

**T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**DONDURULMUŞ GIDA ÜRETEN BİR İŞLETMEDE ENERJİ, EKSERJİ VE
EKSERGOEKONOMİK ANALİZ YÖNTEMLERİNİN UYGULANMASI**

Zeliha Deniz ALTA

DOKTORA TEZİ

**TARIM MAKİNALARI ve TEKNOLOJİLERİ
MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

2015

**T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**DONDURULMUŞ GIDA ÜRETEN BİR İŞLETMEDE ENERJİ, EKSERJİ VE
EKSERGOEKONOMİK ANALİZ YÖNTEMLERİNİN UYGULANMASI**

Zeliha Deniz ALTA

DOKTORA TEZİ

**TARIM MAKİNALARI ve TEKNOLOJİLERİ
MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**(Bu tez Akdeniz Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi
tarafından 2012.03.0121.001 nolu proje ile desteklenmiştir.)**

2015

**T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**DONDURULMUŞ GIDA ÜRETEN BİR İŞLETMEDE ENERJİ, EKSERJİ VE
EKSERGOEKONOMİK ANALİZ YÖNTEMLERİNİN UYGULANMASI**

Zeliha Deniz ALTA

DOKTORA TEZİ

**TARIM MAKİNALARI ve TEKNOLOJİLERİ
MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

Bu tez 20/02/2015 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Oybirliği ile kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Can ERTEKİN

Prof. Dr. Osman YALDIZ

Prof. Dr. Hasan Hüseyin ÖZTÜRK

Prof. Dr. Kamil EKİNCİ

Doç. Dr. İbrahim ATMACA

ÖZET

DONDURULMUŞ GIDA ÜRETEN BİR İŞLETMEDE ENERJİ, EKSERJİ VE EKSERGOEKONOMİK ANALİZ YÖNTEMLERİNİN UYGULANMASI

Zeliha Deniz ALTA

Doktora Tezi, Tarım Makinaları ve Teknolojileri

Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Can ERTEKİN

Şubat 2015, 94 sayfa

Bu çalışmada, bir işletmenin dondurulmuş mısır üretim prosesi enerjetik, ekserjetik ve eksergoekonomik açıdan incelenmiştir. Her üretim ünitesinin giriş ve çıkışlarındaki tersinmezliklerin hesaplanması ile prosesdeki enerji tasarruf olanaklarının belirlenmesi ve bu noktalarda yapılabilecek iyileştirmelerin tespit edilmesi hedeflenmiştir.

Analizlerin sonuçlarına göre, en düşük enerji verimi bireysel hızlı dondurma (BHD) (%40.17) işleminde, en düşük ekserji verimi ise mısır taneleme (%0.87) makinesinde görülmüştür. Makinelerin en yüksek iyileştirme potansiyelleri ise 643.71 MJ/h ile blanşöre, 150.73 MJ/h ile BHD'ye aittir. Eksergoekonomik analiz değerleri neticesinde, ekserji maliyetinde en yüksek değer 90.48 TL/h ile blanşör çıkışındaki haşlanmış tane mısırdadır. Bunu blanşördeki toplam enerji girdisi (81.48 TL/h) ve BHD'den çıkan dondurulmuş mısır ürünü (65.53 TL/h) takip etmektedir.

Bu çalışmada, iyileştirme yapılacak makinelerde öncelik sıralamasının iyileştirme potansiyel değerlerine göre belirlenmesi önerilmektedir. Ayrıca, yüksek verimli motorların tercih edilmesi, motorlarda invertör kullanımı, blanşörden çıkan buharın geri kazanımının sağlanması, BHD öncesinde etkin bir soğutma sistemi ve enerji tüketimlerinin mümkün olduğu kadar, yenilenebilir enerji kaynaklarından karşılanmaya çalışılması enerji tasarrufunu arttıracak girişimlerdir.

ANAHTAR KELİMELER: Enerji, ekserji, eksergoekonomi, dondurulmuş gıda, üretim, mısır

JÜRİ: Prof. Dr. Can ERTEKİN (Danışman)

Prof. Dr. Osman YALDIZ

Prof. Dr. Hasan Hüseyin ÖZTÜRK

Prof. Dr. Kamil EKİNCİ

Doç. Dr. İbrahim ATMACA

ABSTRACT

APPLICATION OF ENERGY, EXERGY AND EXERGOCOECONOMIC ANALYSIS METHODS TO A FROZEN FOOD MANUFACTURER

Zeliha Deniz ALTA

PhD Thesis in Department of Agricultural Machinery and
Technologies Engineering

Supervisor: Prof. Dr. Can ERTEKİN

February 2015, 94 pages

In this study, a frozen corn production process of a factory was investigated in terms of energetic, exergetic and exergoeconomic. It was aimed to determine the energy saving opportunities and improvement potentials by calculating of the irreversibilities of the input and outputs of each production unit.

According to the results of the analysis, the minimum energy efficiency was determined in individual quick freezing (IQF) (40.17%) whereas the minimum exergy efficiency was found in the machine of corn granulator (0.87%). The highest improvement potential was observed in boiler (643.71 MJ/h) and IQF (150.73 MJ/h) followed. According to the exergoeconomic analysis, boiled sweet corn from the boiler has the high cost of energy (90.48 TL/h). The costs of the total energy input of the boiler and frozen sweet corn from IQF were 81.48 TL/h and 65.53 TL/h, respectively.

It is recommended to determine the priority of the improvements in machinery according to the improvement potentials. In addition, preference of high-efficiency engines, usage of inverters in engines, ensuring the recovery of the vapors from boiler, attempting to effective cooling system before IQF and providing energy needs from as possible as renewable energy sources are capable of increasing the energy efficiency initiatives.

KEYWORDS: Energy, exergy, exergoeconomy, frozen food, production process, sweet corn

COMMITTEE: Prof. Dr. Can ERTEKİN (Supervisor)
Prof. Dr. Osman YALDIZ
Prof. Dr. Hasan Hüseyin ÖZTÜRK
Prof. Dr. Kamil EKİNCİ
Assoc. Prof. Dr. İbrahim ATMACA

ÖNSÖZ

Endüstrinin üretime yönelik bütün üniteleri enerji tüketen veya enerji üreten, bazen de her ikisinin birlikte ortaya konduğu sistemlerdir. Ülkemizde enerji yoğunluğu ve enerji girdi maliyetlerinin yüksek oluşu, özellikle enerjinin önemli bir kısmının tüketildiği sanayi sektörümüzde var olan enerjinin verimli kullanılmasını gerekli kılmaktadır. Farklı sektörlerdeki işletmelerde mevcut durumu ve iyileştirme potansiyellerini ortaya koymak amacıyla enerji, ekserji ve son yıllarda kullanımı artan eksergoekonomik analiz yöntemlerinden yararlanılmaktadır. Bu çalışmada, dondurulmuş mısır üretim süreci, deneysel verilerine dayalı olarak analizler gerçekleştirilmiştir. Sistemin enerji tasarruf potansiyelleri incelenmiş, bunlarla ilgili geri kazandırıcı veya önleyici tedbirler teknik ve ekonomik boyutları ile ortaya konmuştur.

Bana bu konuda çalışma olanağı veren danışmanım Sayın Prof. Dr. Can ERTEKİN'e, desteklerinden dolayı Sayın Prof. Dr. Osman YALDIZ ve Doç. Dr. İbrahim ATMACA'ya, yardımlarını gördüğüm değerli arkadaşım Yrd. Doç. Dr. Hatice Reyhan ÖZİYCI'ye, fabrikalarında çalışma yapmamı destekleyen Namık ÜNAL ve Mehmet ÜNAL'a, teknik desteklerinden Hafim GÖZLÜKAYA'ya, Eren KULLEŞ'e ve Cenk ÇAKMAKÇI'ya teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

ÖZET	i
ABSTRACT	ii
ÖNSÖZ	iii
İÇİNDEKİLER	iv
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ	viii
ÇİZELGELER DİZİNİ	xi
1. GİRİŞ	1
2. KURAMSAL BİLGİLER ve KAYNAK TARAMALARI	3
2.1. Dünya’da ve Türkiye’de Enerji Kullanımı	3
2.2. Türkiye’nin Enerji Dengesi ve Dışa Bağımlılığı	4
2.3. Türk Sanayisinde Enerji Tüketimi ve Enerji Tasarruf Potansiyelleri	7
2.3.1. Gıda ve dondurulmuş gıda sektörüne genel bakış	10
2.4. Türkiye’de Sanayi Kuruluşlarının Enerji Verimliliğini Artırmaya Yönelik Yapılan Yasal Düzenlemeler ve Destekler	14
2.5. Kaynak Taramaları	18
2.6. Enerji, Ekserji ve Eksergoekonomik Analiz Yöntemleri	24
2.6.1. Enerji ve ekserji analizi	24
2.5.4. Eksergoekonomik analiz	29
3. MATERYAL ve METOT	31
3.1. Materyal	31
3.1.1. Tesis bilgileri ve enerji tüketim değerleri	31
3.1.2. Tatlı Mısır (<i>Zea Maysaccharata Sturt.</i>)	33
3.1.3. Dondurulmuş mısır üretim prosesi, aşamaları ve kullanılan makineler	35
3.1.3.1. Kabuk soyma işlemi	35
3.1.3.2. Taneleme işlemi	36
3.1.3.3. Yıkama ve püskül alma işlemi	37
3.1.3.4. Haşlama işlemi	37
3.1.3.5. Ürün üzerindeki suyun atılması	38
3.1.3.6. Soğutma işlemi	39
3.1.3.7. Dondurma işlemi	39
3.2. Metot	41
3.2.1 Analiz yöntemleri	43
3.2.1.1. Üretim hattı analizleri	43
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	49
4. 1. Üretim Hattı	49
4.1.1. Enerji ve ekserji analiz sonuçları	49
4.1.2. Sankey ve Grassmann diyagramları	54
4.1.3. Eksergoekonomik analiz sonuçları	63

