görülmüştür. Ancak prosesler arasında kıyas yapabilmek için her meyveye aynı işlemler uygulanmıştır. Bu amaçla meyvenin pulperden tamamen geçebileceği yumuşaklığın eldesi için gereken pişirme süreleri içinde en uzun süreyi alan kazanda 85°C de uygulanan süre olan 30 dakika pişirme işleminde tüm gruplara (kuşburnu, kızılıcık vd.) uygulanmıştır. Böylelikle pişirme işleminde uygulanan işlem süreleri her grup için sabit tutulmuştur (30 dakika). Pişirme işleminin tamamlanıp tamamlanmadığı baş ve işaret parmağı arasına alınmış soğutulmuş meyve etinin kolayca ezilmesiyle anlaşılmıştır. İki parmak arasında önemli derecede direnç göstermediği zaman pişirme işlemine son verilir. Bu kaynatma işlemi ile suda çözünen maddelerin ekstraksiyonu sonucu oluşan kısım pulpere verilmiştir.

Piştirme işlemi dörtte biri açık olan kazan ile yapılmaktadır. Kazanın alt ve yanı tamamen süper yalıtımlıdır. Bu yüzden alt ve yan kısımlardan ısı alış verişi olmamaktadır. Kazana giren m_{k1} , $m_{g,b}$, \dot{W}_g ve çıkan m_{k2} , $m_{ç,b}$, ve piştirme kazanının üst yüzeyinden atmosfere ısı geçişi \dot{Q}_k olmak üzere Şekil 3.5 de verilmiştir.



Şekil 3.5. Kazana giren ve çıkan akımların analizi

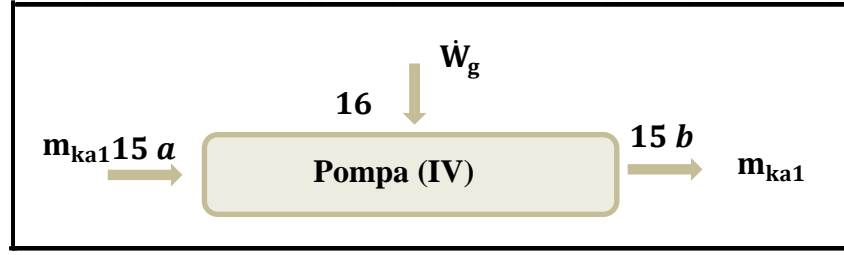
Piştirme kazanına giren ve çıkan kütle, iş, enerji, ekserji, ekserji yok oluşu ve ekserji verimi (3.1), (3.2), (3.3), (3.4), (3.5), (3.6) ve (3.7) denklemlerine göre hesaplanır.

Kazanın içerisinde bulunan karışımın piştirme sonucunda meydana gelen buharın ekserjisi $\dot{E}_{x,14}$ aşağıdaki denklem (3.8) deki gibi hesaplanır.

$$\dot{E}_{x,14} = \dot{Q}_{k,14} \left(1 - \frac{\dot{T}_0}{\dot{T}_k} \right) \quad (3.8)$$

3.1.5. Pulper besleme pompası

Piştirme işlemi sonrasında içerisinde çekirdekleri de olan karışım özel dizayn edilmiş emme-basma sistemine göre çalışan pompa (IV) ile pulpere (V) aktarılır. Pompanın emiş hattındaki aktarılan karışım (m_{ka1}) sistemden olduğu gibi çıktığı Şekil 3.6 da gösterilmiştir.



Şekil 3.6. Pompaya giren ve çıkan akımların analizi

Sistemde pompaya giren ve çıkan kütlelerin toplamı birbirine eşittir. Denklem (3.9) düzenlenmesiyle pompa için genel bağıntı aşağıdaki şekilde oluşturulur.

$$\sum_g \dot{m}_{g,pompa} = \sum_{\zeta} \dot{m}_{\zeta,pompa} \quad (3.9)$$

Pompanın kontrol hacmine ısı enerjisi verilmediğinden dolayı denklemi (3.10) ısı terimi çıkarılarak oluşturulur.

$$-\dot{W}_{g,pompa} = \sum_{\zeta} \dot{m}_{\zeta,pompa} h_{\zeta} - \sum_g \dot{m}_{g,pompa} h_g \quad (3.10)$$

Pompanın girişindeki entalpi (h_g) karışımın sıcaklığı ile özgül ısı değerinin çarpımına eşittir. Aşağıdaki denklem (3.11) deki gibi hesaplanır.

$$h_g = c_{ka1} T_{ka1} \quad (3.11)$$

Pompadan çıkan akımın gerçek entalpisi ise izantropik kabul yardımıyla hesaplanan gerçek entalpi değeri olarak alınır. Aşağıdaki deklemler (3.12) ile hesaplanır (Bozoğlan 2008).

$$h_{\zeta,gerçek} = h_g + \frac{h_{\zeta} - h_g}{\eta_p} \quad (3.12)$$

Pompadan çıkan gerçek entalpi değerini, giriş akımının özgül ısı katsayısına bölünmesiyle çıkan akımın gerçek sıcaklığı denklem (3.13) den elde edilir.

$$T_{\zeta} = \frac{h_{\zeta, \text{gerçek}}}{c_g} \quad (3.13)$$

Pompanın yaptığı gerçek iş, pompanın çıkışındaki gerçek entalpi ile giriş entalpisinin farkına eşittir. Denklem (3.14) ile özgül iş (kJ/kg)ve denklem (3.15) ile de iş (kW) olarak gösterilir (Hepbaşlı ve Balta 2006)

$$w = h_{\zeta, \text{gerçek}} - h_g \quad (3.14)$$

$$\dot{W} = \dot{m}w \quad (3.15)$$

Pompaya giren ve çıkan akımların kullanılabilirlikleri fiziksel ekserji denklemleri (3.16) ve (3.17) ile hesaplanır.

$$\dot{E}_{x, g} = \dot{E}_{x\zeta} = \dot{E}_{x, \text{fiz.}} \quad (3.16)$$

$$\dot{E}_{x, \text{fiz., p.}} = \dot{E}_{x, 15} = \dot{m}_{15} \left[(c_{15} T_{15} - c_0 T_0) - T_0 c_{\text{ort}} \ln\left(\frac{T_{15}}{T_0}\right) \right] \quad (3.17)$$

Birim kütle için ekserji yok oluş ($e_{x, \text{yok}}$) değerleri denklem (3.18) ile hesaplanır. Aynı zamanda birim tersinmezlik (i) değeri bulunur. Ekserji yok oluş değeri ise kütleli debi ile birim tersinmezliğin çarpılması ile denklem (3.19) de gibi hesaplanır.

$$e_{x, \text{yok}} = i = T_0 (s_{\zeta} - s_g) \quad (3.18)$$

$$\dot{E}_{x,yok IV} = \dot{m}i \quad (3.19)$$

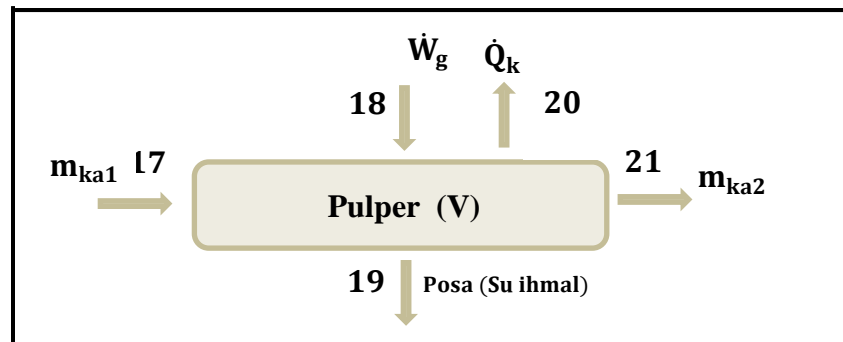
Pompanın ekserji verimi denklem (3.20) ile hesaplanır (Hepbaşlı 2005).

$$\varepsilon = \frac{\dot{W} - \dot{E}_{x,yok IV}}{\dot{W}} \quad (3.20)$$

3.1.6. Pulperden geçirme

Pulperden geçirme esnasında pulper çıkışında oluşabilecek kayıpları en aza indirmek için pişirme kazanından çıkan karışım 1/3 oranında tekrar sulandırılmıştır. Turbo ekstraktör tipi çift kademeli pulperde ürün hızla çevrilir. 800 rpm (devir/dakika) da çalışan, 2 mm delik çapı olan ilk pulperde çekirdek, sap ve varsa diğer yabancı büyük maddeler alınıp posa olarak atığa atılmıştır. Oluşum kombine dizayn edilmiş ikinci pulpere girmiştir. Burada ayırma çapları 1,1 mm, 0,7 mm ve 0,4 mm olan elek sisteminden yine santrifüjleme sistemi ile geçen karışım iyice inceltilmiş ve aktarma tankına (VI) pulp olarak girmiştir.

Pulpere m_{ka1} şeklinde giren posa $m_{ç,posa}$ atılarak m_{ka2} karışımı Şekil 3.7 deki gibi elde edilmiştir.



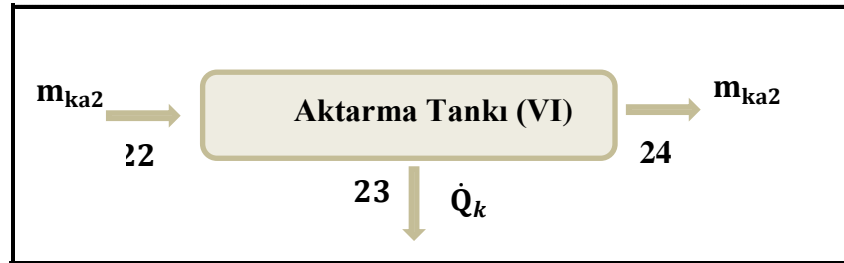
Şekil 3.7. Pulpere giren ve çıkan akımların analizi

Pulpere giren ve çıkan kütle, iş, enerji, ekserji, ekserji yok oluşu, ekserji verimi ve

çevreye olan ısı geçişi (3.1), (3.2), (3.3), (3.4), (3.5), (3.6), (3.7) ve (3.8) denklemlerine göre hesaplanır.

3.1.7. Aktarma tankı

Aktarma tankına giren pulp, tankta biraz bekletildikten sonra pompa (VII) yardımıyla seperatöre gönderilir. Kontrol hacmine giren ve çıkan akımların analizi Şekil 3.8 de gösterilmiştir.

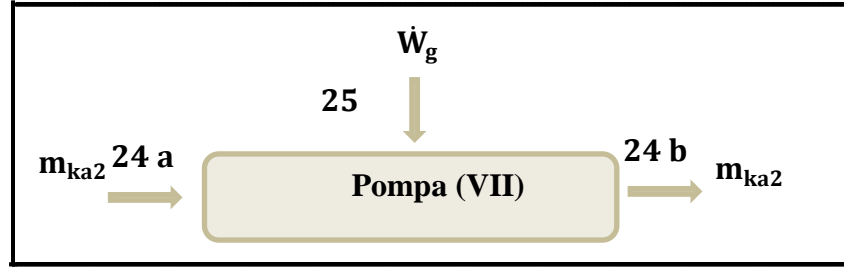


Şekil 3.8. Aktarma tankına giren ve çıkan akımların analizi

Aktarma giren ve çıkan kütle, enerji, ekserji, ekserji yok oluşu, ekserji verimi ve çevreye olan ısı geçişi (3.1), (3.2), (3.3), (3.4), (3.6), (3.7) ve (3.8) denklemlerine göre hesaplanır.

3.1.8. Seperatör ve marmalet ürün besleme pompası

Aktarma tankına alınan karışım meyve suyu olarak dolun yapılacaksa şişe dolun hattı pompaya bağlanır şayet marmelat dolunu yapılacaksa marmelat dolun hattı pompaya bağlanarak pompa çalıştırılır. Pompaya giren ve çıkan akımların analizi Şekil 3.9'daki verilir.

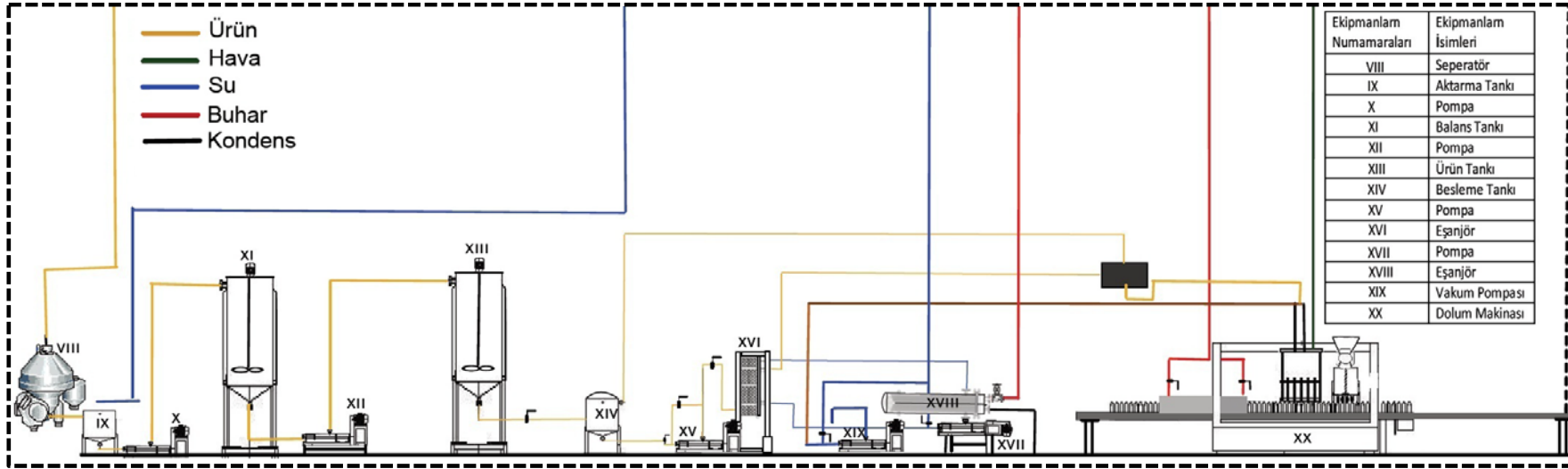


Şekil 3.9. Pompaya giren ve çıkan akımların analizi.

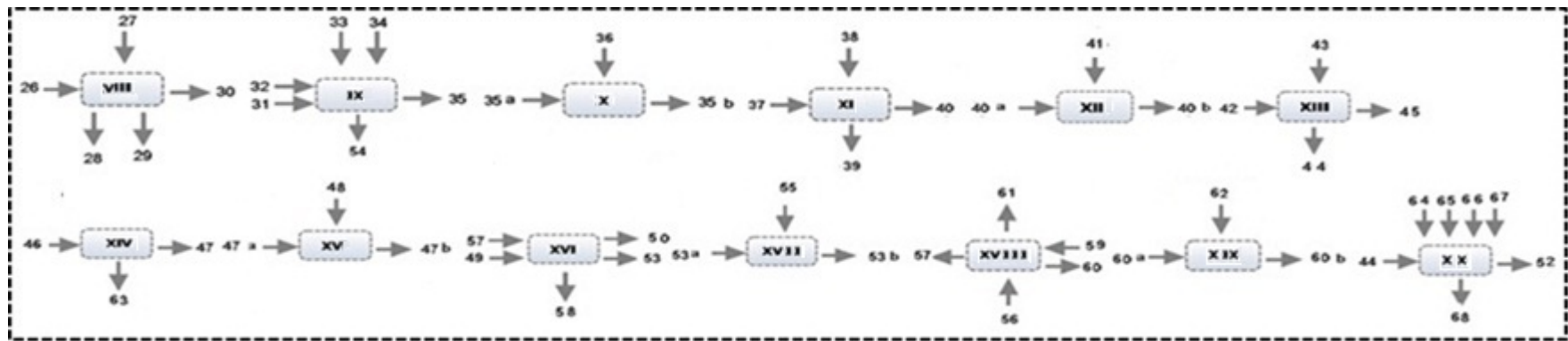
Pompa ile ilgili tüm hesaplamalar için (3.9), (3.10), (3.11), (3.12), (3.13), (3.14), (3.15), (3.16), (3.17), (3.18), (3.19) ve (3.20) denklemleri kullanılır.

3.2. Meyve Suyu Dolum Ünitesi

İlk işlem ünitesinde pulperden geçirilen meyveler pulp olarak aktarma tankına alınarak pompa yardımıyla seperatöre (VIII) gönderilir. Böylece pulpun içinde bulunan tüy parçaları ayıklanarak temizlenir. İncelen pulp ara tanka (IX) alınır. Elde edilen karışıma şeker ve diğer maddeler eklenerek pompa (X) ile balans tankına (XI) gönderilir. Gönderilen meyve suyu karışımının su oranı ayarlanıp karıştırıcı ile bir müddet karıştırıldıktan sonra pompa (XII) aracılığıyla ürün tankına (XIII) alınır. Buradan kendi cazibesıyla besleme tankına (XIV) gelen karışım pompa (XV) yardımıyla eşanjöre (XVI) gönderilir. Eşanjöre 25.5°C giren meyve suyu 85°C üzerinde çıkararak dolum makinasına (XX) girer ve vakum pompası (XIX) yardımıyla dolum yapılır. Diğer bir taraftan eşanjöre (XVI) giren sıcak su ikinci bir buhar-su eşanjörü (XVIII) yardımıyla ana hattan 25°C gelen suyu 100°C sıcaklığına çıkartılarak pompa (XVII) ile sürekli sistemde dolaştırılır. Kazandan gelen buhar eşanjöre (XVIII) 152°C sıcaklığında 5 bar buhar basıncında girer ve su olarak dışarı atılır. Şişe dolum ünitesinde kullanılan ekipmanların şematik görünümü. Şekil 3.10 da gösterilmiştir. Ekipmanlara giren-çıkan maddelerin kütle ve enerji akım şeması Şekil 3.11 de verilmiştir.



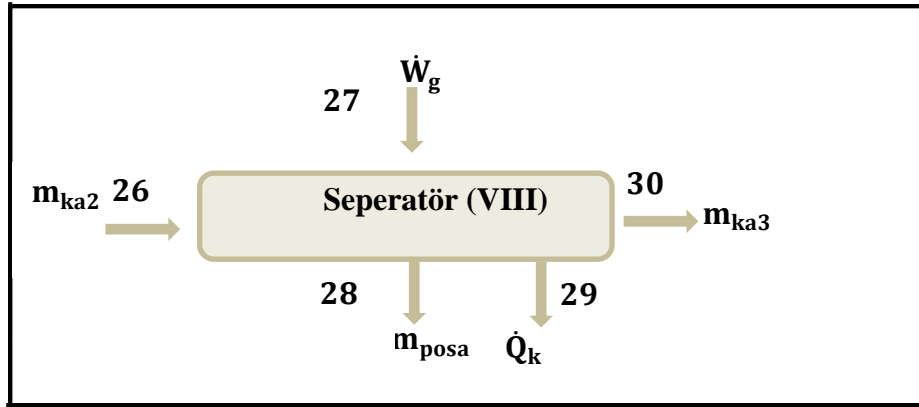
Şekil 3.10. Şişe dolum ünitesinde kullanılan ekipmanların şematik görünümü



Şekil 3.11. Şişe dolum ünitesine giren-çıkan akımların kütle ve enerji akım şeması

3.2.1. Seperasyon

Pulper çıkısındaki karışım pompa yardımıyla seperatöre aktarılarak seperasyon işlemi yapılmıştır. Seperatörde kuşburnu içerisindeki kirlilik etmeni olabilecek maddeler ayrılmıştır. Seperatör çıkısındaki üründeki suda çözünür katı madde miktarının yaklaşık 4 briks olduğu tespit edilmiştir. Bu değerin yüksek veya düşük çıkması ürünün işleme aşamalarındaki sulandırmaya bağlı olarak farklılık göstermiştir. Seperatöre giren ve çıkan akımların analizi aşağıdaki Şekil 3.12 de gösterilir.

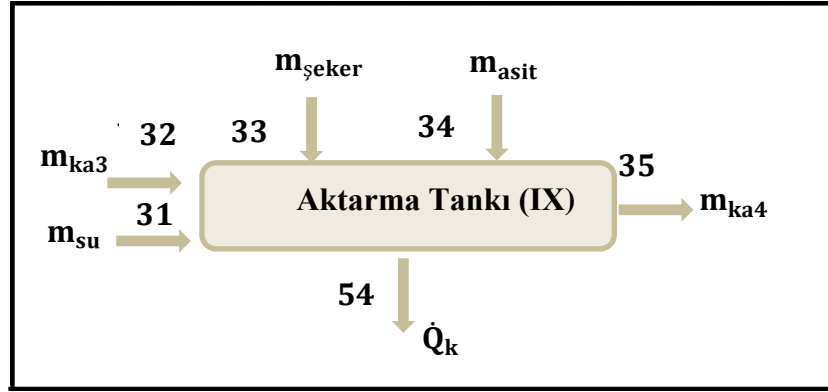


Şekil 3.12. Seperatöre giren ve çıkan akımların analizi.

Seperatöre giren ve çıkan kütle, iş, enerji, ekserji, ekserji yok oluşu, ekserji verimi ve çevreye olan ısı geçişi (3.1), (3.2), (3.3), (3.4), (3.5), (3.6),(3.7) ve (3.8) denklemlerine göre hesaplanır.

3.2.2. Aktarma tankı

Seperatörden çıkan maddelere aktarma tankında şeker ve asit düzenleyiciler katılarak balans tankına pompa ile gönderilir. Aktarma tankına giren, burada ilave edilen ve çıkan akımların analizi Şekil 3.13 de verilmiştir.