4.1.4. Buhar kazanının termal kamera ile görüntülenmesi	66
5. SONUÇ	73
6. KAYNAKLAR.....	75
7. EKLER	86
Ek 1: Bazı Ülkelerde Enerji Göstergeleri (Nüfus, GSYİH, Kişi Başına GSYİH, Enerji Üretimi, Toplam Birincil Enerji Arzı).....	86
Ek 2: Bazı Ülkelerde Enerji Göstergeleri (Elektrik Tüketimi, CO ₂ Emisyonu, Kişi Başına Enerji Tüketimi, Kişi Başına Elektrik Tüketimi, Kişi Başına CO ₂).....	87
Ek 3: 2007 Yılından İtibaren Yürürlüğe Konulan Enerji Verimliliği Mevzuatı	88
Ek 4: 2013 Yılı Desteklenmesine Karar Verilen Verimlilik Artırıcı Projeler	90
Ek 5: Kaynakların Alt Isıl Değerleri ve Petrol Eşdeğerine Çevrim Katsayıları	91
Ek 6: Dondurulmuş Mısır Üretim Prosesi Akış Şeması	92
Ek 7: Tesis Yerleşim Planı	93
Ek 8: Tüm üretim hattı için Grassmann Diyagramı.....	94
ÖZGEÇMİŞ	

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler

c	Birim ekserji maliyeti
\dot{C}	Maliyet akısı
C_f	Yakıtın kalorifik değeri
CRF	Yatırım dönüşüm oranı
c_p	Özgül ısı
\dot{E}	Enerji geçişi
E_F	Isıl enerji girişi
$E_{k\ddot{u}tle}$	Kütle ile enerji geçişi
E_m	İşgücü enerji girişi
E_P	Makinenein elektrik enerjisi tüketimi
$\dot{e}x$	Birim ekserji akısı
$\dot{E}x$	Ekseji akısı
$\dot{E}x_D$	Ekserji yokoluşu
$\dot{E}x_Q$	Isı geçişine bağlı ekserji akısı
h	Özgül entalpi
\dot{I}	Tersinmezlik
$\dot{I}P$	İyileştirme potansiyeli
i	Yıllık faiz oranı
\dot{m}	Kütlesel debi
n	Sistemin ömrü
N	Personel sayısı
η	Motor verimi
η_I	Birinci yasa verimi
η_{II}	Ekserji verimi
\dot{Q}	Isı geçişi
P	Nominal motor gücü
PEC	Yatırım maliyeti
P_0	Ölü hal basıncı
R_{ex}	Ekserji yokoluşunun yatırım maliyetine oranı
s	Özgül entropi
$S_{\ddot{u}retim}$	Entropi üretimi
t	Çalışma süresi
T	Sıcaklık
t_{op}	Sistemin yıllık toplam çalışma saati
V	Hız
\dot{Z}^T	Saatlik indirgenmiş yatırım
\dot{Z}^{CI}	İşletme maliyeti
\dot{Z}^{OM}	Bakım-onarım maliyeti
W	Kullanılan yakıt miktarı
\dot{W}	İş geçişi
\dot{W}_{tr}	Tersinir iş
ΔE_{sistem}	Sistemin toplam enerjisindeki değişim
ϕ	İşletme ve bakım maliyet faktörü

Kısaltmalar

EEA	Eksergoekonomik Analiz
EİE	Elektrik İşleri Etüt İdaresi Genel Müdürlüğü
ENVER	Enerji Verimliliği
ENVERDER	Enerji Verimliliği Derneği
EPDK	Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu
ETK	Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı
EVET	Enerji Verimli Endüstriyel Tesis
EVÜ	Enerji Verimli Ürün
EXCEM	Ekserji-Maliyet-Enerji-Kütle Analizi
GEF	Küresel Çevre Fonu
GSMH	Gayri Safi Milli Hasıla
KOBİ	Küçük ve Orta Büyüklükteki İşletmeler
KOSGEB	Küçük ve Orta Ölçekli İşletmeleri Geliştirme ve Destekleme Dairesi Başkanlığı
LİFO	İlk Giren İlk Çıkar Prensibi
MOPSA	Modifiye Üretken Yapı Analizi
OSBÜK	Organize Sanayi Bölgeleri Üst Kuruluşu
PRECO	Ürün Ekserjetik Maliyeti Yöntemi
SENER	Sanayide Enerji Verimliliği Proje Yarışmaları
SEVAP	Sanayide Enerji Verimliliğinin Artırılması Projeleri
SET	Özgül Enerji Tüketimi
SPECO	Özgül Ekserji Maliyetleme Yaklaşımı
UETM	Ulusal Enerji Tasarruf Merkezi
VAP	Verimlilik Artırıcı Projeler
TEC	Ekserjetik Maliyet Teorisi
TECD	Ekserjetik Maliyet Teorisi-Ayırma Yöntemi
TEP	Ton Eşdeğer Petrol
TEVEM	Türkiye Enerji Verimliliği Meclisi
TFA	Termoekonomik Fonksiyonel Analiz
TSE	Türk Standartları Enstitüsü
TTGV	Türk Teknoloji Geliştirme Vakfı
UNDP	Birleşmiş Milletler Kalkınma Programı
UNIDO	Birleşmiş Milletler Sınai Kalkınma Örgütü
YEGM	Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. Türkiye’de yerli enerji kaynakların kullanım oranları	5
Şekil 2.2. 2011 yılı sanayi sektöründe enerji tüketiminin kaynaklara göre dağılımı	8
Şekil 2.3. Sanayi sektöründe enerji maliyetlerinin % dağılımı	9
Şekil 2.4. Uluslararası standart sanayi sınıflamasına göre ihracat	11
Şekil 2.5. Gıda ürünleri ve içecekler grubunun 2001-2013 yılları arasındaki ihracat ve ithalat değişimi	11
Şekil 2.6. Meyve ve sebze ihracatının canlı hayvanlar ve gıda maddeleri içerisindeki payı	12
Şekil 2.7. Tersinir iş ile ekserji arasındaki ilişki	27
Şekil 3.1. Elektrik, doğalgaz ve toplam enerji tüketimlerinin ortalama değerleri (2010, 2011 ve 2012 yılları için)	32
Şekil 3.2. Dondurulmuş gıda üretim miktarı ve özgül enerji tüketimi	33
Şekil 3.3. 50 bin ton’dan fazla mısır üretimine sahip iller	34
Şekil 3.4. Açık alanda bulunan kabuk soyma makinesine iletim hattının genel görünümü	35
Şekil 3.5. Kabuk soyma mekanizması	36
Şekil 3.6. Taneleme makinelerinin yerleşimi	36
Şekil 3.7. Taneleme makinesinden koçanların ayrılması	37
Şekil 3.8. Mısır tamburu	37
Şekil 3.9. Vidalı blanşör	38
Şekil 3.10. Sarsak	39
Şekil 3.11. Soğutma tamburu	39
Şekil 3.12. Bireysel hızlı dondurma yöntemi (BHD)	40
Şekil 3.13. Bireysel hızlı dondurucu (BHD) çalışma prensibi (1: ürün girişi, 2: iletim bandı, 3: ürün çıkışı, 4: evaporatör, 5: fan	40
Şekil 3.14. Enerji analizörü bağlantı şeması	41

Şekil 3.15. Portatif sıvı debimetresinin bağlantı şekli.....	42
Şekil 3.16. Dondurulmuş mısır üretiminin enerji akış şeması	44
Şekil 4.1. Enerji girdilerinin dağılımı.....	52
Şekil 4.2. Makinelerin toplam enerji tüketimindeki payları.....	52
Şekil 4.3. Her bir makinanın enerji girdi miktarları	53
Şekil 4.4. Makinelerde meydana gelen enerji kaybı dağılımları	55
Şekil 4.5. Makinelerdeki giren, çıkan ve yokolan ekserji değerleri ile bağlı tersinmezlikleri	56
Şekil 4.6. Makinelerin enerji, ekserji verimleri ile iyileştirme potansiyeli değerleri	57
Şekil 4.7. Besleme sarsağının Sankey diyagramı.....	58
Şekil 4.8. Kabuk soyma makinesinin Sankey diyagramı	58
Şekil 4.9. Mısır taneleme makinesinin Sankey diyagramı	59
Şekil 4.10. Mısır tamburunun Sankey diyagramı.....	59
Şekil 4.11. Blanşörün Sankey diyagramı	60
Şekil 4.12. Su alma sarsağının Sankey diyagramı.....	60
Şekil 4.13. Soğutma tamburunun Sankey diyagramı	61
Şekil 4.14. BHD'in Sankey diyagramı.....	61
Şekil 4.15. Besleme sarsağının Grassmann diyagramı.....	62
Şekil 4.16. Kabuk soyma makinesinin Grassmann diyagramı	62
Şekil 4.17. Mısır taneleme makinesinin Grassmann diyagramı	63
Şekil 4.18. Mısır tamburunun Grassmann diyagramı.....	63
Şekil 4.19. Blanşörün Grassmann diyagramı	64
Şekil 4.20. Su alma sarsağının Grassmann diyagramı	64
Şekil 4.21. Soğutma tamburunun Grassmann diyagramı	65