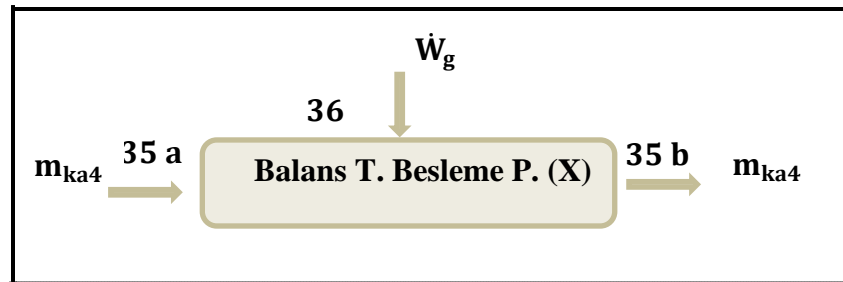


Şekil 3.13. Aktarma tankına giren ve çıkan akımların analizi.

Pulpere giren ve çıkan kütle, iş, enerji, ekserji, ekserji yok oluşu, ekserji verimi ve çevreye olan ısı geçişi (3.1), (3.2), (3.3), (3.4), (3.5), (3.6), (3.7) ve (3.8) denklemlerine göre hesaplanır.

3.2.3. Balans tankı besleme pompası

Aktarma tankına giren karışım ve diğer maddeler pompa yardımıyla yaklaşık 15 dakikada balans tankına gönderilir. Pompa giriş ve çıkışı akımını ifade eden Şekil 3.14 de gösterilmiştir.

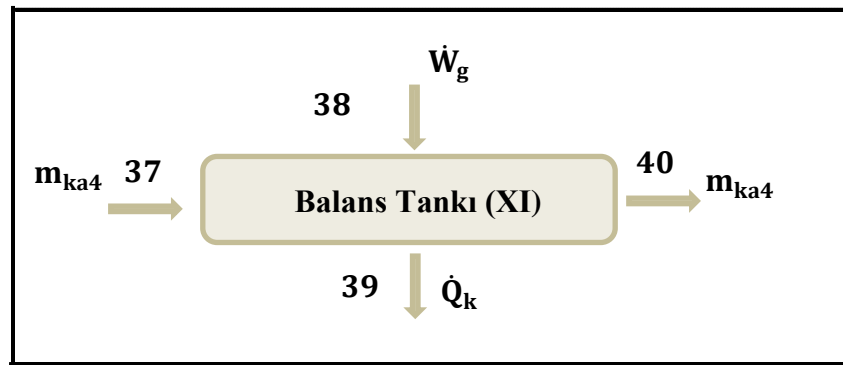


Şekil 3.14. Balans tankı besleme pompasına giren ve çıkan akımların analizi.

Pompa ile ilgili tüm hesaplamalar için (3.9), (3.10), (3.11), (3.12), (3.13), (3.14), (3.15), (3.16), (3.17), (3.18), (3.19) ve (3.20) denklemleri kullanılır.

3.2.4. Balans tankı

Balans tankına gelen karışım 15-20 dakika boyunca motora bağlı karıştırıcı ile iyice karıştırılarak ve briks oranına bakılır. Brix oranı 13 olana kadar şeker, su ve diğer düzenleyiciler aktarma tankından balans tankına gönderilir. Şekil 3.15 de balans tankına giren ve çıkan akımların analizi verilmiştir.

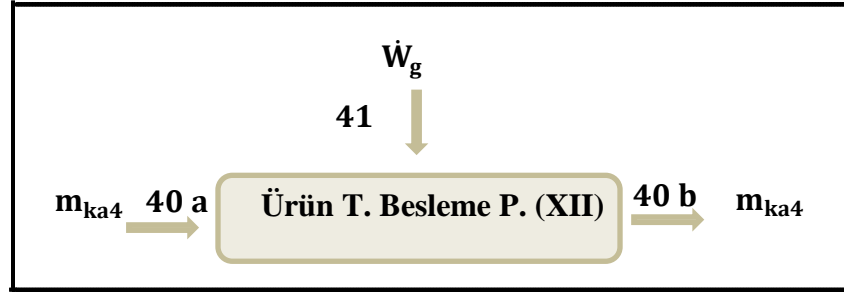


Şekil 3.15. Balans tankına giren ve çıkan akımların analizi

Pulpere giren ve çıkan kütle, iş, enerji, ekserji, ekserji yok oluşu, ekserji verimi ve çevreye olan ısı geçişi (3.1), (3.2), (3.3), (3.4), (3.5), (3.6), (3.7) ve (3.8) denklemlerine göre hesaplanır.

3.2.5. Ürün tankı besleme pompası

Balans tankında iyice karışan ürün (meyve suyu) yeni bir parti mal üretimi için ürün tankına pompa ile alınır. Pompaya giren ve çıkan akımların analizi Şekil 3.16 da gösterilir.

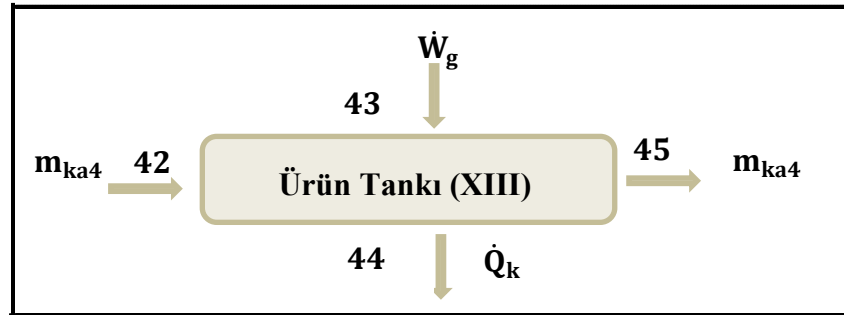


Şekil 3.16. Ürün tankı beslenme pompasına giren ve çıkan akımların analizi.

Pompa ile ilgili tüm hesaplamalar için (3.9), (3.10), (3.11), (3.12), (3.13), (3.14), (3.15), (3.16), (3.17), (3.18), (3.19) ve (3.20) denklemleri kullanılır.

3.2.6. Ürün tankı

Balans tankında iyice karışan meyve suyu pompa yardımıyla ürün tankına alınır. Bura da karıştırmaya devam edilir. Ürün tankına giren ve çıkan akımların analizi Şekil 3.17 deki gibi gösterilir.

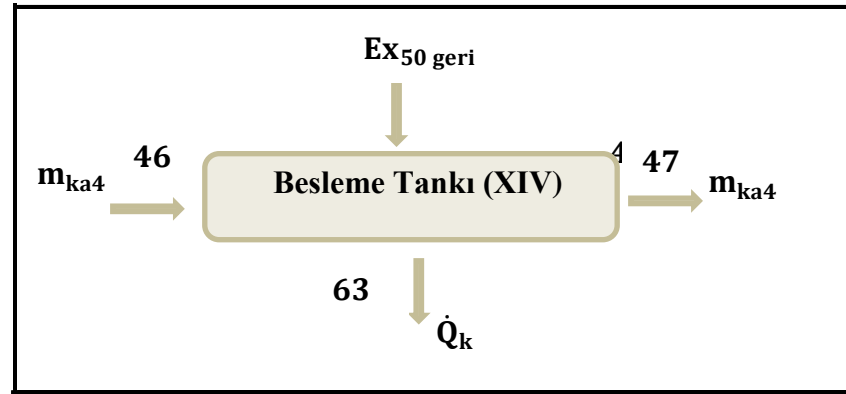


Şekil 3.17. Ürün tankına giren ve çıkan akımların analizi.

Pulpere giren ve çıkan kütle, iş, enerji, ekserji, ekserji yok oluşu, ekserji verimi ve çevreye olan ısı geçişi (3.1), (3.2), (3.3), (3.4), (3.5), (3.6), (3.7) ve (3.8) denklemlerine göre hesaplanır.

3.2.7. Besleme tankı

Ürün tankından besleme tankına meyve suyu kendi cazibesıyla kendiliğinden akarak besleme tankına gelir. Besleme tankında bulunan şamandıra ile fazla gelecek ürünün taşması önlenmiş olur. Pompa yardımıyla besleme tankından eşanjöre sürekli ürün basılması sağlamaktadır. Ayrıca dolum esnasında fazla gelen meyve suyu tekrardan besleme tankına geri dönmektedir. Besleme tankına giren ve çıkan akımların analizi Şekil 3.18 de verilmiştir.

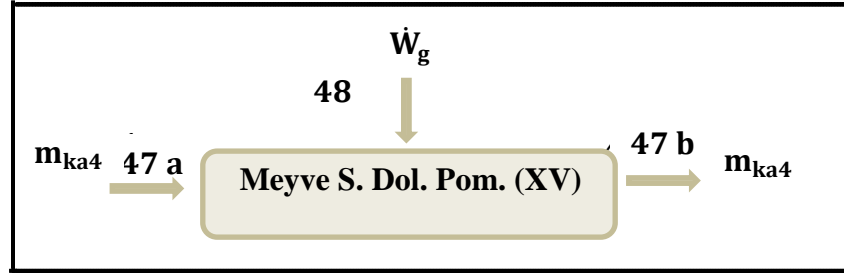


Şekil 3.18. Besleme tankına giren ve çıkan akımları analizi.

Pulpere giren ve çıkan kütle, enerji, ekserji, ekserji yok oluşu, ekserji verimi ve çevreye olan ısı geçişi (3.1), (3.2), (3.3), (3.4), (3.6), (3.7) ve (3.8) denklemlerine göre hesaplanır.

3.2.8. Meyve suyu dolum pompası

Besleme tankına kendi cazibesıyla gelen meyve suyu dolum pompası ile eşanjörden geçirilerek dolum makinasına gönderilir. Pompa sürekli olarak meyve suyunu sisteme göndermek için çalıştırılır. Şekil 3.19 da meyve suyu dolum pompasına giren ve çıkan akımların analizi verilmiştir.

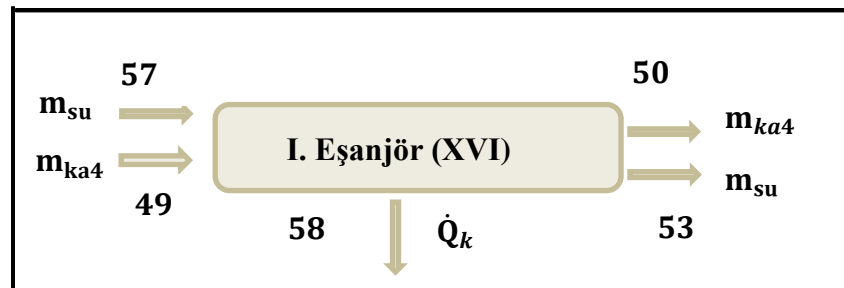


Şekil 3.19. Meyve suyu dolum pompasına giren ve çıkan akımların analizi

Pompa ile ilgili tüm hesaplamalar için (3.9), (3.10), (3.11), (3.12), (3.13), (3.14), (3.15), (3.16), (3.17), (3.18), (3.19) ve (3.20) denklemleri kullanılır.

3.2.9. Eşanjör

Meyve suyunun daha uzun ömürlü ve içerisindeki maddelerin sterilize edilebilmesi için besleme tankından pompa ile gelen 25°C'ki meyve suyu eşanjör çıkışında 85°C üzerinde olacak şekilde sürekli bir açık sistem halinde eşanjörden geçerek dolum makinasına gönderilir. Diğer taraftan ikinci bir buhar-su eşanjörü ile buhar 5 bar basınçta ve 152°C de, su 1 atm (101,325 KPa) da ve 25°C de eşanjöre girerek birinci eşanjöre sürekli olarak 100°C deki su pompa yardımıyla 1. eşanjöre gönderilir. Pompa şebekeden sürekli su çekerek buharın sıcaklığı suya verilerek devirdaim yapılmaktadır. Suyun sıcaklığı eşanjörde meyve suyuna verilerek meyve suyu sıcaklığı 85°C üstüne çıkarılıp 86°C de dolum yapılmaktadır. Eşanjöre giren ve çıkan akımların analizi Şekil 3.20 de verilmiştir.

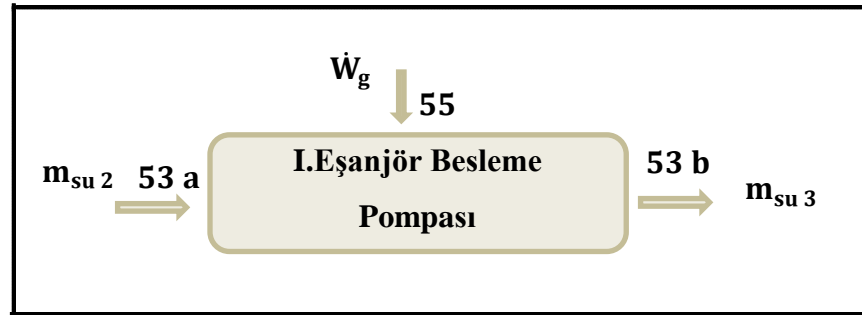


Şekil 3.20. Eşanjöre giren ve çıkan akımların analizi

Eşanjöre giren ve çıkan kütle, enerji, ekserji, ekserji yok oluşu, ekserji verimi ve çevreye olan ısı geçişi (3.1), (3.2), (3.3), (3.4), (3.6), (3.7) ve (3.8) denklemlerine göre hesaplanır. T_{58} eşanjör yüzey sıcaklığı olup 40°C alınmıştır.

3.2.10. I. Eşanjör besleme pompası

Pompanın emiş hattına sürekli olarak fabrika temiz su şebekesinden su çekilerek pompanın üzerinde akupleli (birleşik) şekilde bulunan II. eşanjörün içerisinden geçen su ısınarak I. eşanjöre girer ve meyve suyunun sterilize olmasını sağlar. Şekil 4.21 de pompaya giren ve çıkan akımların analizi verilmiştir.

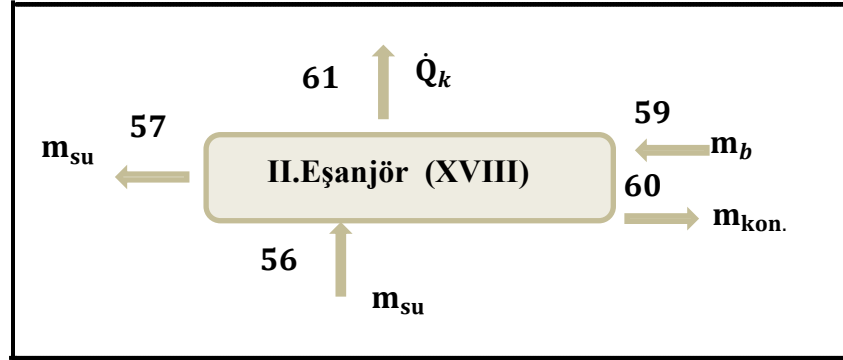


Şekil 3.21. I. Eşanjör besleme pompasına giren ve çıkan akımların analizi.

Pompa ile ilgili tüm hesaplamalar için (3.9), (3.10), (3.11), (3.12), (3.13), (3.14), (3.15), (3.16), (3.17), (3.18), (3.19) ve (3.20) denklemleri kullanılır.

3.2.11. Buhar-Su eşanjörü

Kazandan gelen buhar silindirik 1 m uzunluğundaki eşanjöre 5 bar 152°C de girerek pompanın basmış olduğu 25°C deki su eşanjörden geçerek 100°C de I.eşanjöre sıcak su temin edilmesini sağlar. Şekil 3.22 de II.eşanjöre giren ve çıkan akımların analizi gösterilmiştir.

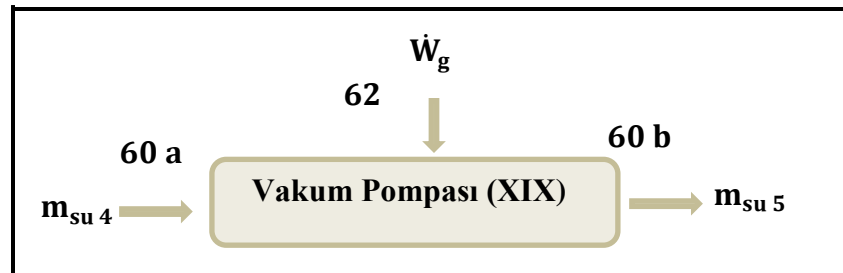


Şekil 3.22. II. Eşanjöre giren ve çıkan akımların analizi

Eşanjöre giren ve çıkan kütle, enerji, ekserji, ekserji yok oluşu, ekserji verimi ve çevreye olan ısı geçişi (3.1), (3.2), (3.3), (3.4), (3.6), (3.7) ve (3.8) denklemlerine göre hesaplanır. T_{61} eşanjör yüzey sıcaklığı olup 40°C alınmıştır.

3.2.12. Vakum pompası

Dolum işlemi yapıldıktan sonra vakum pompası devreye girerek fazla hacimdeki meyve suyunu besleme tankına pinomatik vana yardımı ile gönderilir. Şekil 3.23 vakum pompasına giren ve çıkan akımların analizi verilmiştir.

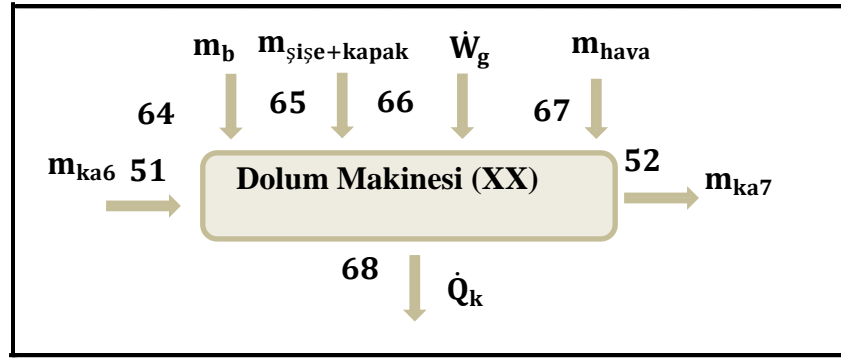


Şekil 3.23. Vakum Pompasına giren ve çıkan akımların analizi

Pompa ile ilgili tüm hesaplamalar için (3.9), (3.10), (3.11), (3.12), (3.13), (3.14), (3.15), (3.16), (3.17), (3.18), (3.19) ve (3.20) denklemleri kullanılır.

3.2.13. Dolum ve kapaklama

Eşanjörden gelen 85°C'nin üstündeki meyve suyu, buhar ile sterilize edilmiş şişelere dolum makinası yardımıyla hava kullanılarak doldurulur. Şişeler, 100-152°C arasında dezenfekte edilir. Dolumu yapılan şişe 6 bar basınçtaki hava kullanılarak kapaklar peresleme ile kapatılır. Kapatılan meyve suyu şişeleri bant yardımıyla etiketleme ve paketleme ünitesine gönderilir. Bant dolum makinasının motoruna bağlı dişli ile çalışmaktadır. Dolum makinesine giren ve çıkan akımların analizi Şekil 3.24 de verilmiştir.



Şekil 3.24. Dolum makinesine giren ve çıkan akımların analizi.

Dolum makinesine giren ve çıkan kütle, iş, enerji, ekserji, ekserji yok oluşu, ekserji verimi, çevreye olan ısı geçişi ve dolumda kullanılan havanın ekserjisi (3.1), (3.2), (3.3), (3.4), (3.5), (3.6), (3.7), (3.8) ve (3.21) denklemlerine göre hesaplanır. T_{68} dolum makinasının yüzey sıcaklığı olup 40°C olarak alınmıştır.

$$\dot{E}_{x \text{ fiz. , hava}} = \dot{E}_{x 67} = \dot{m}_{67} \left[(c_{67} T_{67} - c_0 T_0) - T_0 c_{\text{ort}} \ln \left(\frac{T_{67}}{T_0} \right) + R \ln \left(\frac{P_{67}}{P_0} \right) \right] \quad (4.21)$$

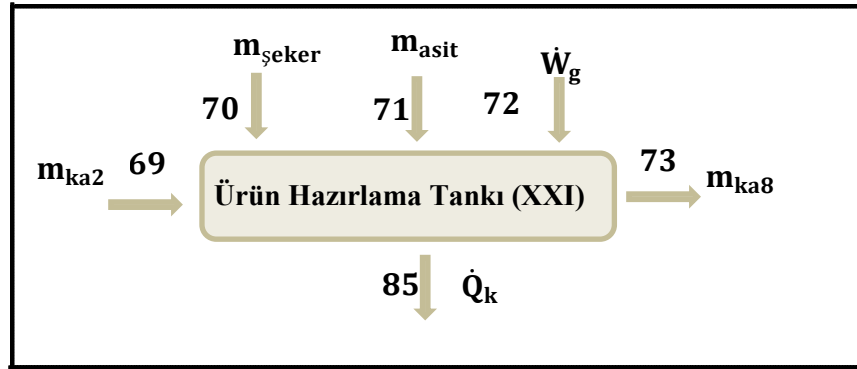
3.3. Marmelat Dolum Ünitesi

Marmelat üretimi, 4 aşamadan oluşmaktadır. Bunlar sırasıyla ürün hazırlama, pişirme

ve vakumlama, dolum ve kapaklama ile son olarak pastörizasyon işleminden oluşmaktadır. Bunlar aşağıda detaylı olarak ele alınmıştır.

3.3.1. Ürün hazırlama tankı

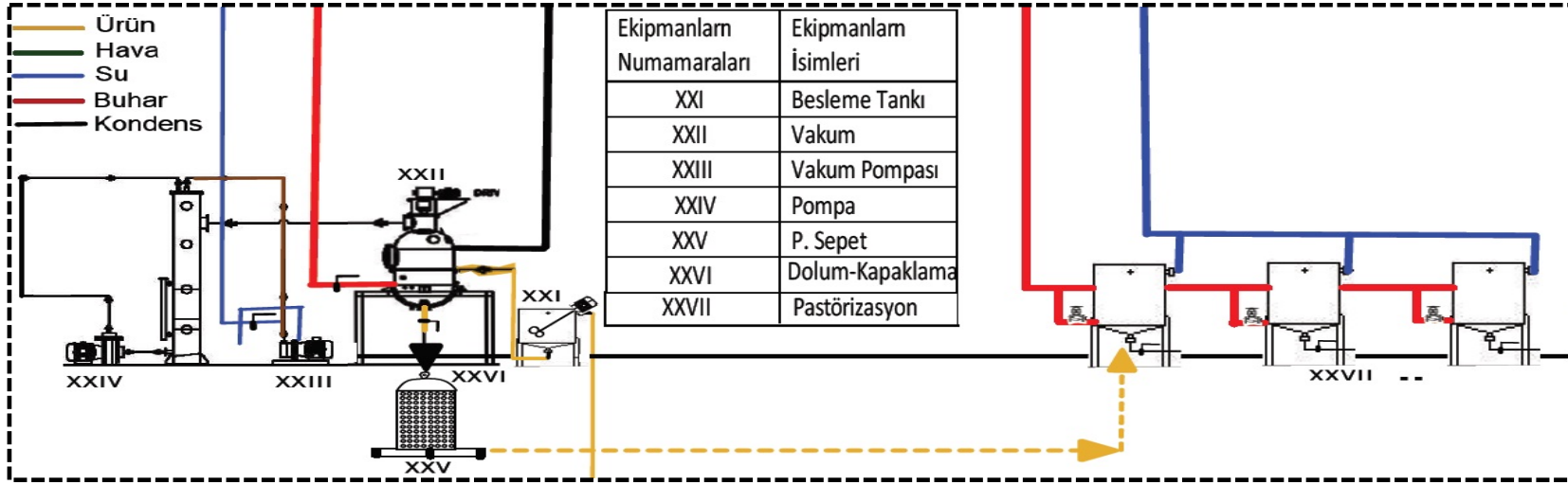
İlk işlem ünitesinin en son aşamasında bulunan aktarma tankına bağlı bulunan pompa yardımıyla pulp, marmelat ünitesinde ürün hazırlama tankına gönderilir. Meyve suyu üretiminde 1 parti mal için en az 100 kg ve marmelat üretimi için ise 500 kg kuşburnu kullanılmaktadır. Marmelat yapımında kuşburnunun yanı sıra şeker, asit düzenleyici maddeler ve diğer katkı maddeleri de eklenerek vakum kazanına gönderilir. Şekil 3.25 ürün tankına giren ve çıkan akımların analizi gösterilmiştir.



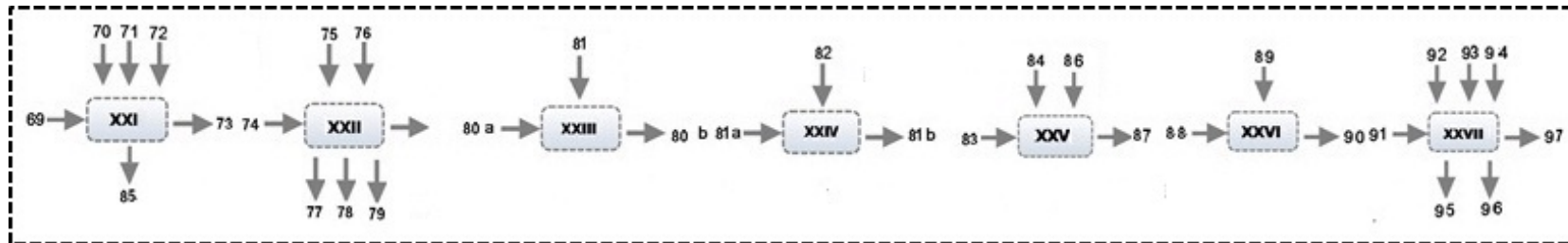
Şekil 3.25. Ürün hazırlama tankına giren ve çıkan akımların analizi.

Ürün hazırlama tankı giren ve çıkan kütle, iş, enerji, ekserji, ekserji yok oluşu, ekserji verimi ve çevreye olan ısı geçişi (3.1), (3.2), (3.3), (3.4), (3.5), (3.6), (3.7) ve (3.8) denklemlerine göre hesaplanır.

Marmelat dolum ünitesinde kullanılan ekipmanların şematik görünümü Şekil 3.26 da gösterilmiştir. Ekipmanlara giren-çıkan akımların gösterimi Şekil 3.27 de verilmiştir.



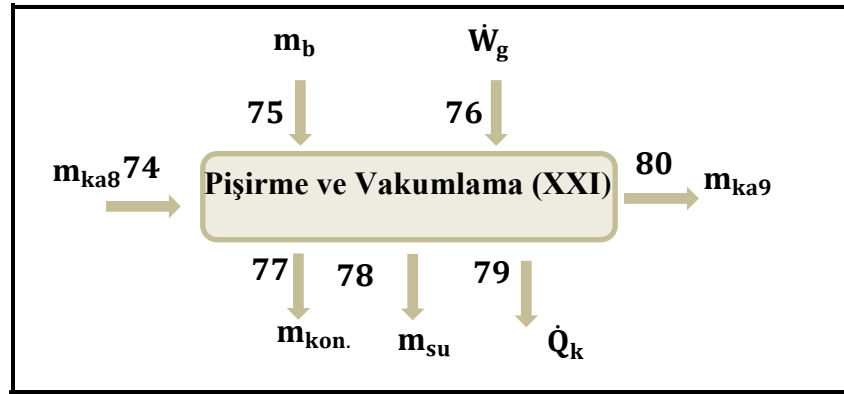
Şekil 3.26. Marmelat dolum ünitesindeki ekipmanların şematik görünümü



Şekil 3.27. Marmelat dolum ünitesinde kullanılan ekipmanların akım şeması

3.3.2. Pişirme ve vakumlama

Elde edilen pulpa şeker ve asitlik ayarlaması için sitrik asit ilave edilerek 500-700 mmHg vakum basıncında çift cidarlı vakum sistemli Bull içerisinde evapore edilerek istenilen brikse (55) ulaştırılmıştır. Marmelat işlenmesi esnasında evaporasyon prosesinde yaklaşık her 100 kg meyve başına 50 kg şeker ilave edilmiştir. Marmelat tanımına uygun marmelat özelliklerinin eldesi ile son verilmiştir. Pişirme ve vakumlama sürecinde giren ve çıkan akımların analizi Şekil 3.28 de verilmiştir.

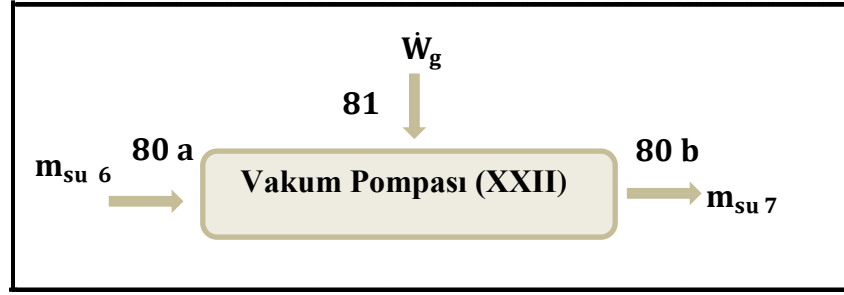


Şekil 3.28. Pişirme ve vakumlama sürecindeki giren ve çıkan akımların analizi

Pişirme ve vakumlamaya giren ve çıkan kütle, iş, enerji, ekserji, ekserji yok oluşu, ekserji verimi ve çevreye olan ısı geçişi (3.1), (3.2), (3.3), (3.4), (3.5), (3.6), (3.7) ve (3.8) denklemlerine göre hesaplanır.

3.3.3. Vakum pompası

Vakum pompası emiş hattına 1/2" parmak borudan su verilerek vakum oluşturulur. Oluşturulan vakum ile ürünün yanma olayı pompa tarafından önlenmiş olur. Şekil 3.29 da vakum pompasına giren ve çıkan akımların analizi verilmiştir.

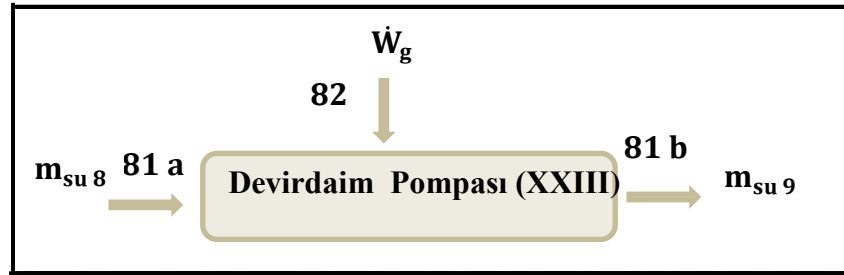


Şekil 3.29. Vakum pompasına giren ve çıkan akımların analizi.

Pompa ile ilgili tüm hesaplamalar için (3.9), (3.10), (3.11), (3.12), (3.13), (3.14), (3.15), (3.16), (3.17), (3.18), (3.19) ve (3.20) denklemleri kullanılır.

3.3.4. Devirdaim pompası

Vakum ile çekilen su vakum tankına gelir ve devirdaim pompasıyla su sistemde dolaştırılır. Şekil 3.30 da devirdaim pompasına giren ve çıkan akımların analizi verilmiştir.



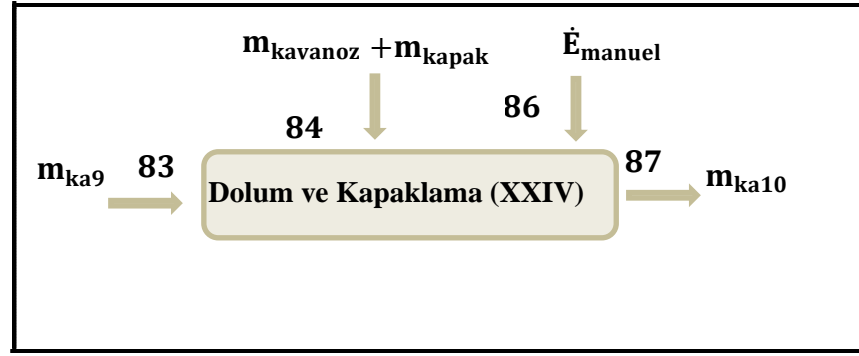
Şekil 3.30. Devirdaim pompasının giren ve çıkan akımların analizi

Pompa ile ilgili tüm hesaplamalar için (3.9), (3.10), (3.11), (3.12), (3.13), (3.14), (3.15), (3.16), (3.17), (3.18), (3.19) ve (3.20) denklemleri kullanılır.

3.3.5. Dolum ve kapaklama

Elde edilen marmelat 55 brix değerine gelene kadar vakumlama ile birlikte sistemden

dışarıya su atılır. Daha sonra istenilen kıvama ulaştıktan sonra el ile kavanozlara dolum yapılarak yine el ile kavanozların kapakları sıkılarak pastörize sepetine dizilir. Şekil 3.31 de dolum ve kapaklama sürecine giren ve çıkan akımların analizi verilmiştir.



Şekil 3.31. Dolum ve kapaklama sürecine giren ve çıkan akımların analizi.

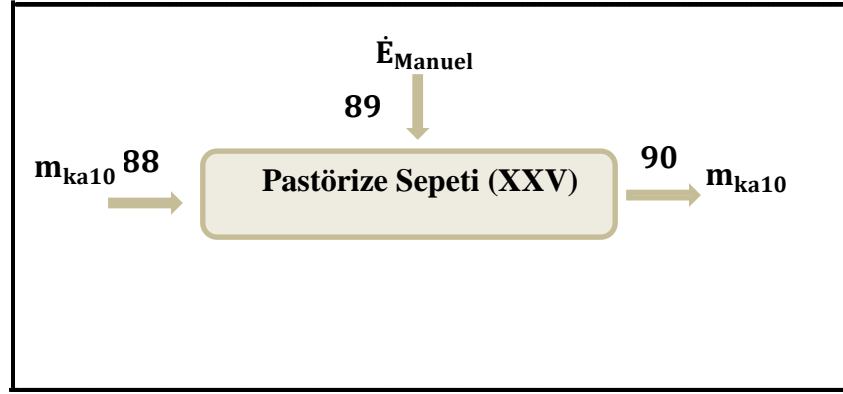
Dolum makinesine giren ve çıkan kütle, iş, enerji, ekserji, ekserji yok oluşu, ekserji verimi (3.1), (3.2), (3.3), (3.4), (3.5), (3.6), (3.7) ve (3.21) denklemlerine göre hesaplanır. Burada $\dot{E}_{x\text{manuel}} = E_{x,118}$ dolumun el ile yapılması sonucu ortalama 10 saat (t) çalışan bir insanın harcadığı enerji denklem (3.21) ile hesaplanır (Ezeike 1981).

$$\dot{E}_{x\text{manuel}} = 0,075 \text{ nt} \quad (3.21)$$

Dolum ve kapaklama işleminde 3 kişi çalışmaktadır (n= 3).

3.3.6. Pastörize Sepeti

Dolum ve kapaklanması yapılan marmelat şişesi pastörize sepetine dizilerek pastörize birimine gönderilir. Şekil 3.32 de pastörize sepetine giren ve çıkan akımların analizi gösterilmektedir.

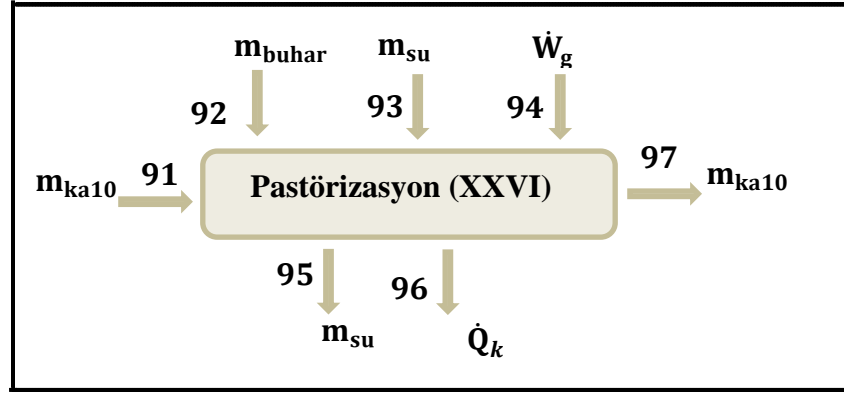


Şekil 3.32. Pastörize sepetine giren ve çıkan akımların analizi.

Dolum makinesine giren ve çıkan kütle, enerji, ekserji, ekserji yok oluşu, ekserji verimi ve manuel enerji (3.1), (3.2), (3.3), (3.4), (3.6), (3.7) ve (3.21) denklemlerine göre hesaplanır. Sepet dolum işleminde 1 kişi çalışmaktadır ($n=1$).

3.3.7. Pastörizasyon

Kavanozlara doldurulan marmelat elle kapakları sıkıldıktan sonra palet üzerine koyulan silindirik pastörize sepetlerine dizilerek pastörizasyon bölümüne transpaletlerle götürülür. Götürülen sepetler tavan vinci ile kaldırılıp silindirik pastörizasyon kaplarının içerisine konulur. Sepetlerde bulunan kavanozların üzeri tamamen su ile dolana kadar kaplara su verilir. Su verme işlemi tamamlandıktan sonra kaplara 10 dakika boyunca 5 bar basınçta 152°C de suya buhar verilir. Daha sonra buhar verme işlemi bitirilir. Kaplara tekrar soğuk su verilerek kavanozların sıcaklığı kademeli olarak düşürülür. Şayet sepetler kaplardan çıkartılarak direk soğuk suya tabi tutulursa kavanozlar kırılmaya maruz kalmaktadır. Bundan dolayı bu işlem bu şekilde yapılmaktadır. Kaplardaki suyun sıcaklığı 30°C 'ye kadar soğutulduktan sonra soğuk su verme işlemine son verilir. Sepetler kaplardan çıkarılarak paletlerin üzerine tekrar konularak etiket, tarih ve güvenlik bandı için etiket makinasına yakın bir yere soğumak üzere bırakılır. Burada 30 dakika bekletildikten sonra etiketleme işlemine başlanır. Pastörizasyon sürecinde giren ve çıkan akımların analizi Şekil 3.33 de verilmiştir.



Şekil 4.33. Pastörizasyona giren ve çıkan akımların analizi

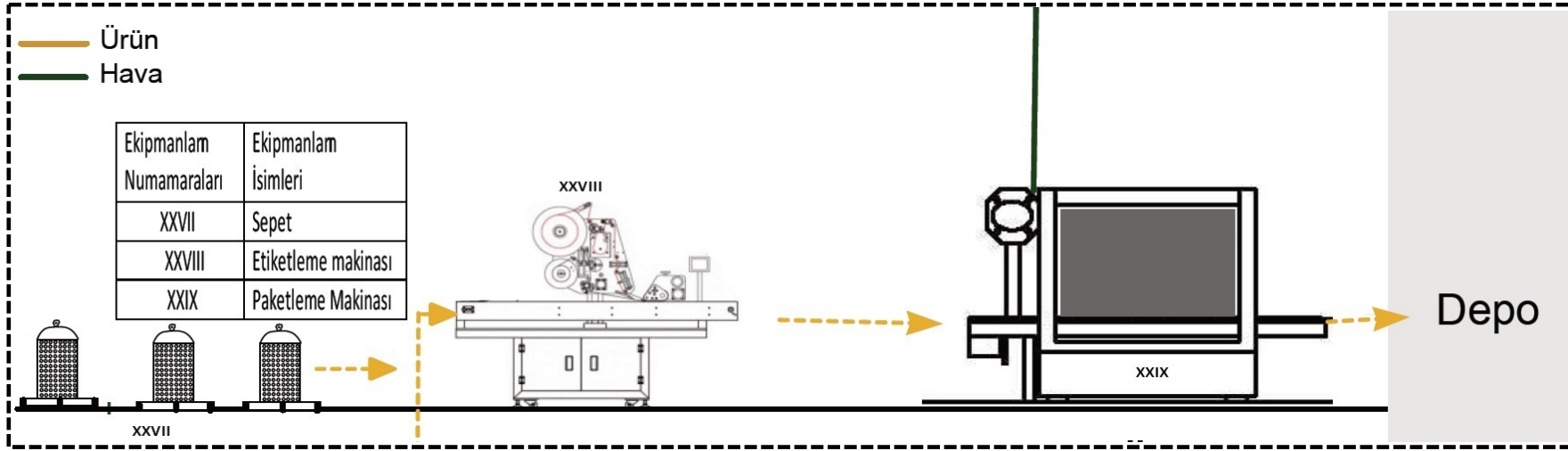
Pastörizasyona giren ve çıkan kütle, iş, enerji, ekserji, ekserji yok oluşu, ekserji verimi ve çevreye olan ısı geçişi (3.1), (3.2), (3.3), (3.4), (3.5), (3.6), (3.7) ve (3.8) denklemlerine göre hesaplanır.

3.4. Etiketleme ve Paketleme Ünitesi

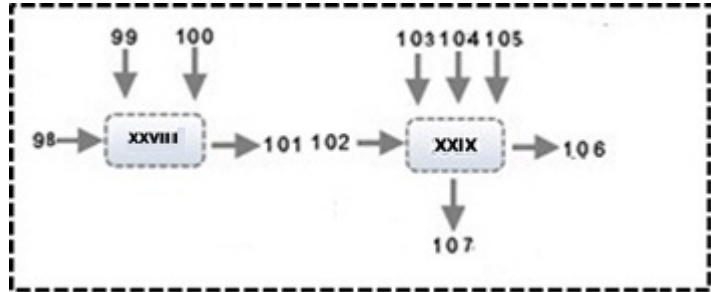
Meyve suyu ve marmelat ünitesinden çıkan mamuller önce etiketleme makinasına daha sonra ambalajlanmak üzere paketleme ünitesine gönderilir. Bu işlem basamakları aşağıda ayrıntılı olarak verilmiştir.

3.4.1. Etiketleme

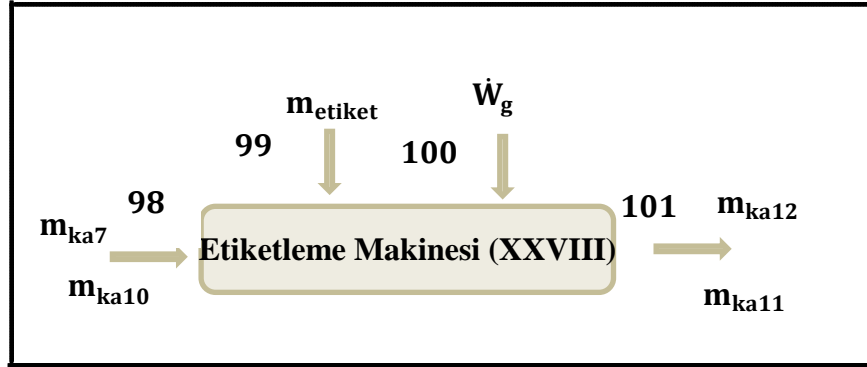
Sepetlere dizilen meyve suyu veya marmelatlar sırasıyla önce etiket makinasına dizilerek etiketlenir ve son kullanma tarihi kapağın üzerine vurulur. Daha sonra kavanozlar için güvenlik bandrolü takılarak 200°C fırına verilir. Fırına giriş ve çıkıştaki zaman süresi 10 sn'dir. Buradan çıkan kavanozlar veya fırına girmeyen şişeler paketlenmek üzere sillinke gönderilir. Etiketleme ünitesindeki ekipmanların şematik görünümü Şekil 3.34 de ve kullanılan ekipmanların akım şeması ise Şekil 3.35 de gösterilmiştir. Etiketleme makinesine giren ve çıkan akımların analizi Şekil 3.36 da verilmiştir.



Şekil 3.34. Etiketleme ve paketleme ünitesindeki ekipmanların şematik görünümü



Şekil 3.35. Etiketleme ve paketleme ünitesindeki ekipmanların akım şeması

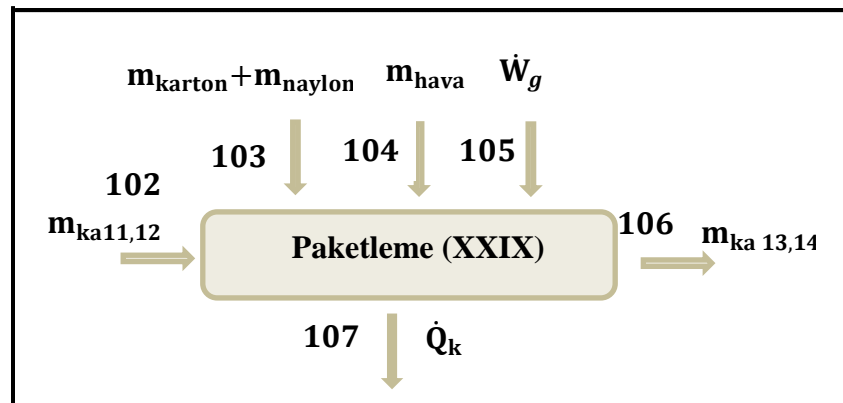


Şekil 3.36. Etiketlenmeye giren ve çıkan akımların analizi

Etiketlemeye giren ve çıkan kütle, iş, enerji, ekserji, ekserji yok oluşu, ve ekserji verimi (3.1), (3.2), (3.3), (3.4), (3.5), (3.6), ve (3.7) denklemlerine göre hesaplanır.