Şekil 4.22. BHD'in Grassmann diyagramı.....	65
Şekil 4.23. Prosesin tüm akım noktalarındaki ekserji maliyetleri	69
Şekil 4.24. Kazanda 1 ton suyu buharlaştırmak için gerekli yakıt miktarı.....	70
Şekil 4.25. Kazan ön görünüşü ve termal görüntüsü.....	71
Şekil 4.26. Vanaların termal görüntüsü	71
Şekil 4.27. Kazanın üstünde bulunan sayaç bağlantılarındaki termal görüntü.....	71
Şekil 4.28. Flanşlardaki termal kayıpların görüntüsü.....	72
Şekil 4.29. Kondens tankının ve tanka su giriş / çıkış botularının termal görüntüsü	72

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1. Ülkelerin 2011 yılı nüfus, enerji ve elektrik tüketim miktarı (Koç ve Şenel 2013).....	4
Çizelge 2.2. Türkiye'nin enerji dengesi	5
Çizelge 2.3. Sektörel enerji tüketimi (bin Tep) (Anonim 2013c)	8
Çizelge 2.4. Sanayide enerji tasarruf potansiyeli, 2010	9
Çizelge 2.5. Dondurulmuş gıda üretiminde başlıca üretim giderlerinin maliyet içindeki oranları	13
Çizelge 3.1. Ürün gruplarına göre üretim miktarları (ton)	31
Çizelge 3.2. Fabrikada tüketilen enerji miktarları ve maliyetleri	31
Çizelge 3.3. 110-120 g tatlı mısırın ortalama besin bileşimi.....	34
Çizelge 3.4. Veri toplamada kullanılan cihazlar ve özellikleri	42
Çizelge 3.5. Kontrol hacimlerinin kütle denklikleri ve enerji korunumu denge eşitlikleri.....	46
Çizelge 3.6. Kontrol hacimlerinin ekserji denge eşitlikleri ve ekserji verimleri.....	47
Çizelge 3.7. Eksergoekonomik denge eşitlikleri	48
Çizelge 4.1. Makinelerin güç tüketimlerinin hesaplanması	50
Çizelge 4.2. Elektrik, ısı ve işgücü enerji girdileri.....	51
Çizelge 4.3. Fabrika üretim hattının madde, enerji ve ekserji bilançosu	54
Çizelge 4.4. Donmuş mısır üretim alanında enerji ve ekserji dengesi	55
Çizelge 4.5. Makinelerin yatırım maliyetleri ve yıllık çalışma süreleri	66
Çizelge 4.6. Dondurulmuş mısır üretimi için maliyet analizi	66
Çizelge 4.7. Makinelerin ilk yatırım ve işletme maliyetleri.....	67
Çizelge 4.8. Prosesin belirtilen akım noktalarındaki su akışı için ekserji maliyetleri.....	67
Çizelge 4.9. Prosesin akım noktalarında tüketilen toplam enerji girdisi (elektrik, iş gücü ve ısı enerjisi) için ekserji maliyetleri	68

Çizelge 4.10. Prosesin akım noktalarında tüketilen buhar enerji girdisi için ekserji maliyeti.....	68
Çizelge 4.11. Prosesin belirtilen akım noktalarındaki mısır akışı için ekserji maliyetleri	68

1. GİRİŞ

Ekonomik ve sosyal kalkınmanın önemli girdilerinden biri olan enerji, bir toplumun yaşam standardının yükseltilmesinde ve sürdürülebilir kalkınmasının sağlanmasında önemli rol oynar. Türkiye gibi ekonomisi hızla büyüyen ülkelerin enerji talepleri de hızla artmaktadır. Enerji rezervlerinin giderek azaldığı, ancak ihtiyacının sürekli arttığı dünyada, enerji kaynaklarının en etkin bir biçimde kullanılması önemli hale gelmiştir (Narin 2006).

Sanayi sektörü hem günümüzde hem de artan bir oranda gelecekte enerji tüketimi üzerindeki en önemli belirleyicidir. Enerji verimliliği çalışmaları, herhangi bir endüstride enerji ve yakıtın nasıl kullanıldığı hakkında daha fazla bilgi vermekte, iyileştirme olanaklarının olduğu alanların belirlenmesinde de yardımcı olmaktadır (Hepbaşlı 2010).

1970'li yılların sonlarından itibaren pek çok sanayileşmiş Batı ülkesinde enerji tasarrufu faaliyetleri özellikle sanayi sektöründe yoğunlaşmıştır. Faaliyetlerin öncelikle bu alanda yoğunlaşmasının bir dizi sebebi vardır:

- Enerji tasarrufu potansiyeli diğer sektörlerden, örneğin özel mülkiyetli konutlardan, daha az bile olsa, bu tasarruflar görece daha az maliyetle gerçekleştirilebilmektedir ve yatırım ortalama üç seneden daha kısa sürede kendisini amorti etmektedir,

- Enerji tasarrufu önlemleri genellikle sanayinin modernizasyonu ve rekabet gücünün geliştirilmesinde belirgin bir rol oynayabilmektedir,

- Enerji muhasebesi ve enerji maliyetlerinin anlaşılması, sanayide diğer alanlara göre daha bilinen bir olgudur.

Enerji verimliliği çalışmaları kapsamında ele alınan bir ısı sistemine elektrik (iş) veya yakıt olarak giren enerjinin, ısı sistemden yine enerji olarak çıkacağı, enerjinin yok edilemeyeceği termodinamiğin birinci kanununun bilinen sonucudur. Enerji tüketilemediğine göre, akla ilk gelen soru ısı sistemlerde neyin tüketildiği, neyin verimli kullanılması gerektiğidir. Isı sistemlerde tüketilen enerji değil, enerjinin iş yapabilme yeteneği olarak tanımlanan kalitesidir. Enerjinin iş yapabilme yeteneğinin ölçüsü de ekserji olarak adlandırılmaktadır (Yüncü 2010). Son yıllarda üretim proseslerinin iyileştirme potansiyelleri incelenirken enerji verimliliği çalışmalarına ek olarak, ekserji ve eksergoekonomik analizlerin uygulama alanlarının da hızla yaygınlaştığı görülmektedir.

Ekserji analizi, ısı sistemlerde kaybın niteliğinin, yerinin ve miktarının belirlenmesinde yardımcı olmakta, kayıpların azaltılması için uygulanması gereken yöntemler hakkında da bilgi vermekte ve daha verimli sistemler tasarlamak için yol göstermektedir. Eksergoekonomi ise sistemdeki kayıpların ve tersinmezliklerin parasal bilançolarını ortaya çıkarmak için kullanılan bir yöntemdir. Enerji kaynaklarının ekonomik kullanılması için ısı sistemlerin geliştirilmesi ve verimli işletilmesine karar veren temel parametrenin parasal değer ve maliyet olduğu göz önüne alındığında,

termodinamik, ısı transferi gibi ısı bilimleri ile parasal değerin birlikte değerlendirilmesi kaçınılmaz olmaktadır (Yüncü 2010).

Bu çalışmada, enerji verimliliği çalışmalarının Türk sanayisi için önemi vurgulanmış olup, sanayi sektörü içerisinde yatırım, üretim ve istihdam yapısı ile ülke ekonomisinin en dinamik sektörlerinden birisi haline gelen gıda sektöründe faaliyet gösteren bir işletme, dondurulmuş mısır üretim prosesinin üç temel girdisi olan enerji, işçilik ve malzeme kullanım değerleri ele alınarak enerjetik, ekserjetik ve egsergoekonomik açıdan incelenmiştir.

2. KURAMSAL BİLGİLER ve KAYNAK TARAMALARI

2.1. Dünya’da ve Türkiye’de Enerji Kullanımı

Dünyada nüfus artışı, sanayileşme ve kentleşme olguları ve küreselleşme sonucu artan ticaret olanakları doğal kaynaklara ve enerjiye olan talebi giderek artırmaktadır. Yapılan projeksiyon çalışmaları, mevcut enerji politikaları ve enerji arzı tercihlerinin devam etmesi halinde, 2035 yılına kadar dünya birincil enerji talebinin her yıl ortalama %1.5 oranında artacağına işaret etmektedir. Bu durumda dünya birincil enerji talebi 2012 yılındaki 12 476 milyon ton eşdeğer petrol (Mtep¹) düzeyinden (Ek 1) 2035 yılında 17 571 Mtep düzeyine ulaşacaktır (Anonim 2014d).