3.4.2. Paketleme

Paketlenmek üzere silinke gelen şişeler 24 adet veya 12 adet kavanoz olacak şekilde alt kısmına naylon, onun üzerine karton kutu ve şişelerin üzerine naylon kaplamak suretiyle 6 bar hava kullanarak 400°C de paketleme yapılır. Paketleme yaklaşık olarak 30 sn olarak sürmektedir. Paketlenen meyve suları veya marmelatlar palet üzerine düzgün bir şekilde dizilerek son ürün deposuna gönderilir. Paketlenmeye giren ve çıkan akımların analizi Şekil 3.37 de verilmiştir.



Şekil 3.37. Paketlemeye giren ve çıkan akımların analizi

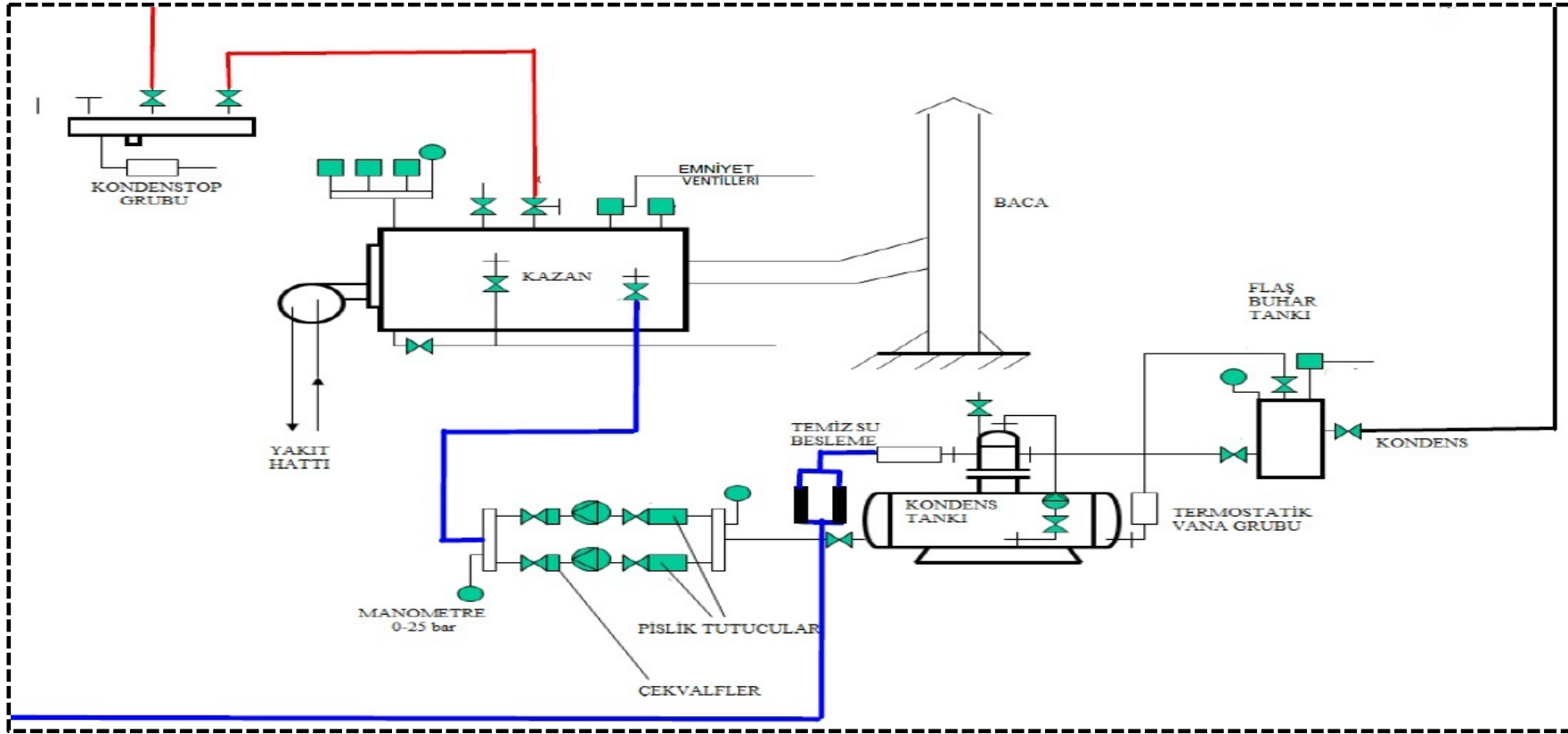
Paketlemeye giren ve çıkan kütle, iş, enerji, ekserji, ekserji yok oluşu, ekserji verimi, çevreye olan ısı geçişi ve dolunda kullanılan havanın ekserjisi (3.1), (3.2), (3.3), (3.4), (3.5), (3.6), (3.7), (3.8) ve (3.21) denklemlerine göre hesaplanır.

3.5. Enerji Üretim Ünitesi

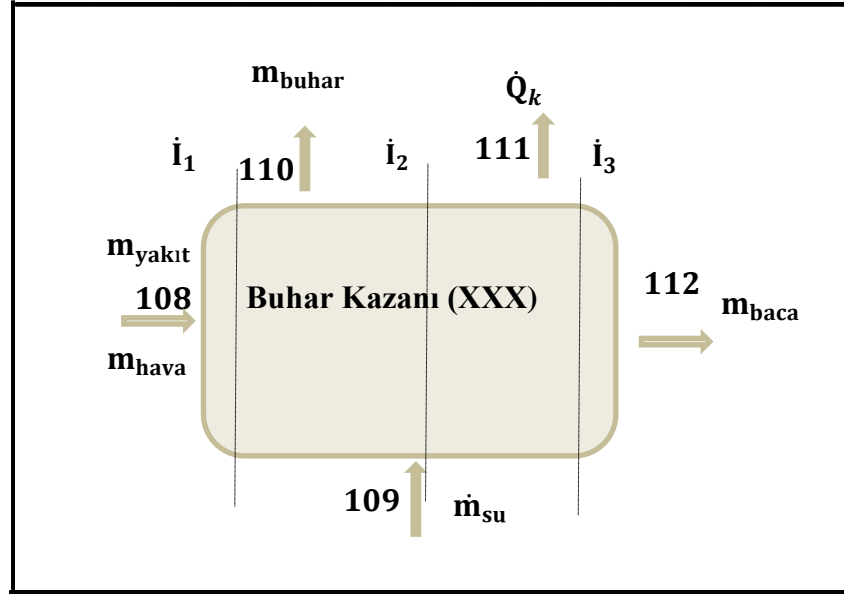
Fabrikada üretilen ürünün işleme aşamalarında buhar, hava ve su kullanılmaktadır. Buhar, etiketleme ve paketleme ünitesi haricinde diğer bütün ünitelerin tamamında kullanılmaktadır. Su, tesisin tamamında kullanılmaktadır. Kullanılan su kuyudan pompa ile çekilerek sisteme verilir. Hava ise şişe dolun ve paketleme ünitesinde kullanılmaktadır. Tesiste ki üretim hatlarının enerji ve ekserji analizi detaylı olarak aşağıda açıklanmıştır.

3.5.1. Kazan için enerji ve ekserji analizi

Fabrikanın buhar ihtiyacını anma ısı gücü 1815 kW ve buhar üretim kapasitesi saatte 2600 kg olan maksimum 8 bar işletme basıncında, 175°C de çalışan kazan kullanılmaktadır. İşletmenin ihtiyacı olan buhar basıncı 5 bar, 152°C'dir. Kazanın su kapasitesi 4450'kg dır. Kazanın duman gazı çıkışı 4 bar'dır. Kazana bağlı brulör saatte tam kapasite yakıt olarak 159 kg fueloil yakmaktadır. Kazan %67 kapasite ile çalışmakta olup 106 kg/h yakıt yakmaktadır. Kazan 1 günde (10 saat) 120 dakika çalışmaktadır. Kazan 4,5 bar ile 5 bar arası çalışmaktadır. Kazan ilk defa çalıştırıldığında 40 dakika çalışarak 5 bar da buhar üretip durmaktadır. Daha sonra yaklaşık 30 dakikada bir 5 dakika çalışmaktadır. Kazanın şematik görünümü Şekil 3.38 de gösterilmiştir. Buhar kazanına giren - çıkan kütle ve enerji akımları Şekil 3.39 da gösterilmiştir.



Şekil 3.38. Buhar üretim ünitesinin şematik görünümü



Şekil 3.39. Buhar kazanına giren ve çıkan akımların analizi.

Buhar kazanına giren çıkan toplam kütle denklem (3.22)'ye göre hesaplanır.

$$m_{\text{yakıt}} + m_{\text{hava}} + m_{\text{su}} = m_{\text{buhar}} + m_{\text{baca}} \quad (3.22)$$

Kazana giren-çıkan akımların enerjileri denklem (3.23)'e göre hesaplanır.

$$\sum_g \dot{m}_{\text{yakıt}} c_{\text{yakıt}} T_{\text{yakıt}} + \sum_g \dot{m}_{\text{hava}} h_{\text{hava}} + \sum_g \dot{m}_{\text{su}} h_{\text{su}} = \sum_{\text{ç}} \dot{m}_{\text{buhar}} h_{\text{buhar}} + \dot{m}_{\text{baca}} c_{\text{baca}} T_{\text{baca}} + \dot{Q}_k \quad (3.23)$$

Yakıt ve havanın kazana T_0 , P_0 koşullarda girdiği kabul edilerek, enerji denklemi (3.24)'e göre yazılır.

$$\dot{E}_{108} = \dot{E}_{\text{yak.}} = \Delta \dot{E}_{\text{su}} + E_b + \dot{E}_k \quad (3.24)$$

Burada \dot{E}_y yakıt enerjisi olup yakıtın alt ısıl değeri olarak ifade edilir ve denklem (3.25) ile hesaplanır.

$$\dot{E}_{108} = \dot{m}_{yak} \cdot Hu \quad (3.25)$$

Kazanda suya aktarılan enerji denklem (3.26)'ya göre hesaplanır.

$$\begin{aligned} \Delta \dot{E}_{su} &= \dot{m}_{su} (h_{\zeta, su} - h_{g, su}) \\ \Delta \dot{E}_{su} &= \dot{m}_{su} C_p (T_{\zeta, su} - T_{g, su}) \end{aligned} \quad (3.26)$$

Baca gazları ile dışarı atılan enerji; denklem (3.27)'e göre hesaplanır.

$$\Delta \dot{E}_{ba.} = \dot{E}_{112} = \sum_{i=1}^N \dot{n}_i \bar{c}_{p,i} \dot{m}_{su} C_p (T_{ba.} - T_0) \quad (3.27)$$

Yanma gazlarının ideal gaz olduğu kabul edilerek özgül ısıları sıcaklığın fonksiyonu olarak kütle ve mol biriminde hesaplanmaktadır. Yanma gazlarının karışımında, ideal gazların karışımından oluştuğu kabul edilerek kütle biriminde özgül ısı c_p değeri denklem (3.28)'e göre hesaplanır.

$$c_p = y_{CO_2} c_{PCO_2} + y_{H_2O} c_{PH_2O} + y_{SO_2} c_{PSO_2} + y_{O_2} c_{PO_2} + y_{N_2} c_{PN_2} \quad \text{kJ/kg} \quad (3.28)$$

Benzer şekilde Molar özgül ısı değeri denklem (3.29)'a göre hesaplanır.

$$\bar{c}_p = y_{CO_2} \bar{c}_{PCO_2} + y_{H_2O} \bar{c}_{PH_2O} + y_{SO_2} \bar{c}_{PSO_2} + y_{O_2} \bar{c}_{PO_2} + y_{N_2} \bar{c}_{PN_2} \quad \text{kJ/kmol} \quad (3.29)$$

Ayrıca $\dot{E}_K = \dot{Q}_K$ olup kazan yüzeylerden çevreye olan ısı kayıplarını göstermektedir. Genellikle %0.5-1 civarında bir değer alınmaktadır (Akkaya 1995; Zabielskiene 2002). Kazan dairesi kayıpları 13 kW olarak hesaplanmıştır. Bu bağıntılardan hareketle suyun debisi; denklem (3.30)'e göre hesaplanır (Kotas 1995; Rosen 1999).

$$\dot{m}_{109} = \frac{\dot{m}_y Hu - \sum_{i=1}^N \dot{n}_i \bar{C}_{p,i} \dot{m}_{su} C_p (T_b - T_0) - \dot{Q}_k}{h_{su,\zeta} - h_{su,g}} \quad (3.30)$$

Yakıt ve hava kazana T_0 , P_0 koşullarda girdiği kabul edilerek, ekserji denklemi denklem (3.31)'e göre hesaplanır (Kotas 1995).

$$\dot{E}_{x,yak.} = (\dot{E}_{x,su,\zeta} - \dot{E}_{x,su,g}) + \dot{E}_{x,k} + \dot{E}_{x,ba.} + \sum_i I_i \quad (3.31)$$

Burada birinci terim yakıt enerjisini, parantez içerisindeki terim suyu aktarılan ekserjiyi, üçüncü terim kazan yüzeylerinden olan ekserji kayıplarını, dördüncü terim baca gazları ile dışarı atılan ekserjiyi ve beşinci terim ise kazanda oluşan toplam tersinmezlikleri ifade etmektedir. Bu terimler aşağıda açıklanmıştır.

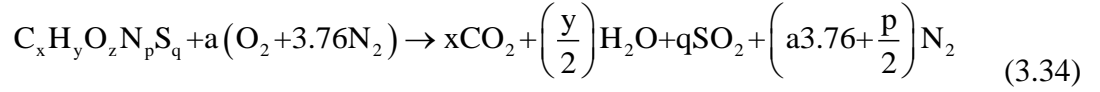
Yakıt enerjisi $\dot{E}_{x,yak.}$ denklem (3.32)'ye göre hesaplanır.

$$\dot{E}_{x,108} = \dot{E}_{x,yak.} = \dot{m}_y \Phi Hu \quad (3.32)$$

Hu yakıtın alt ısı değeri (kJ/kg), Φ ise yakıt enerjisinin alt ısı değere oranıdır. Bu değer, yakıtların kimyasal bileşimlerinden hesaplanır. Sıvı yakıtlar için kimyasal ekserji oranı Φ_{sivi} ise kükürdün etkisinde dikkate alınarak aşağıdaki denklem (3.33)'e göre hesaplanır.

$$\Phi_{sivi} = 1,0401 + 0,1728 \frac{h}{c} + 0,0432 \frac{o}{c} + 0,2169 \frac{s}{c} (1 - 2,0628 \frac{h}{c}) \quad (3.33)$$

Denklem (3.34)'e göre c , h , o , n , s , sırasıyla yakıt içindeki karbon, hidrojen, oksijen, azot ve kükürt 'ün kütle oranlarını göstermektedir. Bu değerleri bulabilmek için aşağıdaki (3.35) denklemi yazılarak (3.36)'daki denklemlerdeki değerler hesaplanır (Çomaklı 2003).



Teorik hava miktarını (a), oksijen dengesinden bulmak için (3.35) deki denklem kullanılır.

$$a = x + q + \frac{y}{4} - \frac{z}{2} \quad (3.35)$$

100 kg yakıt için;

$$x = \frac{100}{12}c$$

$$y = \frac{100}{1}h$$

$$z = \frac{100}{16}o \quad (3.36)$$

$$p = \frac{100}{14}n$$

$$q = \frac{100}{32}s$$

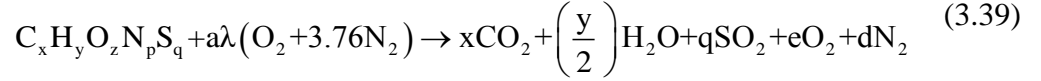
Denklem (3.36)'daki değerleri denklem (3.37) de yerine yazılırsa 100 kg yakıt için teorik hava miktarları denklem (3.38) ile bulunur.

$$a = 25\left(\frac{c}{3} + \frac{s}{8} + h - \frac{o}{8}\right) \text{ kg}/100\text{kg}_{\text{yak.}} \quad (3.37)$$

Stokiyometrik yanma sonucunda oluşan duman miktarı ise denklem (3.38)'e göre hesaplanır.

$$V_{\text{Duman}} = 25\left(\frac{4.76c}{3} + 5.76h + \frac{4.76s}{8} + \frac{n}{14} - 0.94o\right) \text{ kg}/100\text{kg}_y \quad (3.38)$$

Yanmanın fazla hava ile ($\lambda > 1$) olması durumunda denklem (3.39) kullanılır.



Yanmanın fazla hava ile olması durumunda yanma gazları içindeki oksijen miktarı e, denklem (3.40)'a göre hesaplanır.

$$e = 25(\lambda - 1) \left(\frac{c}{3} + \frac{s}{8} + h - \frac{o}{8} \right) \text{ kg/100kg}_y \quad (3.40)$$

Azot miktarı d, denklem (3.41)'e göre hesaplanır.

$$d = 94\lambda \left(\frac{c}{3} + \frac{s}{8} + h - \frac{o}{8} + \frac{n}{\lambda 52.64} \right) \text{ kg/100kg}_y \quad (3.41)$$

Duman gazı miktarı V_{DF} ise, denklem (3.42) veya (3.43) de göre hesaplanır.

$$V_{DF} = x + (y/2) + q + e + d \text{ kg/100kg}_y \quad (3.42)$$

$$V_{DF} = 25 \left[0.1983\lambda(8c + 3s + 24h + 3o) + h - (o/8) + (n/14) \right] \text{ kg/100kg}_y \quad (3.43)$$

Kütlesel duman gazı miktarı V_{KDF} , denklem (3.44)'e göre hesaplanır.

$$V_{KDF} = 44x + 18(y/2) + 64q + 32e + 28d \text{ kg/100kg}_y \quad (3.44)$$

Duman gazını oluşturan gazların hacimsel oranları (3.45) deki denklemlere göre hesaplanır

$$\begin{aligned}
\text{Karbondioksit oranı:} & \quad X_{\text{CO}_2} = \frac{x}{V_{\text{DF}}} \\
\text{Su buharı oranı:} & \quad X_{\text{H}_2\text{O}} = \frac{y}{2V_{\text{DF}}} \\
\text{Kükürtdioksit oranı:} & \quad X_{\text{SO}_2} = \frac{q}{V_{\text{DF}}} \\
\text{Oksijen oranı:} & \quad X_{\text{O}_2} = \frac{c}{V_{\text{DF}}} \\
\text{Azot oranı:} & \quad X_{\text{N}_2} = \frac{d}{V_{\text{DF}}}
\end{aligned} \tag{3.45}$$

Duman gazını oluşturan gazların kütleli oranları (3.46)'daki denklemlere göre hesaplanır

$$\begin{aligned}
\text{Karbondioksit oranı:} & \quad y_{\text{CO}_2} = \frac{44x}{V_{\text{KDF}}} \\
\text{Su buharı oranı:} & \quad y_{\text{H}_2\text{O}} = \frac{18y}{2V_{\text{KDF}}} \\
\text{Kükürtdioksit oranı:} & \quad y_{\text{SO}_2} = \frac{64q}{V_{\text{KDF}}} \\
\text{Oksijen oranı:} & \quad y_{\text{O}_2} = \frac{32c}{V_{\text{KDF}}} \\
\text{Azot oranı:} & \quad y_{\text{N}_2} = \frac{28d}{V_{\text{KDF}}}
\end{aligned} \tag{3.46}$$

Kazan yüzeylerinden olan ekserji kayıpları $\dot{E}_{x,k}$;

Kazan yüzeylerinden olan ekserji kayıpları, sadece kazan yüzeylerinden kaybolan ısı ile meydana gelmektedir. Denklem (3.13) den hareketle kazan yüzeylerinden olan ekserji kayıpları; denklem (3.47)'ye göre hesaplanır.

$$\dot{E}_{x,k} = \dot{Q}_k \left(1 - \frac{T_0}{T_y} \right) \quad (3.47)$$

Bağıntısı ile hesaplanır. Burada \dot{Q}_k kazan yüzeylerin çevreye olan ısı kayıplarını göstermektedir. Burada T_y kazan yüzey sıcaklığını göstermektedir.