Enerji kaynakları açısından incelendiğinde, 2013 yılı itibariyle dünyada birincil enerji kaynak ihtiyacının %33.1’i petrolden, %29.9’u kömürden, %23.9’u doğalgazdan ve geri kalanı diğer kaynaklardan sağlanmaktadır (IEA 2013). Yakıtların çeşitlenmesi ve alternatif enerji kaynaklarının artmasına rağmen, fosil kaynaklı yakıt pazarının üstünlüğünü korumaya devam etmesi ve 2035 yılına kadar yaklaşık %26-27 oranında artması beklenmektedir. Bunun yanında fosil olmayan kaynaklar, nükleer ve yenilenebilir enerji kaynaklarındaki büyümenin ise yaklaşık %5-6 oranında olacağı uzmanlar tarafından öngörülmektedir (BP 2014).

Dünyada en fazla enerji tüketimi gerçekleştiren ülkeler sırasıyla; Çin, ABD, Rusya, Hindistan ve Japonya olurken; bu ülkelerin aynı zamanda en fazla CO₂ emisyonu yaydığı belirlenmiştir. Elektrik enerjisi tüketimi en yüksek olan ülkeler ise sırasıyla; Çin, ABD, Japonya, Rusya ve Hindistan’dır (Çizelge 2.1). Türkiye’nin enerji tüketimi 2011 yılında 114.4 Mtep olup, ülkemiz dünyada enerji tüketimi en yüksek 23. ülke konumundadır. Elektrik enerjisi tüketimi ise 2011 yılında, bir önceki yıla göre %8’lik bir artışla 228.41 milyar kWh’e ulaşmıştır.

Bir ülkenin gelişmişlik seviyesi, kişi başına tüketilen elektrik enerjisi ve enerji yoğunluğuna² göre değerlendirilir. Kişi başına elektrik enerjisinin yüksek olması, o ülkenin ekonomik kalkınmışlık seviyesinin ve refah düzeyinin yüksekliğini gösterir. Enerji yoğunluğunun düşüklüğü ise aynı miktar enerji ile daha fazla iş yapılması anlamına gelmektedir. Dünyada kişi başına elektrik enerjisi tüketimi yüksek olan ülkeler sırasıyla; İzlanda, Norveç, Kuveyt, Katar, Kanada, İsveç ve ABD şeklindedir. Bu ülkelerden Norveç, İsveç ve ABD’nin enerji yoğunlukları daha düşük olduğundan refah düzeylerinin de daha yüksek olduğu söylenebilir. Dünyada 2011 yılı kişi başına enerji tüketimi 1.87 tep (ton eşdeğer petrol), kişi başına elektrik enerjisi tüketimi 3155 kWh olarak gerçekleşmiştir (Ek 2). Türkiye ise aynı yıl kişi başına 1.59 tep’lük enerji tüketimi, 3058 kWh’lik elektrik enerjisi tüketimiyle dünya ortalamasının altında yer almaktadır (Koç ve Şenel 2013, Bilginoğlu ve Dumrul 2012). İktisadi büyümeye destek

¹ Tep (ton petrol eşdeğeri), çeşitli enerji kaynaklarının miktarlarını tanımlamak için kullanılmakta ve kg, m³, ton, kWh gibi farklı birimleri aynı düzlemde ifade etmektedir. 1 Tep, 1 ton petrolün yakılmasıyla elde edilecek enerjiyi vermektedir.

² Enerji yoğunluğu, birim hasıla başına kullanılan birincil veya nihai enerji tüketimini gösteren ve tüm dünyada kullanılan bir göstergedir.

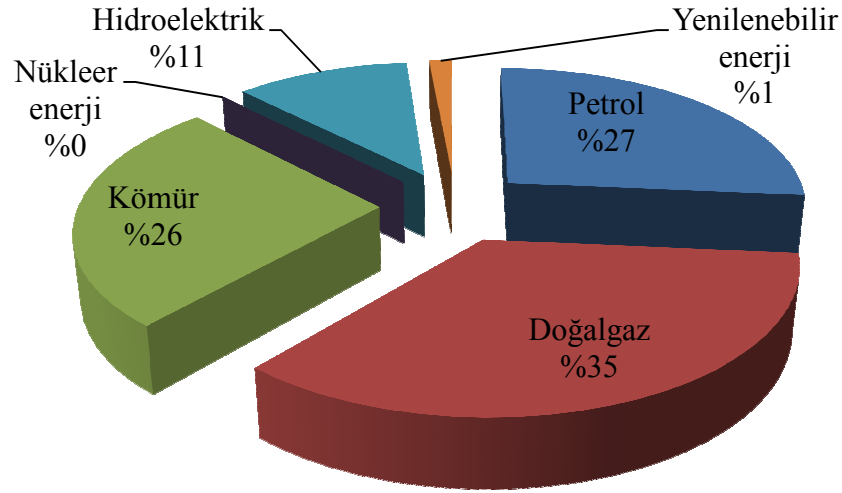
olan ve sosyal refaha katkıda bulunan bir üretim ve tüketim dengesi için, Türkiye'nin yeterli, güvenilir ve yerli kaynaklardan elde edilen bir enerji yapısını sağlaması ve enerjide dışa bağımlılığı azaltması gerekmektedir.

Çizelge 2.1. Ülkelerin 2011 yılı nüfus, enerji ve elektrik tüketim miktarı (Koç ve Şenel 2013)

Ülkeler	Nüfus (milyon)	Enerji Tüketimi (Mtep)	Elektrik Tüketimi (milyar kWh)	CO ₂ Emisyonu (milyon ton)
Çin	1348.10	2613.21	4700.07	8979.14
ABD	313.10	2269.33	4308.00	6016.61
Rusya	142.80	685.63	1051.59	1675.04
Hindistan	1242.50	559.10	1006.17	1797.99
Japonya	126.50	477.59	1104.18	1307.40
Kanada	34.30	330.27	607.59	624.44
Almanya	82.10	306.41	614.50	802.82
Brezilya	196.70	266.88	501.32	481.89
Kore	48.40	263.01	520.10	738.06
Türkiye	74.70	114.48	228.41	323.40
Dünya	6978.30	12274.62	22018.12	34032.75

2.2. Türkiye'nin Enerji Dengesi ve Dışa Bağımlılığı

Türkiye, sanayileşmekte ve kalkınmakta olan bir ülke olması nedeniyle enerji tüketimi de hızla artmaktadır. 2012 yılında ülkemizin toplam birincil enerji tüketimi 120.0 milyon tep, üretimi ise 31.9 milyon tep olarak gerçekleşmiştir (Anonim 2014a). Enerji tüketiminde %35.0'lık pay ile doğalgaz ilk sırayı alırken, bunu %26.4 ile petrol, %26.3 ile kömür takip etmektedir. %12.4'lük bölüm ise hidroelektrik dahil olmak üzere yenilenebilir enerji kaynaklarından karşılanmaktadır (Şekil 2.1). Yapılan projeksiyonlara göre, birincil enerji tüketimimizin 2020 yılına kadar olan dönemde yıllık ortalama %4 oranında artması beklenmektedir (Anonim 2014d).



Şekil 2.1. Türkiye’de yerli enerji kaynaklarının kullanım oranları (Anonim 2014d)

Türkiye’de yerli kaynaklardan enerji üretiminin enerji tüketimini karşılama oranı yıllar içerisinde hızla azalmıştır. Bu oran, 2001 yılında %32.6 iken, 2012 yılında %26.6 olarak gerçekleşmiştir (Koç ve Şenel 2013). Bu da enerji ihtiyacımızın yaklaşık üçte ikisini ithal etmek zorunda olduğumuzu göstermektedir (Anonim 2013c, 2014a). Enerjide dışa bağımlılık 2001’de %67.4, 2002 yılında %69 iken, 2012 yılında %73.4 olmuştur (Çizelge 2.2). Özellikle petrol ve doğalgazın diğer enerji kaynaklarına göre enerji tüketimindeki payının yüksek olması enerjide dışa bağımlılığı hızla artırmaktadır.

Çizelge 2.2. Türkiye’nin enerji dengesi (Anonim 2014a)

Yıllar	Tüketim (bin TEP)	Yerli Üretim (bin TEP)	%	İthal Edilen (bin TEP)	%
2001	75402	24576	32.6	50826	67.4
2002	78331	24281	31.0	54050	69.0
2003	83826	23783	28.4	60043	71.6
2004	87818	24332	27.7	63486	72.3
2005	91074	24549	27.0	66525	73.0
2006	99642	26580	26.7	73062	73.3
2007	107627	27454	25.5	80173	74.5
2008	106421	29209	27.4	77212	72.6
2009	106138	30328	28.6	75810	71.4
2010	109266	32487	29.7	76779	70.3
2011	114480	32229	28.2	82251	71.8
2012	120093	31964	26.6	88129	73.4

Türkiye’nin toplam enerji ithalatının faturası, 2012 yılında bir önceki yılda yılında gerçekleşen 54.1 milyar dolarlık rakama kıyasla, %11.1 artışla 60.1 milyar dolara yükselmiştir (Anonim 2013c). 2013 yılındaki ithalatı ise %7 oranında azalarak 55.9 milyar dolara mal olmuştur. Türkiye, ithalat için ödediği her 100 doların 22.21 dolarını enerji için harcamaktadır. Son 10 yılda enerji ithalatına harcanan bedel 385.2

milyar dolardır ve 2030 yılına kadar bu rakamın 1.4 trilyon dolara ulaşacağı beklenmektedir (Anonim 2014b). Enerji ithalatının yakıt türlerine göre bedeline bakıldığında, 2011 yılında kömür için 19.6 milyar dolar, petrol ve doğalgaz için 34.4 milyar dolar ödenmiştir (Anonim 2012).

Ülkemizin enerji rezervleri incelendiğinde, taşkömürü rezervi 1334.6 milyon ton, linyit rezervi 11444.9 milyon ton, petrol rezervi 44.3 milyon ton, doğalgaz rezervi 6.2 milyar m³ olarak belirlenmiştir (Anonim 2013c; Koç ve Şenel 2013). Son 10 yılda yapılan yatırımlar ile Temmuz 2012 sonu itibariyle Türkiye elektrik kurulu gücü 55139.2 MW, 2013 yılında ise 64044 MW seviyelerine ulaşmıştır. 2013 yılı verilerine göre elektrik üretimimizin %43.8'i doğalgazdan, %25.4'ünü kömürden, %24.8'i hidrolikten, geri kalanı sıvı yakıtlar ve yenilenebilir enerji kaynaklarından sağlanmaktadır (Dursun 2013; Anonim 2014c).

Ülkemizdeki petrol dengesine bakılırsa; 2011 yılı ham petrol üretiminin 2.4 milyon ton, ortalama günlük üretimin 45 bin varil olduğu belirlenmiştir. Buna karşılık aynı yıl ithal edilen ham petrolün 18.1 milyar ton ve buna ödenen tutarın 21 milyar \$'ı aştığı görülmektedir. Kaynak ülke olarak bakıldığında İran, Rusya, Suudi Arabistan, Kazakistan ve Irak'ın toplam ithalat içindeki payı %97'den fazladır (Koç ve Şenel 2013).

Türkiye'de doğalgaz tüketimi 1987 yılından bu yana sürekli artan bir eğilim içindedir. 1987 yılında 500 milyon m³ olan doğalgaz tüketimi, 2011 yılı sonunda, 87.75 kat artarak 43.874 milyar m³ e ulaşmıştır. Aynı yıl içerisinde ithal edilen doğalgaza ödenen toplam tutar 16 milyar \$'ı bulmuştur. İthal edilen doğalgaz büyük oranda; Rusya (%57.9), İran (%18.7), Cezayir (%9.5) ve Azerbaycan (%8.7)'dan temin edilmektedir. Buna karşılık 2011 yılı doğalgaz üretimimiz 793.4 milyon m³, ortalama günlük üretim 2.17 milyon m³ olup üretimin tüketimi karşılama oranı ise yalnızca %2'dir (Koç ve Şenel 2013; BP 2014).

Ülkemizdeki linyit ve taşkömürünün durumu incelendiğinde; 1974–2011 yılları arasındaki 37 yıllık süreçte linyit üretiminin yıllık 8.4 milyon tondan 73 milyon tona çıkarak 8.7 kat arttığı tespit edilmiştir. Türkiye'de 1974 yılında yıllık yaklaşık 5 milyon ton olan taşkömürü üretimi, 2010 yılına kadar olan süreçte yaklaşık %48 oranında düşerek 2.59 milyon ton düzeyine inmiştir. 2011 yılı taşkömürü üretimi de 2010 yılı üretimine yakın bir düzey olan 2.62 milyon ton seviyelerinde gerçekleşmiştir. Ülkemiz taşkömürü açısından yeterli kaynağa sahip olmadığından dışa bağımlı konumdadır. Bu nedenle son yıllarda ülkemizin kömür ithalatı hızla artış göstermiştir. Bu durumu kömürün konut ve sanayide kullanımının artmasına ve yeni devreye giren ithal kömürlü termik santrallere bağlayabiliriz. Kömür ithalatının faturası 2010'da 3.225 milyar dolar, 2011'de 4.1 milyar dolar düzeyinde seyretmiştir (Anonim 2013c; Koç ve Şenel 2013).

Türkiye net elektrik enerjisi tüketimi 2011 yılında 186.0 milyar kWh iken, 2012 yılında yaklaşık %5 oranında artışla, 194.9 milyar kWh olarak gerçekleşmiştir. Brüt elektrik üretimi ise 2012 yılında 239.5 milyar kWh'tir. EPDK için yapılan bir çalışmada 2015 yılı için 284-293, 2020 yılı için ise 391-418 milyar kWh'lik talep olacağı öngörülmektedir (TMMOB 2012a). 2011 yılında ithalat miktarında bir önceki yıla göre 1.5 kattan fazla artış görülürken, ihracattaki artış ise %36.3 olarak gerçekleşmiştir

(EPDK 2012). 2011 yılına kıyasla, 2012 yılında elektrik enerjisi ithalatı %27.7 oranında artmış, ihracat ise %19 oranında azalmıştır. İthal edilen elektriğin faturası 2011 yılında 4555 GWh için 86.5 milyon dolardır, 2012 yılında ise bu rakam 217 milyon dolara yükselmiştir (EPDK 2012).

2012 yılı rakamlarına göre, enerji talep artışlarını karşılaması beklenen fosil kaynaklarından petrolün 54, doğalgazın 64 ve kömürün ise 112 yıl sonra tükeneceği tahmin edilmektedir. Fosil kaynakların sınırlı olması ile bu kaynaklardaki arz ve fiyat belirsizliği bugün olduğu gibi gelecekte de enerji fiyatlarına artış şeklinde yansımaktadır. Günümüzde yüksek petrol fiyatları, elektrik, doğalgaz fiyatlarında uzun süredir devam eden bölgeler arası farklılıklar birçok ülkede artan enerji maliyetleri, dikkatleri enerji ve ekonominin bütünü arasındaki ilişkiye çevirmektedir (IEA 2013).

Enerji ithalatının dış ticaret açığındaki önemli kalemlerden biri olduğu düşünüldüğünde, enerji verimliliğinin önemi bir kez daha anlaşılmaktadır. Ülkemizde enerji alanında dışa bağımlılığın azaltılmasının, artan enerji ihtiyacının karşılanmasında yerli ve yenilenebilir enerji kaynaklarına yönelmenin ve enerji kullanım verimliliğinin önemi, ülke ekonomisi açısından gün geçtikçe daha da artmaktadır. Türkiye’de yıllık enerji tüketimi %4-5 artarken, elektrik tüketimindeki artış oranı da %7-8 oranındadır ki, iki alanda da Türkiye’nin rakamları dünya ortalamasının iki katıdır. Dünya Enerji Konseyi Türk Milli Komitesi’nin raporlarına göre; Türkiye, öz kaynaklarını harekete geçirdiğinde, 750 milyar kWh elektrik üretebilecektir. Enerji verimliliğinden 58 milyar kWh, santrallerin rehabilitasyonu ile 19 milyar kWh elektrik katkısı sağlanabilir. Türkiye enerji tüketimindeki hızlı büyüme eğiliminden dolayı, büyük bir tasarruf potansiyeline sahiptir. EİE’nin çalışmaları ülkede 2020 yılında, 222 milyon tep birincil enerji talebinde yaklaşık %15 enerji tasarrufu (30 Mtep) potansiyeli bulunulabileceğini göstermektedir. Diğer taraftan Dünya Bankası tarafından yapılan bir çalışmada ise %27 enerji tasarrufu potansiyelinin varlığına işaret edilmektedir. Ancak, belirtilen tüm bu değerlerin kapsamlı analiz çalışmalarıyla teyit edilmesi ve sektörlere göre tekrar değerlendirilmesi doğru olacaktır (TMMOB 2012a).

Bu kapsamda incelendiğinde, sanayi ve bina sektörleri enerji verimliliği iyileştirmeleri için en fazla imkan tanıyan sektörlerdir. Ayrıca, sektörler arasında potansiyel enerji verimliliği kazancında farklılıklar olmasına rağmen, sanayi sektöründeki büyük miktardaki enerji tüketimi bu sektörü enerji verimliliği yatırımlarının teşviği için hedef sektör haline getirmektedir (TMMOB 2012a).