Baca gazı ekserjisi $\dot{E}_{x,ba}$:

Baca gazı ekserjisi, iki bileşenden oluşur. Bunlar, kimyasal ve fiziksel ekserjidir. Baca gazı birkaç gazın karışımından oluşur. Baca gazı bileşenlerinin ideal gaz olduğu ve bu nedenle karışımında ideal gaz karışımı kabulü ile karışımın kimyasal ve fiziksel ekserjisi denklem (3.48) ile hesaplanır.

$$\dot{E}_{X,ba} = \dot{E}_{X,kim} + \dot{E}_{X,fiz} \quad (3.48)$$

Aşağıdaki denklemler (3.49), (3.50), (3.51) ve (3.52) kullanılarak (3.48) deki denklem yeniden düzenlenerek denklem (3.53) deki denklem elde edilir.

$$\dot{E}_{X,kim} = \dot{n}_t \varepsilon^0 \quad (3.49)$$

$$\varepsilon^0 = \sum_k x_k \varepsilon_k^0 + RT_0 \sum_k x_k \ln x_k \quad (3.50)$$

$$\dot{E}_{X,fiz} = \sum_k \dot{n}_k \varepsilon_{fiz.,k} \quad (3.51)$$

$$\sum_k \dot{n}_k \varepsilon_{fiz.,k} = (T_{ba} - T_0) \sum_k \dot{n}_k c_{p.küt}^e \quad (3.52)$$

$$\dot{E}_{x, \text{ buhar}} = \dot{n}_T \sum_k \dot{n}_k \varepsilon_k^0 + RT_0 \sum_k x_k \ln x_k + (T_B - T_0) \sum_k \dot{n}_k c_{p, kb}^{\varepsilon} \quad (3.53)$$

$$c_p^{\varepsilon} = \frac{1}{(T-T_0)} \left[(T-T_0) c_p^h - T_0 \ln \frac{T}{T_0} c_p^s \right] \quad (3.54)$$

Denklem (3.55)'e göre c_p^h , entalpi değişiminden kaynaklanan sabit basınçta ortalama molar ısı kapasitesi; c_p^s , entropi değişiminden kaynaklanan sabit basınçta ortalama molar ısı kapasitesi olup aşağıdaki denklem (3.56)'ya göre hesaplanır.

$$c_p^h = \left[\frac{h-h_0}{T-T_0} \right] = \frac{1}{(T-T_0)} \int_{T_0}^T \bar{c}_p dT \quad (3.55)$$

$$c_p^h = \frac{1}{(T-T_0)} \left[a(T-T_0) + \frac{b}{2} (T^2 - T_0^2) + \frac{c}{3} (T^3 - T_0^3) + \frac{d}{4} (T^4 - T_0^4) \right] \quad (3.56)$$

$$c_p^s = \left[\frac{s-s_0}{\ln(T-T_0)} \right] = \frac{1}{\ln(T-T_0)} \int_{T_0}^T \frac{\bar{c}_p dT}{\ln T} \quad (3.57)$$

$$c_p^s = \frac{1}{\ln(T-T_0)} \left[a \ln \frac{T}{T_0} + b(T-T_0) + \frac{c}{2} (T^2 - T_0^2) + \frac{d}{3} (T^3 - T_0^3) \right] \quad (3.58)$$

(3.56) ve (3.58) denklemleri (3.54) denkleminde yerine yazılırsa denklem (3.59) elde edilmiş olunur.

$$c_p^{\varepsilon} = \frac{1}{(T-T_0)} \left[(a-b T_0)(T-T_0) + \frac{(b-c T_0)}{2} (T^2 - T_0^2) + \frac{(c-T_0 d)}{3} (T^3 - T_0^3) + \frac{d}{4} (T^4 - T_0^4) - a T_0 \ln \frac{T}{T_0} \right] \quad (3.59)$$

Kızgın suyun ekserjisi ($\dot{E}_{x \text{ su}, \text{ ç}} - \dot{E}_{x \text{ su}, \text{ g}}$)

Kızgın suyun ekserjisi, sıvıların ekserji değişiminden denklem (3.60)'a göre hesaplanır.

$$\dot{E}_{x\text{ su},\zeta} - \dot{E}_{x\text{ su},g} = \dot{m}_{\text{su}} [(h_{\text{su},\zeta} - h_{\text{su},g}) - T_0 (s_{\text{su},\zeta} - s_{\text{su},g})] = \dot{m}_{\text{su}} [C_p (T_{\text{su},\zeta} - T_{\text{su},g}) - T_0 C_p \ln \frac{T_{\text{su},\zeta}}{T_{\text{su},g}}] \quad (3.60)$$

Kazandaki toplam tersinmezlikler denklem (3.61)'e göre (3.58) den yararlanılarak hesaplanır.

$$\dot{I}_T = \dot{I}_1 + \dot{I}_2 + \dot{E}_{x\text{ ba.}} + \dot{E}_{x\text{ k}} \quad (3.61)$$

$$\dot{I}_T = \dot{m}_y \phi Hu - \dot{m}_{\text{su}} c_p [(T_{\text{su},\zeta} - T_{\text{su},g}) - T_0 \ln \frac{T_{\text{su},\zeta}}{T_{\text{su},g}}] \quad (3.62)$$

Kazanın enerji verimi deklemler (3.63)'e göre hesaplanır.

$$\eta = \frac{\dot{m}_{\text{su}} (h_{\text{su},\zeta} - h_{\text{su},g})}{\dot{m}_{\text{yak.}} Hu} \quad (3.63)$$

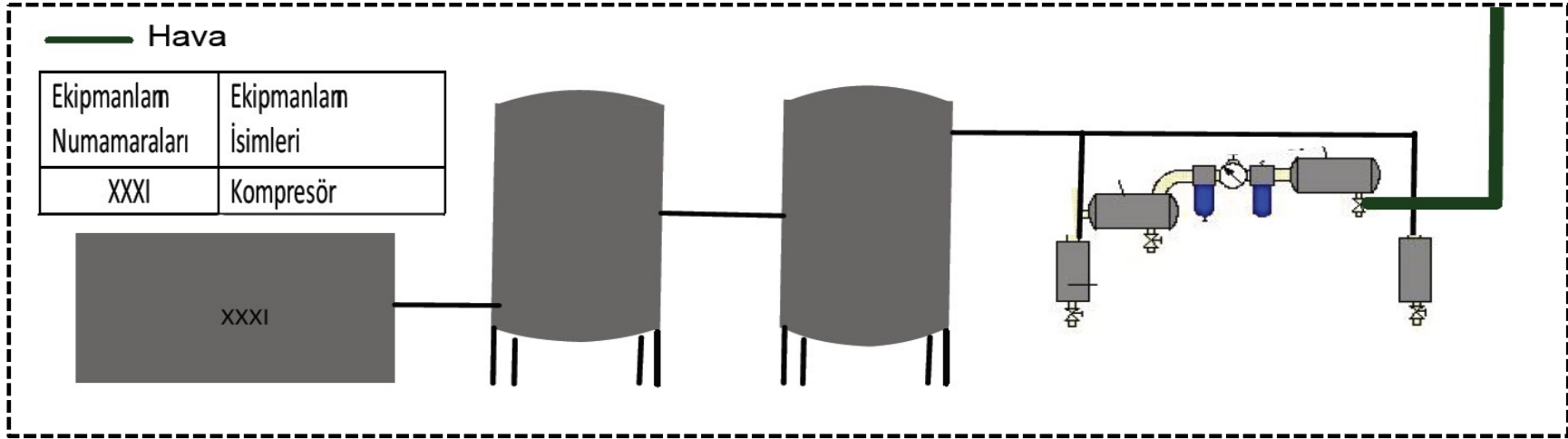
Kazanın ekserji verimi deklemler (3.64)'e göre hesaplanır (Çomaklı 2003).

$$\varepsilon = \frac{\dot{E}_{x\text{ su},\zeta} - \dot{E}_{x\text{ su},g}}{\dot{E}_{x\text{ yak.}}} = 1 - \frac{\dot{I}_T}{\dot{E}_{x\text{ yak.}}} \quad (3.64)$$

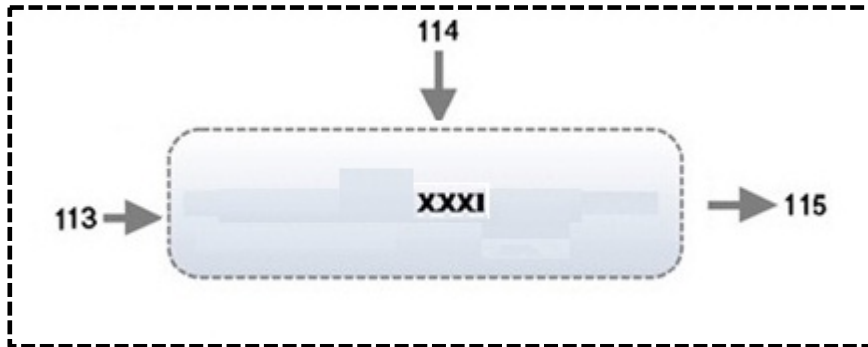
3.5.2. Hava üretimi için kompresörde enerji ve ekserji analizi

Tesisteki kompresörün enerji ve ekserjisi hesaplanırken kompresör izantropik olarak çalıştığı kabul edilir. Böylece kompresörün yapmış olduğu veya üretmiş olduğu iş girişi ve çıkışı sıcaklığındaki havanın basınç ve sıcaklığının hesaplanmasıyla kompresörün enerji ve ekserji değerleri bulunur. Hava üretimi 1 atmosfer basınç altında 20°C de emiş yaptığı kompresör 8 bara kadar izantropik olarak sıkıştırılmasıyla sistemdeki tanklara

hava verilir. Tanklara gelen yüksek basınçtaki hava burada depolanarak ihtiyaç halinde sistemdeki basınç düşürücüde havanın içinde bulunan su alınarak ekipmanlarda kullanılır. Hava üretim ünitesinde bulunan ekipmanlar Şekil 3.40 da gösterilmiştir. Bu ekipmanlara giren-çıkan akımlar Şekil 3.41 de verilmiştir.

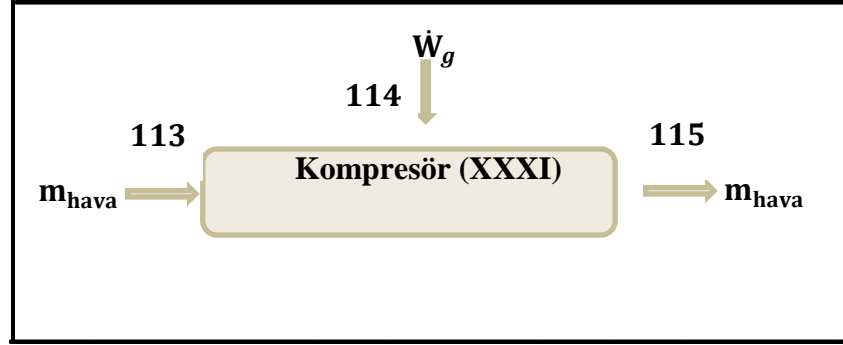


Şekil 3.40. Hava üretim ünitesinin şematik görünümü



Şekil 3.41. Hava üretim ünitesinin akım şeması

Kompresör 37 Kw gücünde olup 16 bar'a kadar hava üretebilmektedir. Hava çıkışı 11/2" lik boru ile tanka gönderilmektedir. İşletmede 6-8 bar arası hava kullanılmaktadır. Kullanılan havanın kompresör çıkışı 5,93 m³/dakika'dır. Kompresöre giren – çıkan kütle ve enerji akımları Şekil 3.42 de verilmiştir.



Şekil 3.42. Kompresöre giren ve çıkan akımların analizi

Kompresör için termodinamiğin I. kanuna göre giren kütle çıkan kütleye eşit olduğu denklem (3.67) de yazılmıştır.

$$m_{g,hava} = m_{ç,hava} \quad (3.65)$$

Enerji denklemi kompresör için düzenlenirse giren hava çıkan hava ya eşit olacaktır. Havanın sıcaklığı 20°C olarak aldığımızda, çevre sıcaklığı da 20°C olduğundan havanın enerji ve ekserjisi 0 olacaktır. Kompresörün enerji ve ekserjisi ise giren elektrik enerjisine eşit olacaktır. Kompresörün gerçek gücünü, ekserji yok oluşunu ve verimi aşağıdaki denklem 3.66, 3.67 ve 3.68 den hesaplanabilir (Hepbaşlı, 2007).

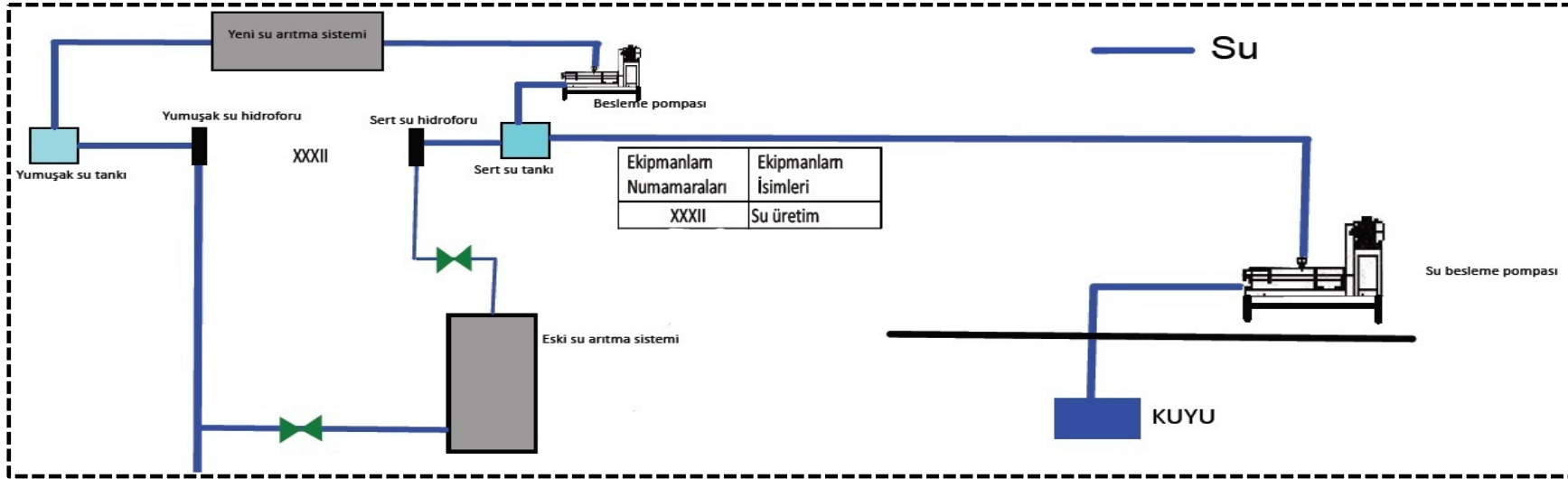
$$\dot{W}_{\text{Kompresör, elektrik}} = \frac{\dot{W}_{\text{Kompresör}}}{\eta_{\text{Kompresör,elektrik}} \eta_{\text{Kompresör, mekanik}}} \quad (3.66)$$

$$\dot{E}x_{\text{yok,Kompresör}} = \dot{E}x_{113} - \dot{E}x_{115} + \dot{W}_{\text{Kompresör,elektrik}} \quad (3.67)$$

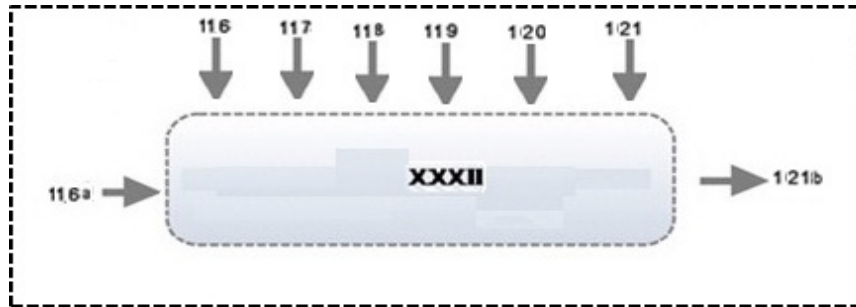
$$\varepsilon = \frac{\dot{E}x_{\text{giren}} - \dot{E}x_{\text{yok,Kompresör}}}{\dot{W}_{\text{Kompresör,elektrik}}} \quad (3.68)$$

3.5.3. Su üretimi için pompalarda enerji ve ekserji analizi

Fabrikadaki kullanılan suyun tamamı pompa ile kuyudan çekilerek temin edilmektedir. Elde edilen su sert su tankına gönderilir. Tanka gelen su arıtma sistemine aktarılır. Arıtma sistemine giren su arıtma sisteminden yumuşak su olarak çıkar ve yumuşak su tankına girer. Yumuşak ve sert su tanklarında bulunan 2 adet şamandıra ile sistemde sürekli olarak pompalar ve hidroforlar düzenli olarak su ihtiyacını karşılarlar. Yumuşak su tankına bağlı hidroforlar suyun basıncı 16 bara kadar yükseltilerek tesiste gerekli olan su ihtiyacı karşılanır. Tesisteki Su üretim ünitesindeki ekipmanlar Şekil 3.43 de verilmiştir. Bu ekipmanların akım şeması Şekil 3.44 de gösterilmiştir.

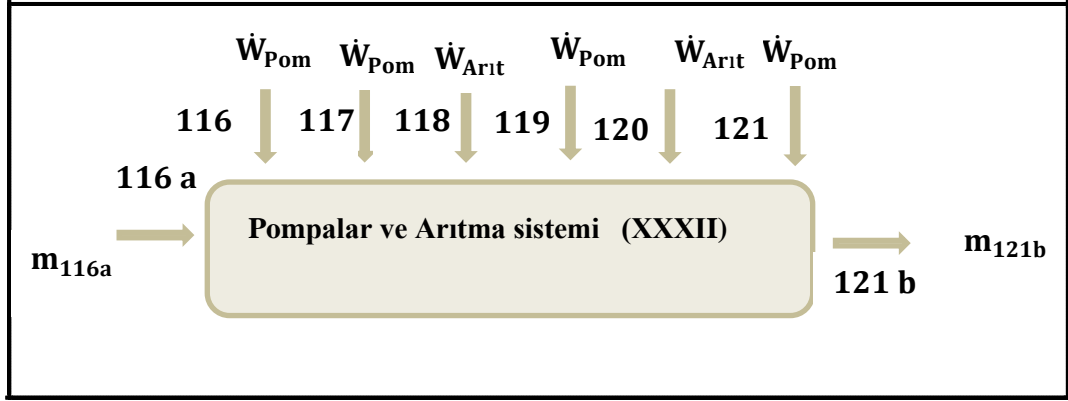


Şekil 3.43. Su üretim ünitesinin şematik görünümü



Şekil 3.44. Su üretim ünitesinin akım şeması

Pompalar ile su arıtma sistemlerine giren ve çıkan akımların analizi Şekil 3.45 de verilmiştir.



Şekil 3.45. Pompalar ile su arıtma sistemine giren ve çıkan akımların analizi.

$$m_g = m_\zeta \quad (3.69)$$

$$\dot{E}_{x,g} = (\dot{E}_{x,116} + \dot{E}_{x,116} + \dot{E}_{x,117} + \dot{E}_{x,118} + \dot{E}_{x,119} + \dot{E}_{x,120} + \dot{E}_{x,121}) \quad (3.70)$$

$$\dot{E}_{x,\zeta} = \dot{E}_{x,120b} \quad (3.71)$$

$$\dot{E}_{x,yok_XXXII} = \sum (\dot{E}_{x,g} - \dot{E}_{x,\zeta}) \quad (3.72)$$

$$\varepsilon = \frac{\dot{E}_{x,giren} - \dot{E}_{x,yok}}{\dot{E}_{x,giren}} \quad (3.73)$$

Pompalar ve arıtma sistemi ile ilgili tüm hesaplamalar için (3.9), (3.10), (3.11), (3.12), (3.13), (3.14), (3.15), (3.16), (3.17), (3.18), (3.19), (3.20), (3.69), (3.70), (3.71), (3.72) ve (3.73) denklemleri kullanılır.

4. ARAŞTIRMA BULGULARI

Bu çalışmada Gümüşhane Meyve Suyu Fabrikası'nın enerji ve ekserji analizi aşağıdaki kabuller yapılarak hesaplanmıştır. Bu analize göre fabrikaya ait her ünitenin enerji ve ekserji değerleri bulunmuştur. Ayrıca fabrikanın üretim ve enerji hattının genel çizimi EK 6. verilmiştir.

- 1) Meyve suyu fabrikasının kütle, enerji ve ekserji denklileri tesisin devamlı çalışması sırasında, sürekli akışlı açık sistem davranışı sergilediği kabul edilerek oluşturulmuştur.
- 2) Sistemde fabrikanın çevre sıcaklığı $T_0=20^{\circ}\text{C}$ olarak alınmıştır.
- 3) Sisteme giren suyun sıcaklığı 25°C olarak kabul edilmiştir. Meyveler, şeker ve asit (limon tuzu) 25°C de depoda muhafaza edilmektedir.
- 4) Sistemde dolaşan meyve suyu ve suyun akış ekserjileri; bu akımların sadece fiziksel ekserji taşıdığı varsayılarak hesaplanmıştır.
- 5) Tesisin ilk işlem ünitesi, şişe dolum ünitesi, marmalet dolum ünitesi ve paketleme ünitelerinde yer alan tüm ekipmanlar (pompalar, ısı değiştiriciler, tanklar ve kazanlar) romen rakamlarıyla etiketlenmiştir.
- 6) Pompaların giriş kısmına "a", çıkış kısmına "b" harfi eklenmiştir.
- 7) Tesiste bulunan her ekipmana giren ve çıkan kütle akımları numaralandırılmıştır.
- 8) Sistemdeki ekipmanlara iş ya da ısı transferi yapılıyorsa bu enerji akımlarına da numara verilerek denklemlerde belirtilmiştir.
- 9) Kazanda yanma tepkimesine giren yakıt ile yanma havasının ve yanma sonu oluşan baca gazlarının kimyasal ekserjileri hesaplamalara dahil edilmiştir.
- 10) Tesisteki bütün akışkanların aktarımı paslanmaz borularla yapılmaktadır ve bu borular süper yalıtımlı olduğu kabul edilmiştir.
- 11) Tesisteki bütün ekipmanların enerji ve ekserji analizleri tesisin 1 saat tükettiği enerji dikkate alınarak hesaplanmıştır.
- 12) Kuşburnu meyvesinin özgül ısı değerleri Çizelge 4.1' den alınmıştır (Yıldız ve Nergiz 1996).
- 13) Sıcaklığa göre kuşburnu meyvesinin özgül ısı değerleri Microsoft Excel

programında hesaplanmıştır (EKSİS 2014).