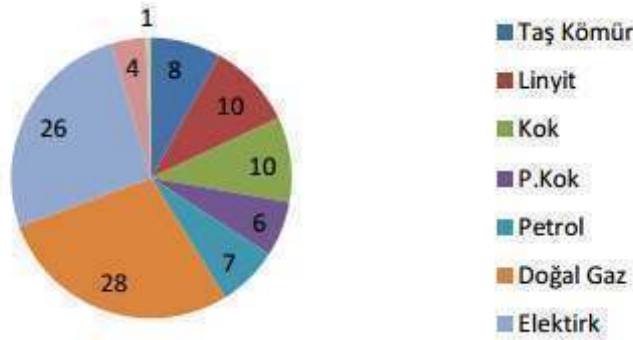
2.3. Türk Sanayisinde Enerji Tüketimi ve Enerji Tasarruf Potansiyelleri

Sanayi sektörü, ülkemiz nihai enerji tüketimi içinde 2011 yılı itibarıyla yaklaşık %26, net elektrik tüketiminde ise %47.3 (TÜİK 2012) pay ile en yüksek tüketime sahip sektördür. Dolayısıyla sanayi sektörü hem günümüzde, hem de artan bir oranda gelecekte enerji tüketimi üzerindeki en önemli belirleyici olmaktadır.

Çizelge 2.3. Sektörel enerji tüketimi (bin tep) (Anonim 2013c)

Yıllar	Sanayi	Ulaştırma	Konut ve Hizmetler	Tarım	Enerji Dışı Kullanım	Toplam Nihai Enerji Tüketimi	Çevrim Sektörü	Birincil Enerji Arzı
2001	21 324	12 000	18 122	2 964	1 638	56 048	-19354	75 402
2002	24 782	11 405	18 463	3 030	1 806	59 486	-18 845	78 331
2003	27 777	12 395	19 634	3 086	2 098	64 990	-18 836	83 826
2004	28 789	13 775	20 952	3 314	2 174	69 990	-18 814	87 818
2005	28 084	13 849	22 923	3 359	3 296	71 510	-19 564	91 074
2006	30 996	14 994	23 677	3 610	4 163	77 440	-22 201	99 642
2007	32 466	17 284	24 623	3 945	4 430	82 748	-24 879	107 627
2008	26 906	15 996	28 323	5 174	3 244	79 642	-26 779	106 421
2009	25 966	15 916	29 466	5 073	4 153	80 574	-25 565	106 138
2010	30 703	15 165	28 944	5 095	3 459	83 367	-25 894	109 260
2011	30 830	15 950	29 974	5 756	4 442	86 952	-27 528	114 480

2011 yılında sanayi sektöründe enerji tüketim oranlarına bakıldığında, sanayi sektöründe doğalgaz ve elektrik kullanım payının neredeyse diğer enerji türlerinin toplamına denk geldiği görülmektedir (Şekil 2.2) (Yalkı 2013).

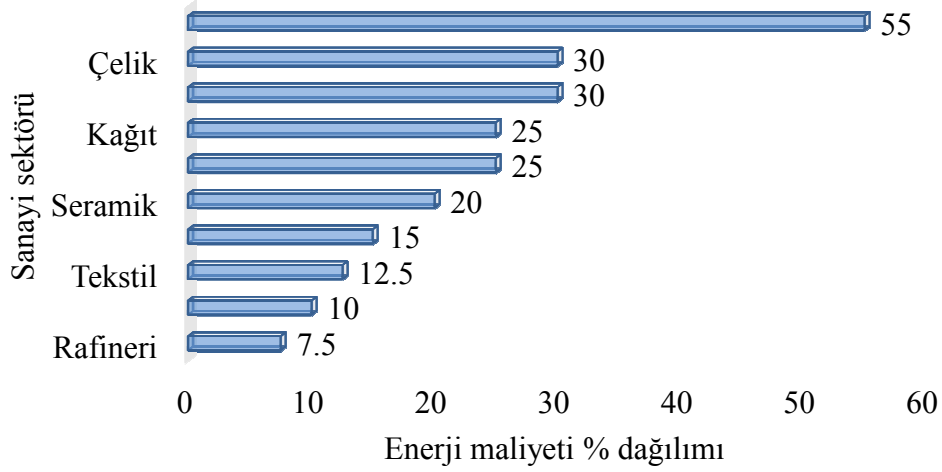


Şekil 2.2. 2011 yılı sanayi sektöründe enerji tüketiminin kaynaklara göre dağılımı (Yalkı 2013)

Sanayide elektrik tüketimi 2011 yılında ortalama 87.9 milyar kWh/yıl, 2012 yılında ise 92.3 milyar kWh/yıl (TÜİK 2012); doğalgaz tüketimi ise 2012 yılında 12.4 milyar m³ (Anonim 2013b) olarak gerçekleşmiştir. Maliyetler açısından bakıldığında; 2013 yılının Ocak-Haziran dönemine ilişkin istatistiklere göre, sanayide 1 kWh elektrik enerjisi için ortalama 24.1 kuruş, 1 m³ doğalgaz için ortalama 89.5 kuruş ödenmiştir (TÜİK 2013). Enerji maliyetleri, sektörde faaliyet gösteren bir fabrikanın özelliklerine bağlı olarak toplam üretim maliyetlerinin önemli bir kısmını oluşturabilir. Ayrı bir kalem olarak dikkate alınması önemlidir (Söğüt ve Oktay 2006). Enerji maliyetleri; kimya, alüminyum, çimento, demir-çelik, kağıt, cam ve rafineri gibi enerji yoğun sektörlerde-özellikle nihai ürünün uluslararası ticarete konu olduğu alanlarda-hayati önem arz etmektedir. Enerji yoğun sektörler, dünya ölçeğinde sanayideki katma değer beşte birini, sanayi istihdamının dörtte birini ve endüstriyel enerji kullanımının %70'ini teşkil etmektedir (IEA 2013).

Sektörlere göre enerji maliyetlerinin dağılımı Şekil 2.3'te verilmiştir. Ülkemizde çimento sektöründe enerji maliyetlerinin toplam üretim maliyetleri içerisindeki payı %55 ile en yüksek düzeydedir. Bu çalışmanın konusu kapsamında yer alan gıda

sektöründe, enerji maliyetlerinin payı %10 ile belirtilen diğer sektörlerden düşük olsa da, Türk sanayisinde sektörlerin üretim payları dikkate alındığında gıda sektörü %18.8 ile birinci sıradadır. Bunu tekstil sektörü %16.3, petrol ürünleri sektörü %8.8, demir-çelik sektörü %6.2, otomotiv sektörü %5.8 ve kimya sektörü %5 pay ile takip etmektedir (Enverder ve Tevem 2010; Ünlü 2010)



Şekil 2.3. Sanayi sektöründe enerji maliyetlerinin % dağılımı (Ünlü 2010)

Sanayide sektörlerin enerji tüketimindeki payları ve enerji tasarruf potansiyelleri Çizelge 2.4'te görülmektedir (TMMOB 2012b). Bu değerlere göre sanayide yaklaşık karşılığı 5.7 milyon tep olan %18.6 enerji tasarrufuna işaret edilmektedir.

Çizelge 2.4. Sanayide enerji tasarruf potansiyeli, 2010 (TMMOB 2012b)

Sanayi Alt Sektörü	Alt Sektörün Sanayi Enerji Tük.de Payı (%)	Sanayi Enerji Tüketimi (tep)	Enerji Tasarrufu Potansiyel Oranı (%)	Enerji Tasarrufu Miktarı (tep)	Sanayi Alt Sek.nün GSYH'de Payı (%)	Sanayi Sektörü GSYH (Cari Temel Fiyatlarla, TL)	Enerji Yoğ. E(tep)/1000 TL
Toplam Sanayi	100	30 628 000	18.63	5 705 996	100	212 223 685 709	0.14
Makine Teçhizat	3	918 840	10	91 884	25	53 055 921 427	0.02
Gıda	7.5	2 297 100	25	574 275	14	29 711 315 999	0.08
Tekstil	8.5	2 603 380	35	911 183	14.7	31 196 881 799	0.08
Kağıt	4	1 225 120	20	245 024	4.9	10 398 960 600	0.12
Kimya	12	3 675 360	18	661 565	10.8	22 920 158 057	0.16
Taş Toprak	19	5 819 320	18	1 047 478	5.9	12 521 197 457	0.46
Ana Metal	25	7 765 000	20	1 531 400	5.8	12 308 973 771	0.62
Diğer	21	6 431 880	10	643 188	18.9	40 110 276 599	0.14

Gerek sera gazı emisyonlarının azaltılması, gerekse enerji maliyetlerinin düşürülmesi için geliştirilen enerji politikalarında hedef, enerjiyi en verimli şekilde

kullanabilecek sistemleri geliştirerek, üretimin en az enerji harcayarak karşılanmasının sağlanmasıdır. Verimliliğin artmasına yönelik tedbirler, sanayide maliyetleri düşürmenin yanı sıra, enerji fiyatlarının hane bütçesine olan etkisini azaltmakta ve enerji ithalatının sebep olduğu maliyet yükünün hafifletilmesine de katkı sağlamaktadır. Öte yandan, enerji verimliliğinde halen kullanılmayı bekleyen geniş bir potansiyel vardır. Enerji verimliliğinin ekonomik potansiyelinin üçte ikisinin halen değerlendirmeyi beklediği öngörülmektedir (IEA 2013). Bu anlamda sanayi sektörü, sağlanabilecek tasarrufun ciddi getirileri olması nedeniyle enerji verimliliği yatırımları açısından hedef sektördür (Türkey vd 2012).

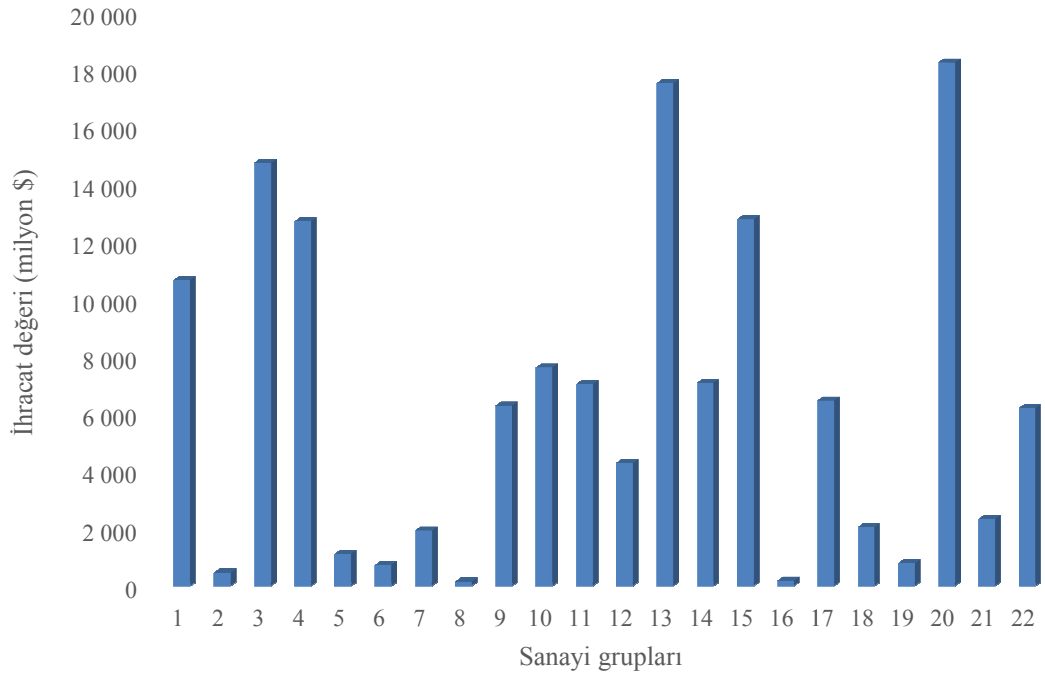
2.3.1. Gıda ve dondurulmuş gıda sektörüne genel bakış

Türk ekonomisinin önemli yapı taşlarından biri olan gıda sanayi; yatırım, üretim ve istihdam yapısı ile ülke ekonomisinin en dinamik sektörüdür. Gıdanın, insan yaşamının en temel ihtiyacı olması ve toplum sağlığı açısından kritik önem taşıması, gıda üretim-tüketim zincirini günümüzün en önemli konularından biri haline getirmiştir.

Son 10 yılda, Türk gıda ve içecek sanayisinin gayri safi milli hasıla (GSMH) içerisinde 300 milyar liraya yaklaşan payı, 40 bine ulaşan işletmesi ve 400 bini aşan çalışanıyla ülkenin en dinamik ve üretken sektörlerinden biri haline gelmiştir.

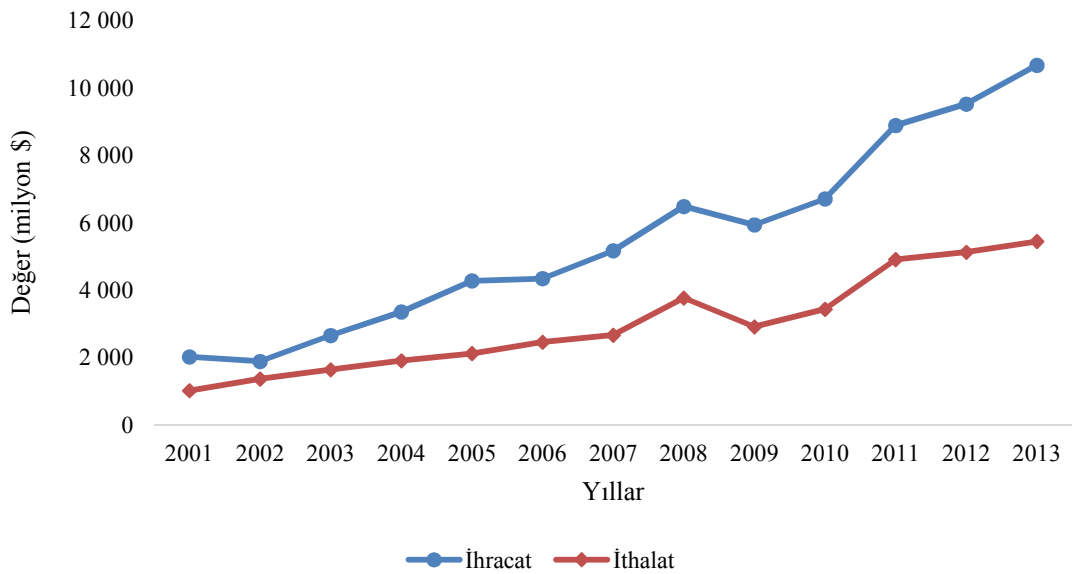
2012 yılı verilerine göre, gıda ürünleri ve imalatı yapan işyeri sayısı 40 493 ve sigortalı çalışan sayısı 408 568'dir. Gıda ve içecek sanayi işletmelerinin imalat sanayi içindeki payı 2009 yılı itibarıyla %12.5'tir. 2010 yılı cirosu yaklaşık 83 milyar TL ve bunun toplam imalat sanayi içindeki payı ise %15'tir (Anonim 2013d). Tez çalışmasının yapıldığı Antalya ilinde ise aynı faaliyet grubunda 2012 yılı itibarıyla 954 işyeri 7640 çalışan mevcuttur (SGK 2012).

Dış ticaret verilerine göre, 2013 yılında gıda ürünleri ve içecekler grubunun ihracattaki değeri 22 sanayi grubu içerisinde 6. sırada yer almaktadır (Şekil 2.4) (TÜİK 2014a). İthalatta ise 9. sıradadır. İmalat sektörü içerisinde, gıda ürünleri ve içecekler grubunun parasal değerine göre, ihracattaki payı %8 (yaklaşık 10.5 milyar dolar), ithalattaki payı ise (5.4 milyar dolar) %3'tür (TÜİK 2014a). 2001 yılından bu yana incelendiğinde, ihracat ve ithalatın bu ürün gruplarında hızla arttığı görülmektedir (Şekil 2.5). Son 10 yıldaki gelişmelerden sonra Türkiye, dünyanın 17'nci büyük ekonomisi olurken, gıda ve içecek sektörü ile dünyanın 15'inci büyük ihracatçısı konumuna yükselmiştir (Anonim 2013d).



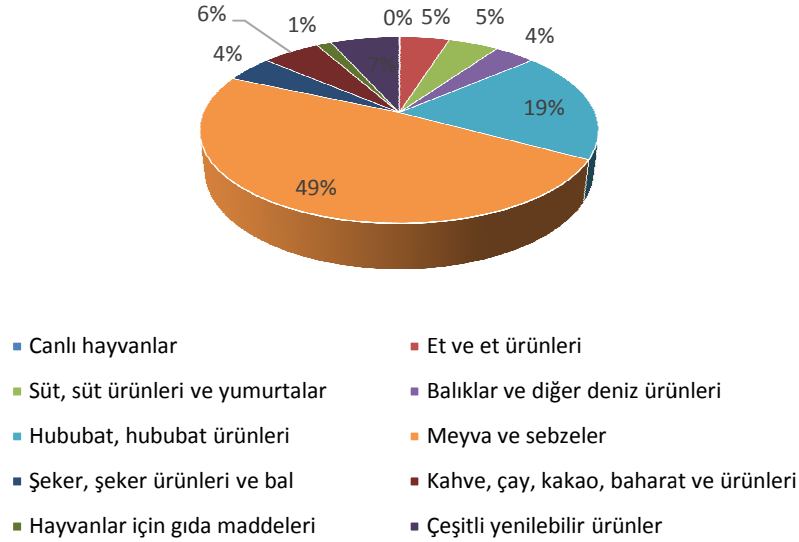
Şekil 2.4. Uluslararası standart sanayi sınıflamasına göre ihracat (TÜİK 2014a)

1: Gıda ürünleri ve içecek, 2: Tütün ürünleri, 3: Tekstil ürünleri, 4: Giyim eşyası, 6: Deri, bavul, çanta ve ayakkabı, 7: Ağaç ve mantar ürünleri (mobilya hariç), 8: Kağıt ve kağıt ürünleri, 8: Basım ve yayım; plak, kaset vb., 9: Kok kömürü, rafine edilmiş petrol ürünleri ve nükleer yakıtlar, 9: Kimyasal madde ve ürünler, 10: Plastik ve kauçuk ürünleri, 11: Metalik olmayan diğer mineral ürünler, 12: Ana metal sanayi, 13: Metal eşya sanayi (makine ve teçhizat hariç), 14: Başka yerde sınıflandırılmamış makine ve teçhizat, 16: Büro, muhasebe ve bilgi işlem makinaları, 17: Başka yerde sınıflandırılmamış elektrikli makine ve cihazlar, 18: Radyo, televizyon, haberleme teçhizatı ve cihazları, 19: Tıbbi aletler, hassas optik aletler ve saat, 20: Motorlu kara taşıtı ve römorklar, 21: Diğer ulaşım araçları, 22: Mobilya ve başka yerde sınıflandırılmamış diğer ürünler