Çizelge 4.1. Kuşburnu meyvesinin özgül ısı değerleri

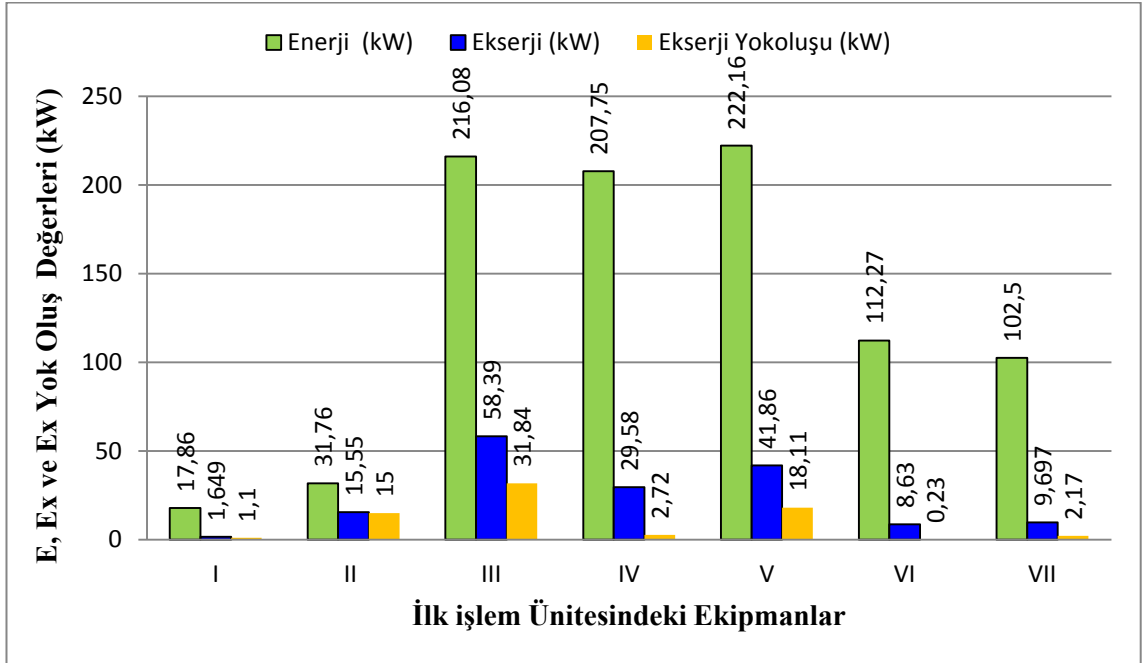
Üründeki protein yüzdesi(%)	10,03
Üründeki yağ yüzdesi(%)	2,19
Üründeki Karbonhidrat yüzdesi(%)	44,265
Üründeki selüloz(lif) yüzdesi(%)	2
Üründeki kül yüzdesi(%)	2
Üründeki su yüzdesi(%)	55,54

İlk işlem ünitesindeki her bir ekipmana ait enerji, ekserji, ekserji yok oluşu, enerji ve ekserji verim değerleri **EK 1**'den hesaplanarak Çizelge 4.2 de verilmiştir.

Çizelge 4.2. İlk işlem ünitesinin enerji ve ekserji analiz sonuçları

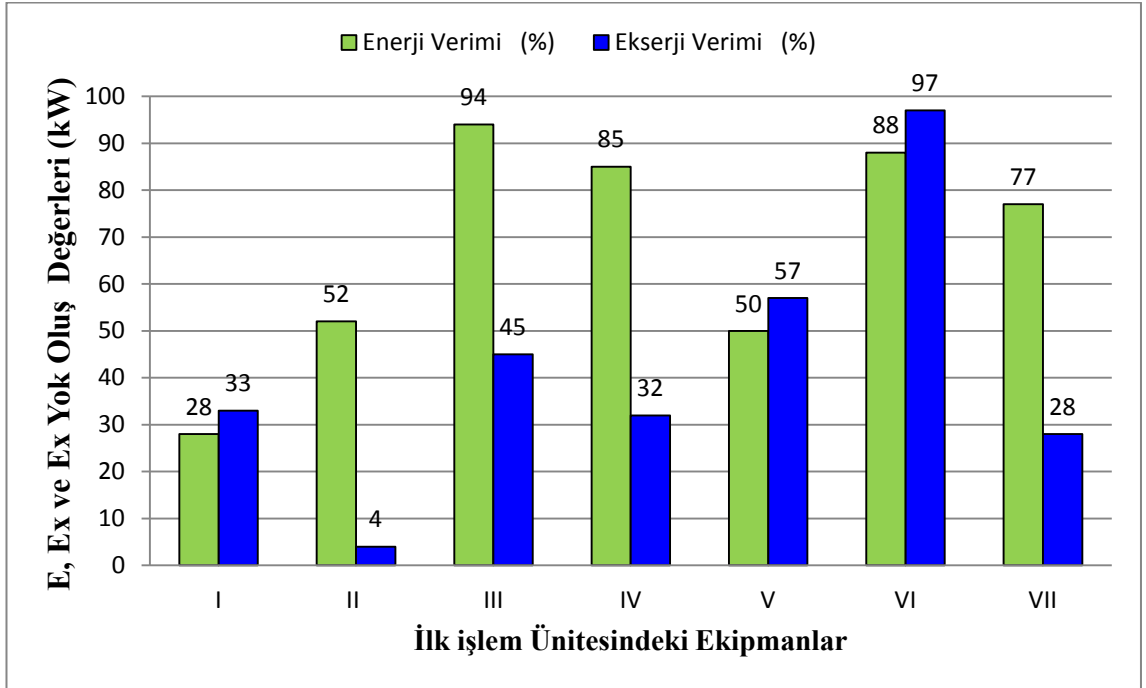
Ekipman Numaraları	Ekipman İsimleri	Enerji \dot{E} (kW)	Ekserji \dot{E}_x (kW)	Ekserji Yokoluşu (kW)	Enerji Verimi (%)	Ekserji Verimi (%)
I	Toplama Kabı	17,86	1,649	1,10	28	33
II	Kırıcı	31,76	15,55	15	52	04
III	Piştirme Tankı	216,08	58,39	31,84	94	45
IV	Pompa	207,75	29,58	2,72	85	32
V	Pulper	222,16	41,86	18,11	50	57
VI	Aktarma Tankı	112,27	8,63	0,23	88	97
VII	Pompa	102,50	9,697	2,17	77	28

İlk işlem ünitesindeki ekipmanların enerji giriş değerleri 17,86-222,16 kW, ekserji değerleri 1,649-58,39 kW ve ekserji yok oluş değerleri ise 0,23-31,84 kW arasında olup Şekil 4.1 de gösterilmiştir.



Şekil 4.1. İlk işlem ünitesindeki ekipmanların enerji, ekserji ve ekserji yok oluşu

İlk işlem ünitesinde yer alan ekipmanlara ait ekserji yok oluş değerleri Şekil 4.1 de gösterilmiştir. Buna göre en fazla ekserji yol oluş değeri 31,84 kW ile pişirme tankında, en az olduğu ekipman ise 0,23 kW ile aktarma tankında meydana gelmiştir. Enerji ve ekserji verim değerleri Şekil 4.2 de gösterilmiştir.



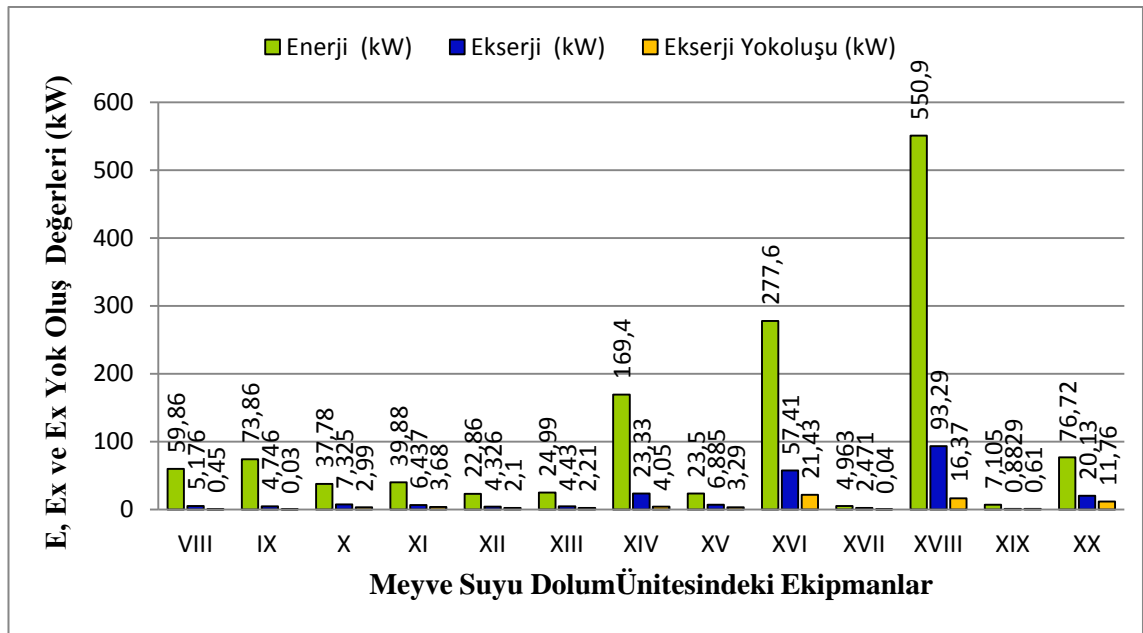
Şekil 4.2. İlk işlem ünitesindeki ekipmanların enerji ve ekserji verim değerleri

Enerji verimi en fazla %94 ile pişirme tankında, en az %28 ile toplama kabında oluşmuştur. Ekserji verimi ise en fazla %97 ile aktarma tankında, en az %4 ile kırıcıda oluşmuştur.

Çizelge 4.3. Meyve suyu dolun ünitesinin enerji ve ekserji analiz sonuçları

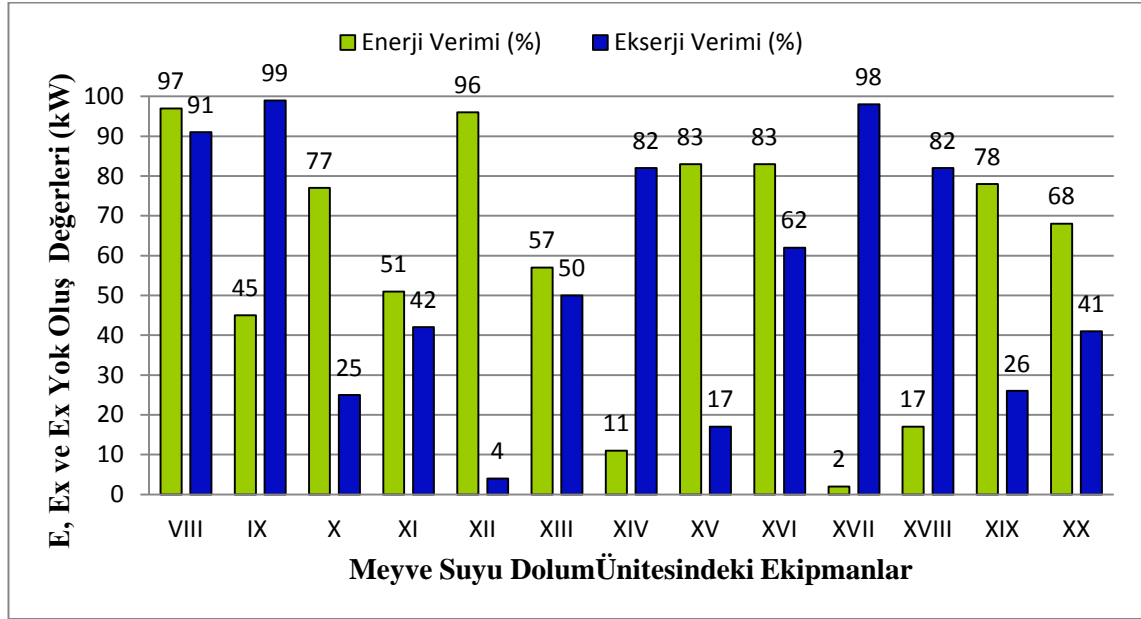
Ekipman Numaraları	Ekipman İsimleri	Enerji \dot{E} (kW)	Ekserji \dot{E}_x (kW)	Ekserji Yokoluşu (kW)	Enerji Verimi (%)	Ekserji Verimi (%)
VIII	Seperatör	59,86	5,176	0,45	97	91
IX	Aktarma Tankı	73,86	4,746	0,03	45	99
X	Balans T. B.P.	37,78	7,325	2,990	77	25
XI	Balans Tankı	39,88	6,437	3,68	51	42
XII	Ürün Besleme P.	22,86	4,326	2,10	96	04
XIII	Ürün Tankı	24,99	4,43	2,21	57	50
XIV	Besleme Tankı	169,4	23,33	4,05	11	82
XV	Meyve Suyu D.P.	23,5	6,885	3,29	83	17
XVI	I.Eşanjör	277,6	57,41	21,43	83	62
XVII	I.Eşanjör B.P.	4,963	2,471	0,04	02	98
XVIII	II.Eşanjör	550,9	93,29	16,37	17	82
XIX	Vakum Pompası	7,105	0,8829	0,61	78	26
XX	Dolum Makinası	76,72	20,13	11,76	68	41

Meyve suyu dolun ünitesindeki her bir ekipmana ait enerji, ekserji, ekserji yok oluşu, enerji ve ekserji verim değerleri EK 2.'den hesaplanarak Çizelge 4.3 de verilmiştir. Meyve suyu dolun ünitesindeki ekipmanların enerji giriş değerleri 7,105-277,6 kW, ekserji değerleri 0,8829-93,29 kW ve ekserji yok oluş değerleri ise 0,03-21,43 kW arasında olup Şekil 5.3 de gösterilmiştir.



Şekil 4.3. Meyve suyu dolun ünitesi ekipmanlarının enerji, ekserji ve ekserji yok oluşu

Meyve suyu dolun ünitesinde yer alan ekipmanlara ait ekserji yok oluş değerleri Şekil 4.3 de gösterilmiştir. Buna göre en fazla ekserji yok oluş değeri 21,43 kW ile I. eşanjörde meydana gelmektedir. En az ekserji yok oluşu ise 0,03 kW ile aktarma tankında meydana gelmiştir. Enerji ve ekserji verim değerleri Şekil 4.4 de gösterilmiştir.



Şekil 4.4. Meyve suyu dolum ünitesi ekipmanlarının enerji ve ekserji verimi

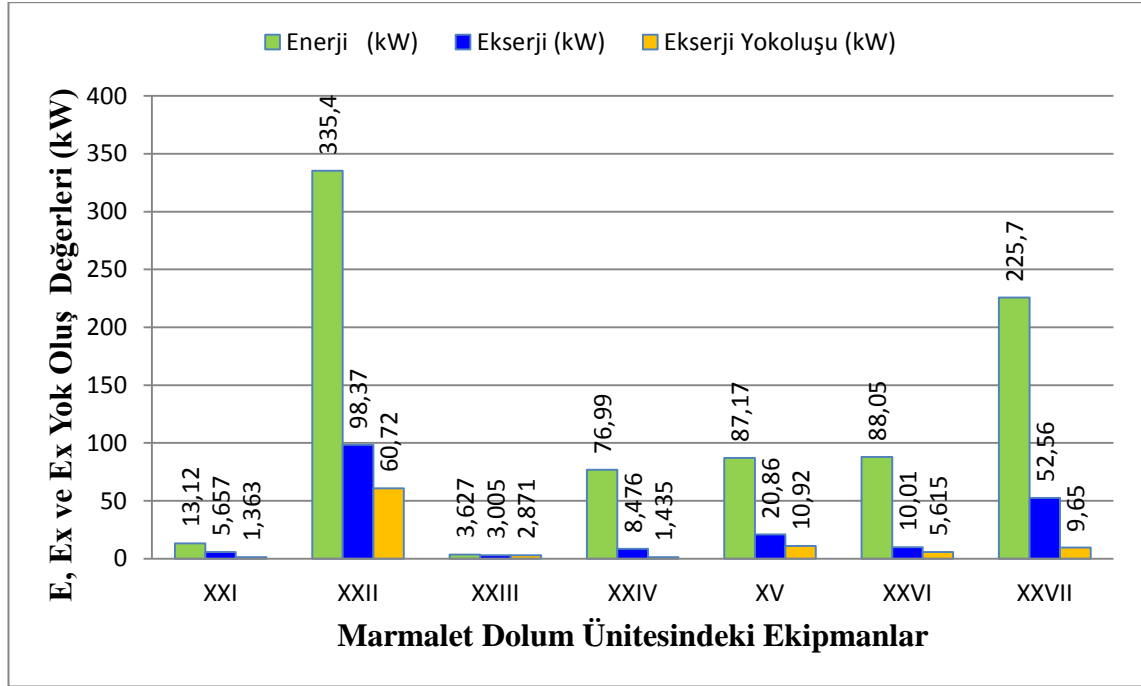
Enerji verimi en fazla %97 ile seperatör, en az %2 ile I. eşanjör besleme pompasında oluşmuştur. Ekserji verimi ise en fazla %99 ile aktarma tankında, en az %4 ile besleme pompasında oluşmuştur.

Marmelat dolum ünitesindeki her bir ekipmana ait enerji, ekserji, ekserji yok oluşu, enerji ve ekserji verim değerleri **EK 3'**den hesaplanarak Çizelge 4.4 de verilmiştir.

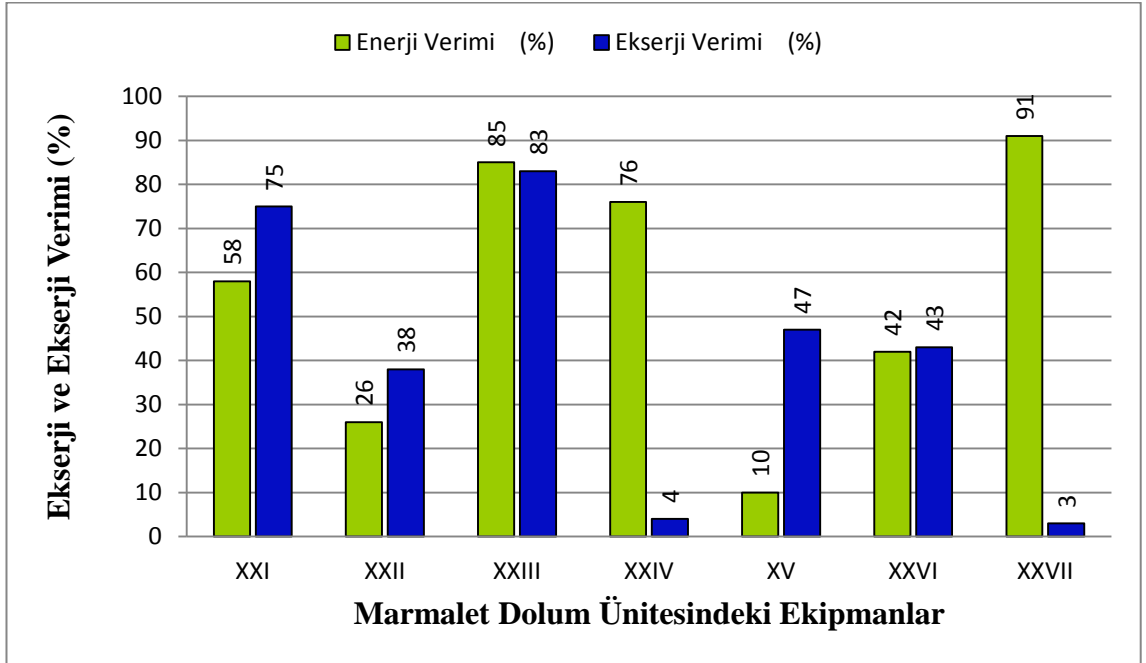
Çizelge 4.4. Marmelat dolum ünitesinin enerji ve ekserji analiz sonuçları

Ekipman Numaraları	Ekipman İsimleri	Enerji \dot{E} (kW)	Ekserji \dot{E}_x (kW)	Ekserji Yokoluşu (kW)	Enerji Verimi (%)	Ekserji Verimi (%)
XXI	Ürün Haz. T.	13,12	5,657	1,363	58	75
XXII	Pirişme ve Vak.	335,4	98,37	60,72	26	38
XXIII	Vakum Pompası	3,627	3,005	2,871	85	83
XXIV	Devirdaim Pom.	76,99	8,476	1,435	76	04
XV	Dolum ve Kapak	87,17	20,86	10,92	10	47
XXVI	Pastörüze Sepeti	88,05	10,01	5,615	42	43
XXVII	Pastörizasyon	225,7	52,56	9,65	91	03

Marmelat dolum ünitesindeki ekipmanların enerji giriş değerleri 3,627-335,4 kW, ekserji değerleri 3,005-98,37 kW ve ekserji yok oluş değerleri ise 1,363-60,72 kW arasında olup Şekil 4.5 de gösterilmiştir.



Şekil 4.5. Marmelat dolum ünitesindeki ekipmanların enerji, ekserji ve ekserji yok oluşu



Şekil 4.6. Marmaleet dolum ünitesindeki ekipmanların enerji ve ekserji verimi

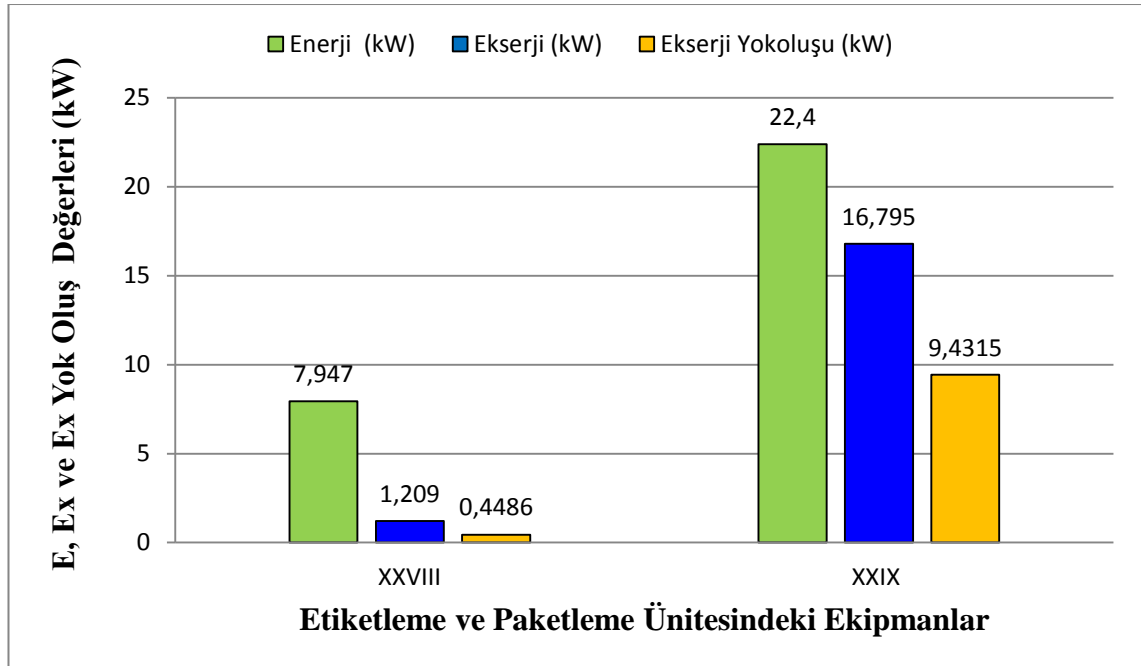
Enerji ve ekserji verim değerleri karşılaştırıldığında verilen enerjiye göre elde edilen ekserji değeri pastörize sepetinde birbirine yakın olduğu görülmüştür. Enerji verimi en fazla %96 ile pastörizasyon, en az %10 ile dolum ve kapaklanmada oluşmuştur. Ekserji verimi ise en fazla %73 ile ürün hazırlama tankında, en az %4 ile devirdaim pompasında oluşmuştur.

Etiketleme ve paketleme ünitesindeki ekipmanların herbirine ait enerji, ekserji, ekserji yok oluş, enerji ve ekserji verim değerleri **EK 4**'den hesaplanarak Çizelge 4.5 de verilmiştir.

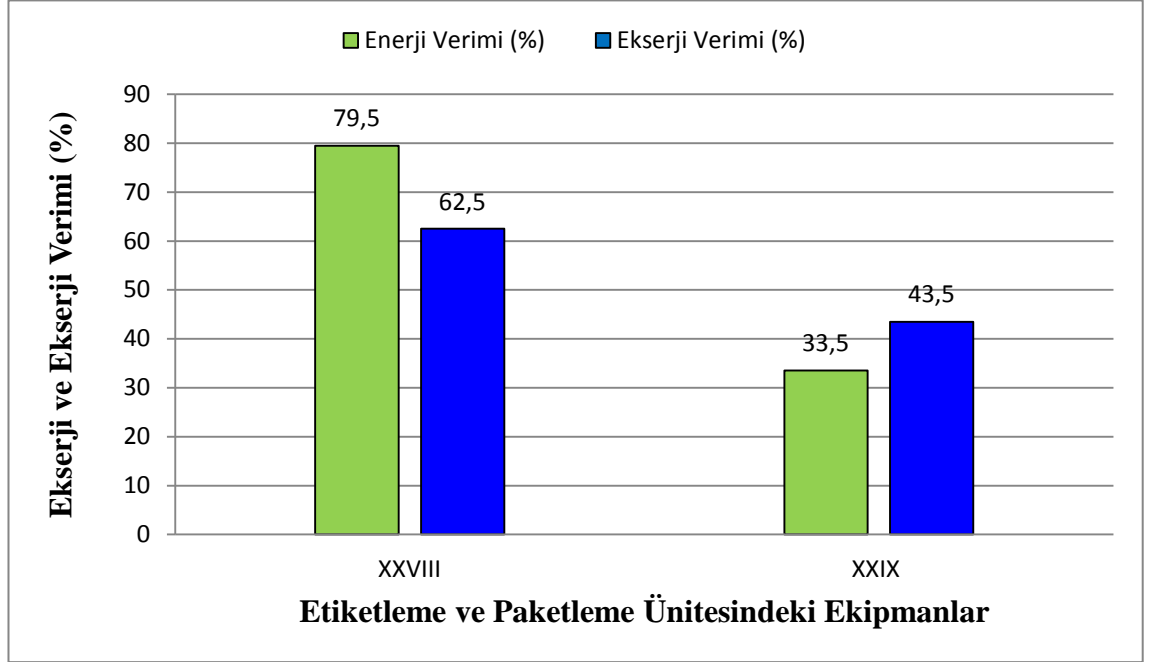
Çizelge 4.5. Etiketleme ve paketleme ünitesinin enerji ve ekserji analiz sonuçları

Ekipman Numaraları	Ekipman İsimleri	Enerji \dot{E} (kW)	Ekserji \dot{E}_x (kW)	Ekserji Yokoluşu (kW)	Enerji Verimi (%)	Ekserji Verimi (%)
Meyve suyu üretimine ait etiketleme ve paketleme						
XXVIII	Etiketleme Mak.	7,739	1,265	0,4772	79	62
XXIX	Paketleme	22,2	16,81	9,643	30	42
Marmelat üretimine ait etiketleme ve paketleme						
XXVIII	Etiketleme Mak.	8,155	1,153	0,42	80	63
XXIX	Paketleme.	22,6	16,78	9,22	37	45

Meyve suyu ve marmelat dolumundan sonra etiketleme ile paketleme ünitesinde harcanan enerji ve ekserjilerin ortalama değerleri alınmıştır. Ortalama enerji giriş değerleri 7,947-22,4 kW, ortalama ekserji değerleri 1,209-16,975 kW ve ortalama ekserji yok oluş değerleri ise 0,4486-9,4315 kW arasında olup Şekil 4.7 de gösterilmiştir.

**Şekil 4.7.** Etiketleme ve paketleme ünitesindeki enerji, ekserji ve ekserji yok oluşu

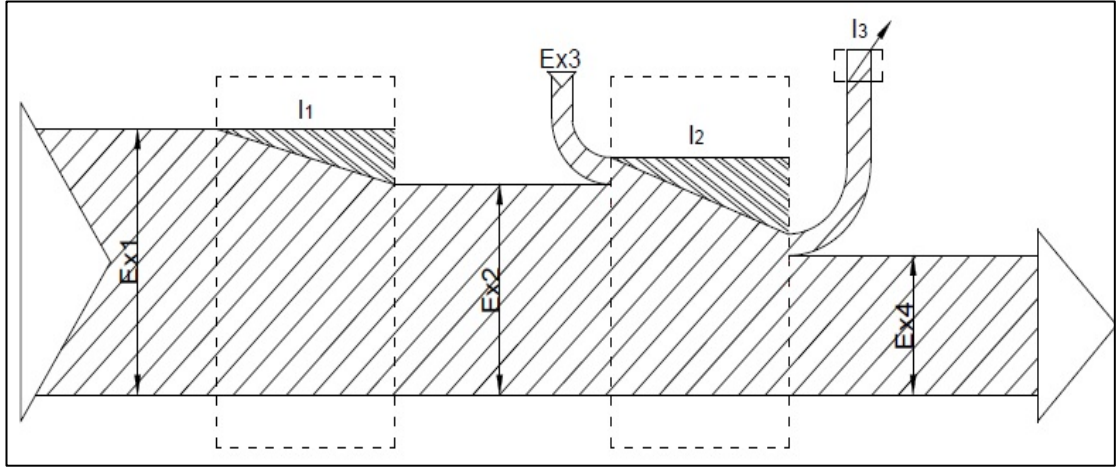
Etiketleme ve paketleme ünitesinde yer alan ekipmanlara ait ortalama ekserji yok oluş değerleri Şekil 5.7 de gösterilmiştir. Buna göre en fazla ekserji yok oluş değeri 9,4315 kW ile paketlemede, en az olduğu ekipman ise 0,4486 kW ile etiketleme makinasında meydana gelmiştir. Enerji ve ekserji verim değerleri Şekil 5.8 de gösterilmiştir.



Şekil 4.8. Etiketleme ve paketleme ünitesindeki ekipmanların enerji ve ekserji verimi

Ortalama enerji verimi en fazla %79,5 ile etiketleme makinasında, en az %33,5 ile paketlemede oluşmuştur. Ortalama ekserji verimi ise en fazla %62,5 ile etiketleme makinasında, en az %43,5 ile paketleme makinasında oluşmuştur.

Fabrikanın buhar ihtiyacını karşılamak için fuoil yakıtlı kazan kullanılmaktadır. Kullanılan kazana ait ekserji Grassman diyagramı Şekil 4.9 da gösterilmiştir.



Şekil 4.9. Kazan ekserji Grassman diyagramı

Aşağıda kazanın 1 yıl boyunca 101760 kg yakıt yakılarak 1296960 kW ekserji meydana gelmiştir. Bu ekserjinin büyük bir kısmı tersinmezlikler nedeniyle yok olmuştur. Diğer ekserji yok oluşu kazandan çevreye ve bacadan atmosfere çıkan sıcak duman gazlarından oluşmaktadır. Kazan ait ekserji akımları Çizelge 4.6 da verilmiştir.

Çizelge 4.6. Kazan ünitesinde 1 yılda elde edilen ekserji değerleri

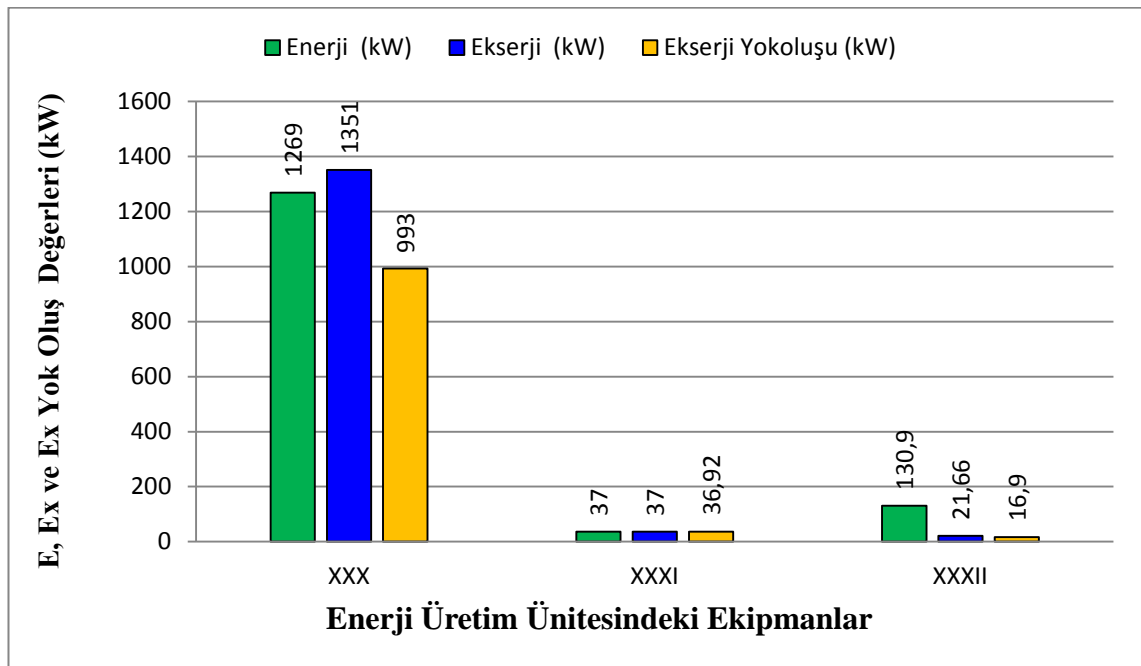
Ekserji Akımları	Ekserji \dot{E}_x (kW)
\dot{E}_{x1}	1296960
\dot{E}_{x2}	878976
\dot{E}_{x3}	7336,32
I_1	417984
I_2	433152
\dot{E}_{x4}	336672
I_3	116488,32

Enerji üretim ünitesine ait enerji ve ekserji analizleri Çizelge 4.7 de verilmiştir.

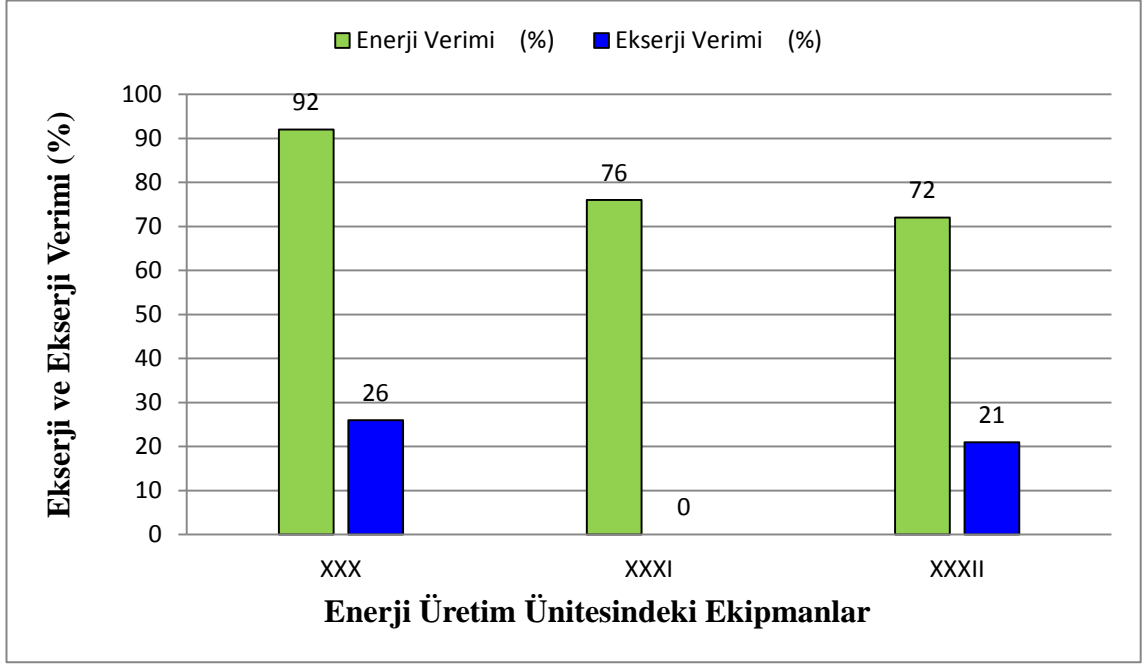
Çizelge 4.7. Enerji üretim ünitesinin enerji ve ekserji analiz sonuçları

Ekipman Numaraları	Ekipman İsimleri	Enerji \dot{E} (kW)	Ekserji \dot{E}_x (kW)	Ekserji Yokoluşu (kW)	Enerji Verimi (%)	Ekserji Verimi (%)
XXX	Buhar Kazanı	1269	1351	993	92	26
XXXI	Kompresör	37	37	36,92	76	0
XXXII	Su Üretim Ünite.	130,9	21,66	16,9	72	21

Enerji üretim ünitesindeki ekipmanların enerji giriş değerleri 37-1269 kW, ekserji değerleri 21,66-1351 kW ve ekserji yok oluş değerleri ise 16,9-993 kW arasında olup Şekil 4.10 da gösterilmiştir.

**Şekil 4.10.** Enerji üretim ünitesindeki ekipmanların enerji, ekserji ve ekserji yok oluşu

Enerji üretim ünitesinde yer alan ekipmanlara ait ortalama ekserji yok oluş değerleri Şekil 4.10 da gösterilmiştir. Buna göre en fazla ekserji yok oluş değeri 993 kW ile buhar kazanında, en az olduğu ekipman ise 16,9 kW ile su üretim ünitesinde meydana gelmiştir. Enerji ve ekserji verim değerleri Şekil 4.11 de gösterilmiştir.



Şekil 4.11. Enerji üretim ünitesindeki ekipmanların enerji ve ekserji verim değerleri

Enerji verimi en fazla %92 ile buhar kazanı, en az %72 ile su üretim ünitesinde oluşmuştur. Ekserji verimi en fazla %26 ile kazanda ve kompresörde ise ekserji verimi 0 olarak bulunmuştur.

Fabrikanın her bir ünitesine ait ekipmanların enerji, ekserji, ekserji yok oluş, enerji ve ekserji verim değerleri hesaplanmıştır. Elde edilen veriler kullanılarak tesisin 1 saatlik, 1 günlük, 1 aylık ve 1 yıllık enerji, ekserji ve ekserji yok oluş değerleri bulunmuştur. Yapılan analizler sonucunda fabrikanın 1 yıllık performansı belirlenmiş olup Çizelge 4.8 de verilmiştir.

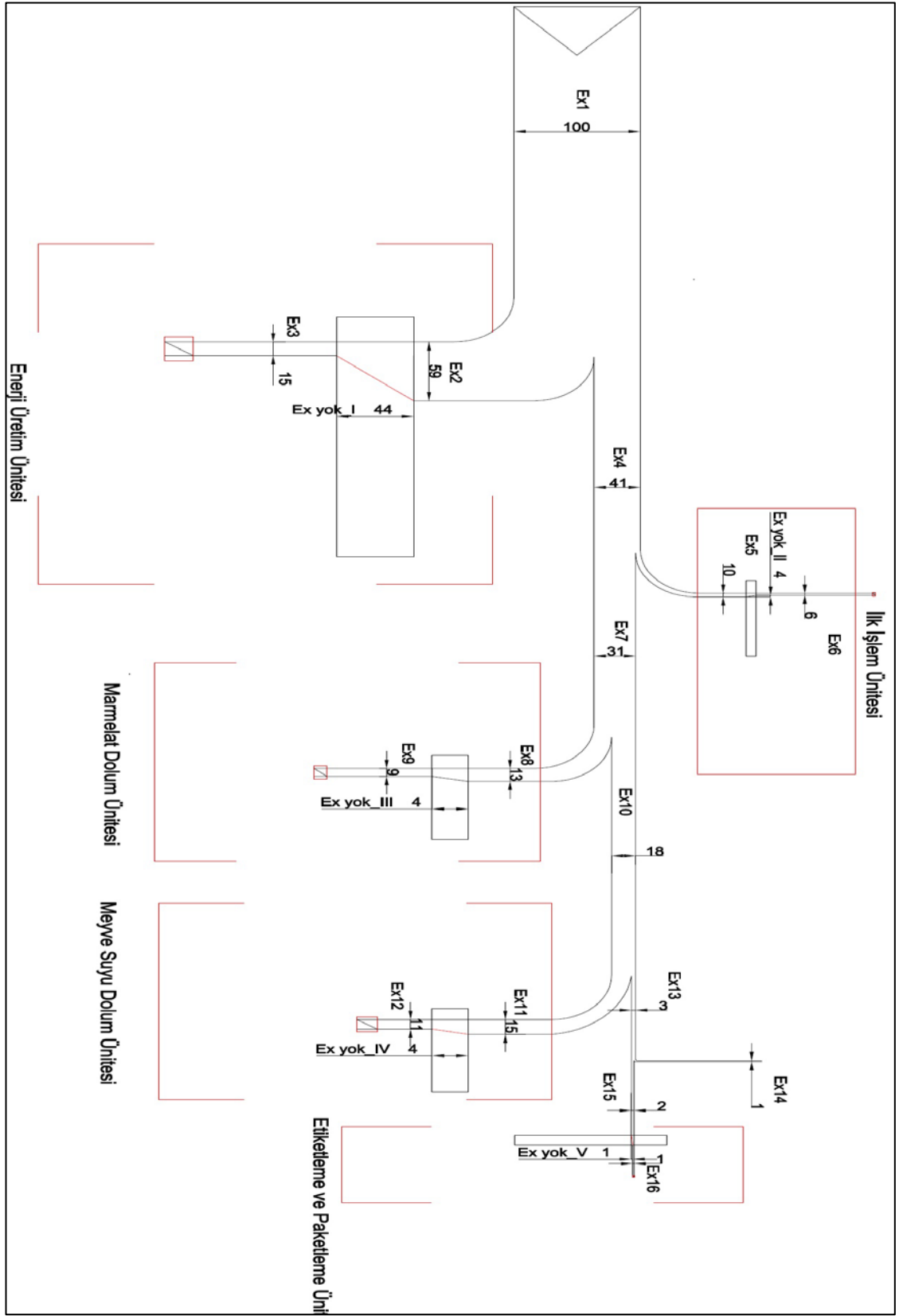
Çizelge 4.8. Fabrikanın 1 yıldaki performansı

Fabrikanın Çalışma Süreleri	Ünitelerin Çalışma Süreleri (saat)	İlk İşlem Ünitesi		
		\dot{E} (kW)	\dot{E}_x (kW)	\dot{E}_x yok (kW)
1 Saat	1	910,4	165,4	71,1
1 Gün	3	2731,2	496,2	213,3
1 Ay	60	54624	9924	4266
1 Yıl	720	655488	118368	51192
Fabrikanın Çalışma Süreleri	Ünitelerin Çalışma Süreleri (saat)	Meyve Suyu Dolum Ünitesi		
		\dot{E} (kW)	\dot{E}_x (kW)	\dot{E}_x yok (kW)
1 Saat	1,0	1369,4	237,1	69,0
1 Gün	3,0	4108,3	711,2	207,0
1 Ay	60,0	82165,1	14224,7	12421,8
1 Yıl	720,0	985981,0	170696,1	49687,2
Fabrikanın Çalışma Süreleri	Ünitelerin Çalışma Süreleri (saat)	Marmelat Dolum Ünitesi		
		\dot{E} (kW)	\dot{E}_x (kW)	\dot{E}_x yok (kW)
1 Saat	1,0	830,1	198,9	92,6
1 Gün	2,0	1660,1	397,9	185,1
1 Ay	40,0	33202,3	7957,5	7405,9
1 Yıl	480,0	398427,4	146005,4	44435,5
Fabrikanın Çalışma Süreleri	Ünitelerin Çalışma Süreleri (saat)	Etiketleme ve Paketleme Ünitesi		
		\dot{E} (kW)	\dot{E}_x (kW)	\dot{E}_x yok (kW)
1 Saat	1,0	30,3	18,0	9,9
1 Gün	5,0	151,7	90,0	49,4
1 Ay	100,0	3034,7	1800,4	4940,4
1 Yıl	1200,0	36416,4	21604,8	11857,0
Fabrikanın Çalışma Süreleri	Ünitelerin Çalışma Süreleri (saat)	Enerji Üretim Ünitesi		
		\dot{E} (kW)	\dot{E}_x (kW)	\dot{E}_x yok (kW)
1 Saat	1,0	1436,9	1409,7	1046,9
1 Gün	2,0	2873,8	2819,3	2093,8
1 Ay	40,0	57476,0	56386,4	83753,6
1 Yıl	480,0	689712,0	676636,8	502521,6
Fabrikanın Çalışma Süreleri	Ünitelerin Çalışma Süreleri (saat)	Aydınlatma, Isınma ve Depolama		
		\dot{E} (kW)	\dot{E}_x (kW)	\dot{E}_x yok (kW)
1 Saat	1,0	15,0	15,0	0,0
1 Gün	4,0	60,0	60,0	0,0
1 Ay	80,0	1200,0	1200,0	0,0
1 Yıl	960,0	14400,0	14400,0	0,0

Yapılan analizler sonucunda fabrikanın tüm ünitelerine ait ekserji ve ekserji yok oluş değerleri hesaplanmış olup Çizelge 4.9 de verilmiştir. Ayrıca fabrikaya ait ekserji bant diyagramı (Grassman) aşağıda Şekil 4.12 de verilmiştir.

Çizelge 4.9. Fabrikanın tüm ünitelerine ait ekserji ve ekserji yok oluş değerleri

	\dot{E}_x (kW)	%
$\dot{E}_{x,1}$	1147711,1	100
$\dot{E}_{x,2}$	676636,8	59
$\dot{E}_{x,3}$	174115,2	15
$\dot{E}_{x,4}$	471074,3	41
\dot{E}_{x,yok_I}	502521,6	44
$\dot{E}_{x,5}$	118368	10
$\dot{E}_{x,6}$	67176	6
\dot{E}_{x,yok_II}	51192	4
$\dot{E}_{x,7}$	352706,3	31
$\dot{E}_{x,8}$	146005,44	13
$\dot{E}_{x,9}$	101569,94	9
\dot{E}_{x,yok_III}	44435,5	4
$\dot{E}_{x,10}$	206700,86	18
$\dot{E}_{x,11}$	170696,1	15
$\dot{E}_{x,12}$	121008,9	11
\dot{E}_{x,yok_IV}	49687,2	4
$\dot{E}_{x,13}$	36004,76	3
$\dot{E}_{x,14}$	14400	1
$\dot{E}_{x,15}$	21604,8	2
$\dot{E}_{x,16}$	9747,8	1
\dot{E}_{x,yok_V}	11857	1

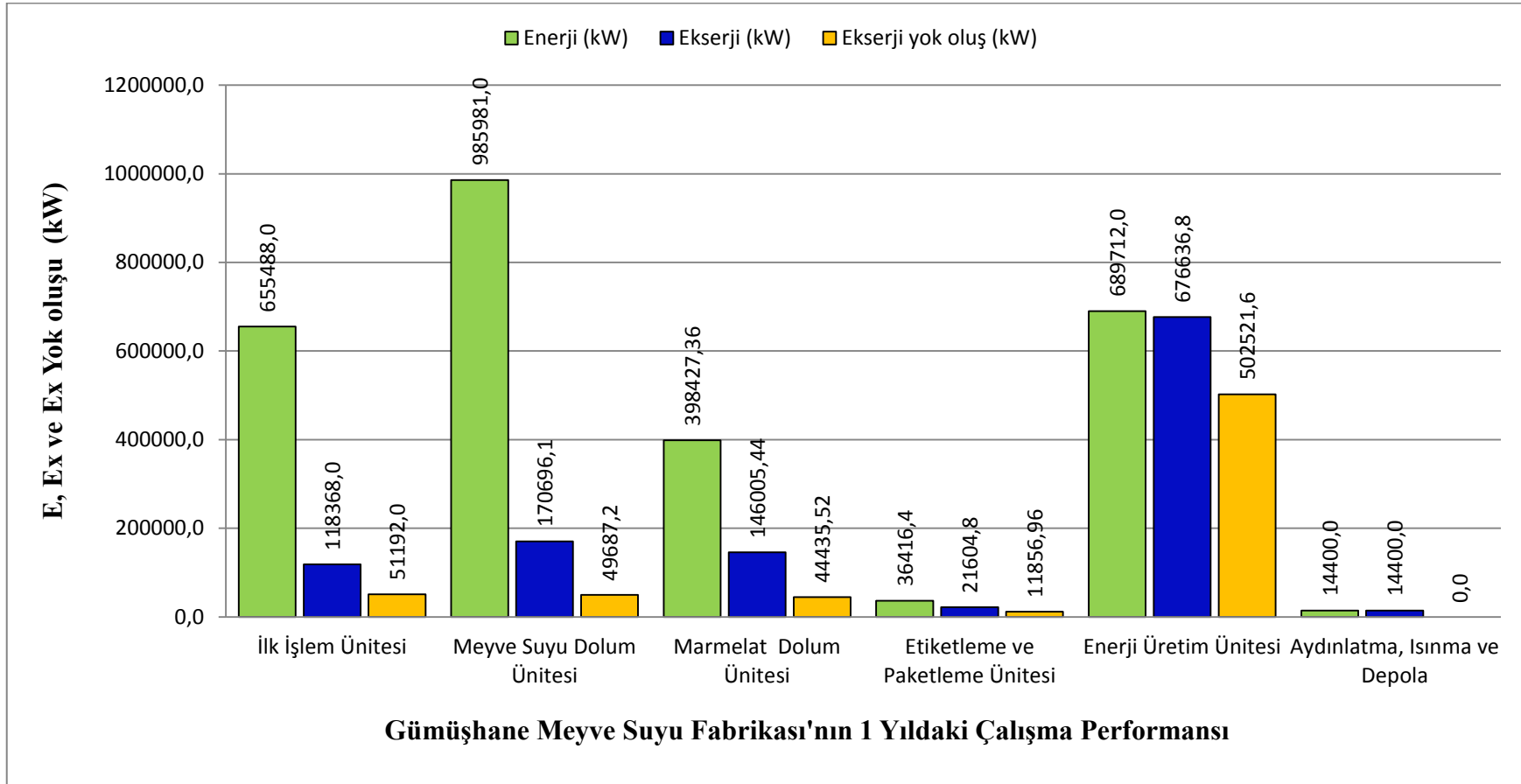


Şekil 4.12. Gümüşhane Meyve Suyu Fabrikası'nın Grassman diyagramı

Tüm fabrikanın ekserji verimi aşağıdaki denklemden hesaplanır.

$$\varepsilon = 1 - \frac{\sum(\dot{E}_{x,yok})}{\sum(\dot{E}_{x,giren})}$$

Sisteme giren toplama ekserji $\dot{E}_x = 1147711,1$ kW ve toplam ekserji yok oluşu $\dot{E}_{x,yok} = 659693,3$ kW olduğundan ekserji verimi %42 olarak bulunmuştur. Fabrikanın 2010 yılındaki performansı Şekil 5.13 de gösterilmiştir.



Şekil 4.13. Gümüşhane Meyve Suyu Fabrikası'nın 2010 yılı performansı

5. SONUÇ ve ÖNERİLER

Gümüşhane Meyve Suyu Fabrikası'nın herbir ekipman için ayrı ayrı enerji ve ekserji anazili yapılmıştır.

Tesisteki her ekipman için çevre sıcaklığı 20°C ve atmosfer basıncı 101,325 kPa göre enerji, ekserji, ekserji yok oluş, enerji ve ekserji verimleri EES programında gerekli bağıntılar oluşturularak hesaplanmıştır.

Tetisteki tüm ünitelerin ekserji ve ekserji yok oluş değerleri Grassman diyagramı çizilerek gösterilmiştir.

Tesisteki ekipmanlar sürekli açık bir sistem olarak modellendiğinde ekserji yok oluşu çevre sıcaklığının üstüne çıktıkça arttığı gözlemlenmiştir.

Ekserji yok oluşu tesisin tamamı için 659693,3 kW olarak hesaplandı. Hesaplanan bu değer 51192 kW kısmı ilk işlem ünitesinde, 49687,2 kW kuşburnu suyu üretiminde, 44435,52 marmalet dolum ünitesinde, 11857 kW etiketleme ve paketleme ünitesinde, geri kalan kısmı 502521,6 kW enerji üretim ünitesinde yok olmuştur.

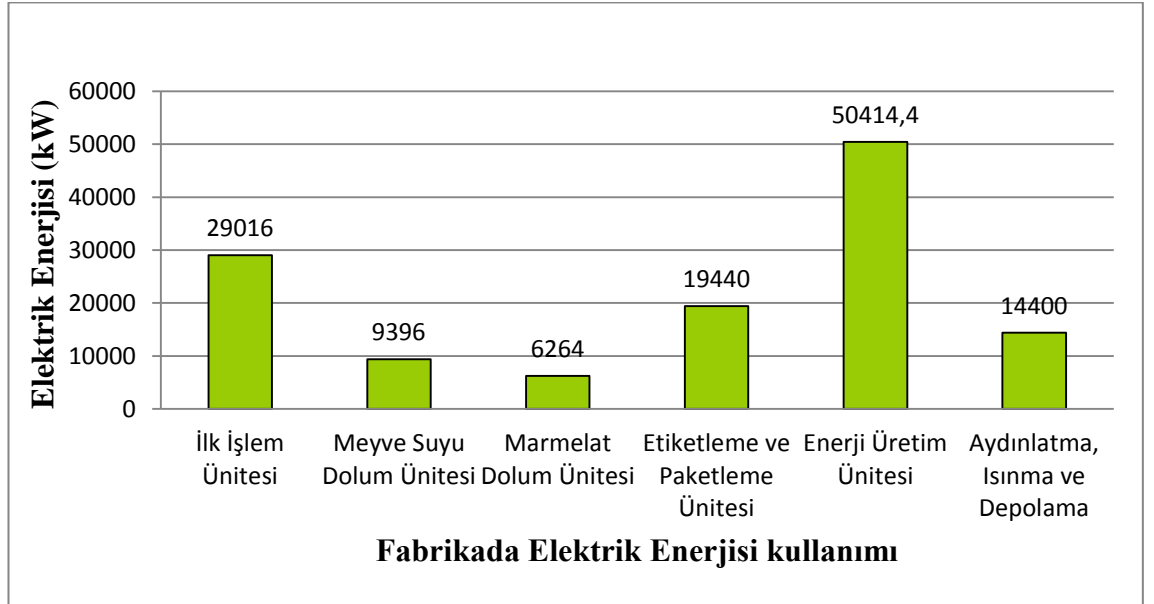
İlk işlem ünitesi için ekserji verimi %81, meyve suyu dolum ünitesi için %82, marmalet dolum ünitesi için %76, etiketleme ve paketleme ünitesi için %45 ve enerji üretim ünitesinde %25 olarak hesaplanmıştır. Ekserji verimi tesisin tamamı için de %42 olarak hesaplanmıştır. Verimi en çok etkileyen 0,26 ile kazan verimi oluşur. Bu da kazanda yılda 491520 kW bir ekserjinin yok olmasından kaynaklanmaktadır.

İlk işlem ünitesinde pulperden daha yüksek verim alma adına pişirme tankında ürünün sıcaklığı 85°C'ye kadar yükseltilerek 40060,8 kW'lık buhar enerjisi kullanılmıştır. Oysa daha düşük sıcaklıklarda pişirme işlemi gerçekleştirilirse hem buhar kullanımının

azaltılması hem de çevreye atılan 2188,8 kW enerjiden de tasarruf sağlanmış olunur.

Fabrikada yılda 6720000 kg su kullanılmaktadır. Kullanılan suyun 1983360 kg ilk işlem ünitesinde, 2156160 kg meyve suyu dolum ünitesinde, 618240 kg marmelat üretim ünitesinde ve 785722 kg kazanda kullanılmaktadır. Vakum pompalarında kullanılan su 570240 kg'dır. Kullanılan bu su direk olarak atığa gönderilmektedir. Bunun yerine suyu devir daim yapabilecek tank konulursa tesis yılda 570240 kg su tasarrufu sağlayacaktır.

Yılda 128930 kW elektrik enerjisi tüketen fabrikanın; ilk işlem ünitesinde 29016 kW enerji, meyve suyu dolum ünitesinde 9396 kW enerji, marmelat dolu ünitesinde 6264 kW, etiketleme ve paketleme ünitesinde 19440 kW, enerji üretiminde 50414,4 kW ve aydınlatma, ısınma ve depolama giderleri olarak 14400 kW elektrik enerjisi kullanılmıştır. Kullanılan enerjinin büyük bir bölümü enerji üretim ünitesinde harcanmaktadır. Fabrikanın 1 yıldaki elektrik tüketimini gösteren grafik Şekil 5.1 de aşağıda verilmektedir.



Şekil 5.1. Gümüşhane Meyve Suyu Fabrikası'nın elektrik kullanımı

Kırıcıdaki enerji yıkımının en büyük nedeni, burada hız konvektörünün olmaması nedeniyle kırıcının sürekli aynı devirde ve güçte çalışmaktadır. Bundan dolayı yüksek oranda enerji tüketmektedir. Gelen meyve miktarına göre güç kontrolü yapılarak enerji daha verimli bir şekilde kullanılması sağlanabilir.

Kazanda meydana gelen kayıpları azaltabilmek için bacadan atmosfere atılan duman gazlarının sıcaklığını 140°C den ekonomizer takılarak 70°C'ye kadar düşürülerek yılda 17280 kW bir enerji tasarrufu sağlanmış olunur.

KAYNAKLAR

- Akbulut, U., Kıncay, O., 2006. Buhar Sıkıştırılmalı Soğutma Çevrimlerinde Enerji ve Ekserji Analizi. Tesisat Mühendisliği Dergisi, Sayı: (94), s. 24–32.
- Akkaya, E., 1995, Kazan Bacalarındaki Isı Kayıplarının Belirlenmesi. Termodinamik subat sayısı sayfa 47-48
- Akyol, T., 2006. Binaların Isı Yalıtımında Enerji ve Ekserji Analizi. Y.Lisans Tezi, Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Balıkesir.
- Apak, E., 2007. Bir Seramik Fabrikasındaki Enerji Ekserji Analizi. Y.Lisans Tezi, Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kütahya.
- Arıkol, M., 1985, Ekserji Analizine Giriş, Marmara Bilimsel ve Endüstriyel Araştırma Enstitüsü Proje Çalışması, Tübitak, Proje No: 0630048401, 34 s.
- Bektaş, G., 2009. Toz Deterjan Üretim Tesisinde Enerji ve Ekserji Analizi.Doktora Tezi, Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- Bodvarsson, G., Eggers, D. E. 1972. The Exergy of Thermal Water. Geothermics, Vol. 1: 93-95.
- Bozoğlan, E., 2008. Bir Zeytinyağı Rafinerasyon Tesisinin Enerji ve Ekserji Analiz Yöntemleri Kullanılarak Performansının Değerlendirilmesi. Y.Lisans Tezi, Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- Can, A., 2004. Sogutma elemanlarının ekserji analizinin deneysel verilere göre yapılması, VII. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, 164-166.
- Çamdalı, Ü., Tunç M, 2003. Elektrik Ark Fırınlarında Fiziksel Ekserji Potansiyelinin Veriminin Elde Edilmesi, Trakya Üniversitesi. Fen Bilimleri. Dergisi 5, 2004, 55-57.
- Çengel, Y.A., Boles M.A, 1996. Mühendislik yaklaşımıyla termodinamik, McGraw-Hill Literatür Ortak Yayını, (Çev.T.Derbentli), 796 s.
- Çomaklı, K., 2003. Atatürk Üniversitesi Isıtma Merkezinin Enerji ve Ekserji Analizi. Doktora Tezi, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum.
- Çomaklı, K., Yüksel, B., Bakırcı, K., 2006a. Bölgesel Isıtma Sistemleri Boru hatlarında Meydana Gelen Enerji ve ekserji Kayıpları. Tesisat Mühendisliği Dergisi, Sayı:91, s. 33-38
- Çomaklı, K., Yüksel, B., Şahin, B., Karagöz, Ş., 2006b. Kazan Bacalarında Meydana Gelen Enerji ve Ekserji kayıpları. Tesisat Mühendisliği Dergisi, Sayı:92, s. 12-16..
- Dazlak, S., 2006. Bir Doğalgaz Santralinde Atık Isı Kazanım Tesisinin Enerji ve Ekserji Analizi. Y.Lisans Tezi, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Zonguldak.
- Dikici, A., Akbulut, A.,Gülçimen, F.,Akbulut, A., 2005. Hava Kaynaklı Isı Pompası Sisteminin Performans Katsayısı, Enerji ve Ekserji Analizi, Sayı: (87), s. 33-42.
- Ekşi, A., O. Yurdakul, M.Emiroğlu, E.Güneş, M. Atamer, E.Topal, O.Deveci, F.Taşdöğen, 2005. Gıda Sanayinde Yapısal Değişimler, Türkiye Ziraat Mühendisliği VI. Teknik Kongresi, 2. cilt., Milli Kütüphane. ANKARA.
- EKSİS, 2014. Endüstriyel Kurutma Sistemleri http://www.kurutma.net/gida_urun_ozgul_isi_hesaplayici.html (02.12.2014).

- ETKB, 2012. Enerji Tabii Kaynaklar Bakanlığı. http://www.enerji.gov.tr/EKLENTI_VIEW/index.php/raporlar/raporVeriGir/72884/2 (02.12.2014).
- Esen, D.Ö., Hosoz, M., 2007. R134a Soğutucu Akışkanı Kullanan Otomobil Klimalarında Enerji ve Ekserjializisi. Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi Cilt 23 Say (1-2), s. 188 – 203.
- Ezeike, GOI., Energy consumption in rice processing operations in Nigeria: selected case studies. *J Agric Mech Asia Africa Latin Am* 1981;18(1):33–40.
- Hammache, A., Shukuya M., 2002. Introduction to the concept of exergy, *Vtt Research Notes* 2158, 22–29.
- Hepbasli, A., Balta M.T., 2006. A study on modeling and performance assessment of a heat pump system for utilizing low temperature geothermal resources in buildings. *Building and Environment*, in press, Available online
- Hepbaşlı, A.: 2007. Exergetic Modeling and Assessment of Solar Assisted Domestic Hot Water Tank Integrated Ground-source Heat Pump Systems for Residences, *Energy and Buildings* 39 (12), 1211-1217
- Kırmacı, V., 2006. Akışkan Olarak Hava Oksijen Karbondioksit Azot Kullanılan Vorteks Tüpünde Enerji ve Ekserji Analizi. *Cumhuriyet Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi Cilt 27 Say (1)*, s. 26–41.
- Ilık, A., 2012. Trijenerasyon Sistemlerinin Enerji ve Ekserji Analizi. Y.Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.
- Kaçan, E., 2012. Güneş Enerjili Kombi Sistemlerin Tasarımı, Uygulaması, Enerji ve Ekserji Analizi. Doktora Tezi, Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- Kotas, T.J., 1995. *The Exergy Method Of Thermal Plant Analysis*. Krieger Publishing Comp. 328, USA
- Lee, K. C., 2001. Classification of Geothermal Resources by Exergy. *Geothermics*, Vol. 30: 431-442.
- Park, S.R., Pandey, A.K., Tyagi V.V., Tyagi S.K., 2014. Energy and Exergy Analysis of Typical Renewable Energy Systems. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 30, 105–123
- Polat, A., 2009. Bir Meyve Suyu Üretim Prosesinin Yapay Sinir Ağları Kullanılarak Modellenmesi. Y.Lisans Tezi, Niğde Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Niğde.
- Rozen, M.A., 1999. Second Law Analysis. Approaches And Implications. *Int. J. Energy Research*, 23, 415-429
- Sanaei, M.S., Furubayashi, T., Nakata, T., 2012. Assessment of Energy Utilization in Iran's Industrial Sector Using Energy and Exergy Analysis Method. *Applied Thermal Engineering*, 36, 472-481
- Şen, İ., 2006. Buhar Çevrim Santralinin Termodinamiğin 2. Kanununa Göre Analizi. Y.Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.
- Şahin, H.M., Acır A., Baysal E., Koçyiğit E., 2007. Enerji ve Ekserji Analiz metoduyla Kayseri Şeker Fabrikasında Enerji Verimliliğinin Değerlendirilmesi. *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi Cilt 22 Say (1)*, s. 111 – 119.
- Tezcan, A., 2006. Bir Likoriş Üretim Tesisinin Termoekonomik Analizi. Y.Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Tontu, M., 2013. Buharlı Güç Santralinin Enerji ve Ekserji Analizi. Y.Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.

- Türküzü, B., Özen, N.D., Altınışik, K., 2010. Çumra Şeker Fabrikası Enerji Verimliliğinin Ekserji Analiziyle Değerlendirilmesi, Isı Bilimi ve Tekniği Dergisi, Sayı: 30, Sayfa:77-83, Ankara.
- Waheed, M.A., Jekayinfa, S.O., Ojediran, J.O., and Imeokparia, O.E., 2008. Energetic analysis of fruit juice processing operations in Nigeria, Energy, p. 35-45
- Winnick, J., 1997. Chemical engineering thermodynamics, John Wiley & Sons. Inc, 590p.
- Yüncü, H., 2000. Klasik Termodinamik, Feryal Matbaacılık ISBN:975-8405-07-1, 380 s.
- Zabielskiene, R. M., 2002. Boilers and Boiler Houses. Study Guide. VGTU. 83, ILNIUS.
- Zafar, S., Dincer, İ., 2014. Energy, Exergy and Exergoeconomic Analyses of a Combinedrenewable Energy System for Residential Applications. Energy and Buildings 71, 68–79
- Yıldız, H.,Nergiz, C., 1996. Bir gıda maddesi olarak kuşburnu, Kuşburnu Sempozyumu, (Sözlü sunum), Bildiri Kitabı s 309-318, 5-6 Eylül, Gümüşhane.

ÖZGEÇMİŞ

1981 yılında Gümüşhane ilinde doğdu. İlk ve orta öğrenimini Gümüşhane de tamamladı. 2000 yılında Dumlupınar Üniversitesi'nde lisans öğrenimine başladı ve 2004 yılında bitirdi. İstanbul da bir özel şirkette 2 yıl çalıştıktan sonra ayrıldı ve Atatürk Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Enerji Bilim Dalı'nda yüksek lisans eğitimine başladı. Aynı zamanda Gümüşhane de özel bir şirkette iş hayatına devam etmektedir. Evli ve İngilizce bilmektedir.