Şekil 2.5. Gıda ürünleri ve içecekler grubunun 2001-2013 yılları arasındaki ihracat ve ithalat değişimi (TÜİK 2014a)

Tarıma dayalı gıda sektörü üretimi, Türkiye’de en yaygın sektörler arasında yer almaktadır. Ülkemiz iklim yapısı itibariyle, özellikle yaş meyve-sebze üretimi açısından zengin bir ülkedir. Türkiye’nin 2011 yılındaki toplam yaş meyve üretim miktarı 14 388 128 ton, sebze üretim miktarı ise 27 547 462 tondur (Yoğunlu vd 2013). Meyve ve sebze ihracatının canlı hayvanlar ve gıda maddeleri içerisindeki payı %49 ile en yüksek değerdedir (Şekil 2.6). İthalattaki payı (%14) ise hububat ürünleri (%32) ve hayvanlar için gıda maddelerinden sonra gelmektedir (TÜİK 2014b).



Şekil 2.6. Meyve ve sebze ihracatının canlı hayvanlar ve gıda maddeleri içerisindeki payı (TÜİK 2014b)

Türkiye’de hızla büyüyen gıda sanayi sektörlerinden biri de dondurulmuş meyve ve sebze sanayidir. Dondurulmuş meyve ve sebzeler, uluslararası ticarete “işlenmiş meyve ve sebzeler” başlığı altında yer almaktadır (DPT 2001). 1970 yıllarında başlayan dondurulmuş meyve -sebze üretimi sektöründe hammaddeye yakınlık büyük önem arz etmektedir. Bu nedenle işletmeler endüstriyel tarımsal üretimin yoğun olduğu illerde (Bursa, Çanakkale, İzmir) yaygınlaşmıştır. Üretim yapan firmaların başında, Türkiye’nin perakende dondurulmuş gıda sektörünün ilk firması olan ve Superfresh markası ile tanınan Kerevitaş, konserve üretiminin yanında dondurulmuş gıda da üreten Penguen gibi firmalar gelmektedir. Öz yeteneklerine odaklanmak amacıyla tanınmış bir markası ve güçlü bir dağıtım ağı olmasına rağmen, üretim yapmayı tercih etmeyen firmaların sayısı giderek arttığından, bu tür firmalara fason üretim yapmak da önemli bir pazar olarak değerlendirilebilir. Dondurulmuş gıda sektöründe, bu şekilde kendi markası adı altında başka bir firmaya üretim yaptıran firmalara örnek olarak, TAT (Türkiye) ve IGLO (Almanya) verilebilir. Bu tez çalışmasının yürütüldüğü firma da IGLO ürünlerini fason olarak üretmektedir (Yoğunlu vd 2013).

Ülkemizde dondurulmuş sebze ve meyve üretimi ihracata dayalı bir yapıdadır; 2005 yılında toplam 150 bin ton, 2011 yılında ise 381 bin ton (Hekimoğlu ve Altındeğer 2012) olarak gerçekleştirilen üretimin yaklaşık %70’i ihraç edilmektedir. 2006 yılında sebze grubundan tatlı biber, enginar, domates ve pırasa, meyve grubundan ise çilek, kiraz ve kayısı ihracattan en büyük payı alan ürünlerdir (Civaner 2007). İhracatımızın %90’dan fazlası Avrupa Birliği ülkelerine yapılmaktadır. 2006 yılı itibariyle 57.8 milyon \$ değerinde 80 417 ton dondurulmuş sebze ve 31.8 milyon \$ değerinde 20 787

ton dondurulmuş meyve ihracatımız olmuştur (Hekimoğlu ve Altındağ 2012). İhracatın her yıl ortalama %10 oranında artış göstereceği tahmin edilmektedir (DPT 2001). İç pazarda da, son zamanlarda değişen tüketim alışkanlıkları, artan çalışan kadın sayısı, kışla, hastane, otel, üniversite vb. toplu tüketim potansiyeline sahip müşterilerin dondurulmuş gıdaya yönelmeleri, dondurulmuş meyve-sebze tüketiminin artmasına sebep olmaktadır. Türkiye’de yıllık kişi başına dondurulmuş gıda tüketimi 2004 yılı itibariyle 1 kg’ı aşmazken, günümüzde 2-3 kg’a yükselmiştir. Bu değerler ABD’de 60 kg, AB’de ise 30 kg’ın üzerindedir (Çurkan vd 2012). Dondurulmuş meyve-sebze sektöründe ithalat, üretimin yetersiz kaldığı durumlarda başvurulan bir yöntem olup, ithal edilen ürünlerin çeşit ve miktarları yıllar itibariyle farklılık göstermektedir. 2006 yılında ithalatta en önemli ürünler (%17) sebze tatlı mısır, meyvede ise böğürtlen ve ahududu olmuştur.

Ülkemizde yetiştirilen ve dondurulmaya elverişli olan sebzeler; enginar, kuşkonmaz, fasulye, brokoli, brüksel lahanası, havuç, karnıbahar, tatlı mısır, mantar, bamyası, soğan, bezelye, biber, patates, ıspanak, domates, pırasa, kereviz, patlıcan ve kabak, meyveler ise; elma, kiraz, vişne, üzüm, incir, kavun, zeytin, şeftali, armut, erik, ahududu, çilek, mandalina ve portakaldır. Dondurulmuş sebze ve meyve sektöründe faaliyet gösteren firmaların çoğunluğu, tüm ürün gruplarında üretim yapmakta olup, kapasite kullanım oranları %70 civarındadır (DPT 2001; Yurtman 2003).

Sektörün maliyet bileşenlerine bakıldığında, kullanılmakta olan yaygın teknolojiye göre üretim girdilerinin maliyet içindeki oranları Çizelge 2.5’de görülmektedir. Ortalama üretim giderleri, ürün cinslerine bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Örneğin hammadde fiyatları, iklim koşullarına bağlı olarak her yıl değişim göstermektedir. Benzer şekilde işletmenin finansman yapısına bağlı olarak finansman giderlerinde de değişiklik meydana gelebilir (DPT 2001).

Çizelge 2.5. Dondurulmuş gıda üretiminde başlıca üretim giderlerinin maliyet içindeki oranları (DPT 2001)

Üretim Girdileri	Maliyet içindeki oranlar (%)
Hammadde ve yardımcı madde	50-55
Enerji	7-10
İşçilik	10-15
Amortisman, finansman ve genel giderler	14-28
Ambalaj	5-6

Enerji giderlerinin payı, işletmenin üretim proseslerine göre farklılıklar göstermekle birlikte, 2001 yılından beri artan enerji fiyatları nedeniyle tüm gıda sektöründe olduğu gibi, dondurulmuş gıda sektöründe de artış göstermekte ve sanayicinin rekabet gücünü olumsuz etkilemektedir.

Gıda sektöründe, önemli miktarda enerji gereksinimi olan prosesler ısıtma işlemleri ve kurutmadır. Gıda endüstrisinde toplam enerjinin %29’u ısıtma işlemleri için, %16’sı soğutma ve dondurma işlemleri için kullanılmaktadır. Endüstrinin kullandığı elektriğin önemli bir bölümü ise dondurma prosesleri için kullanılmaktadır. Gıda işleme proseslerinde, %48’i makinelerin çalışması, %25’i soğutma ve dondurma işlemleri için

olmak üzere, toplam %73'ünde elektrik enerjisi kullanılmaktadır. Üretimin dışında, aydınlatma, mekan ısıtma, havalandırma gibi işlemler için de % 12-16 dolayında elektrik enerjisi tüketimi söz konusudur (Çolak ve Hepbaşlı 2014).

Gıda sektöründe gerçekleştirilecek %25 oranındaki tasarruf, ülkemizin 574 bin tep enerji kazanımı sağlaması anlamına gelmektedir ki, bu da ciddi enerji verimliliği çalışmaları ile mümkündür. Enerjinin ekonomik kullanılabilmesi ve enerji kayıplarının minimuma indirilmesi, hem işletmelerin girdilerini düşürerek verimliliğin artırılmasını hem de çevreye verilen zararın daha aza indirilmesini sağlayacaktır. Belli bir programa bağlı olmayan basit işletme tedbirleri alınarak bazı kuruluşlarda %10'a varan enerji tasarrufu sağlanabilmektedir. Geniş kapsamlı enerji yönetimi programlarının uygulanması ile de hem tasarruf çalışmalarının sürekliliği hem de %25'lere varan enerji tasarrufu sağlanabilmenin mümkün olduğu ifade edilmektedir (Çınar 2008).

2.4. Türkiye'de Sanayi Kuruluşlarının Enerji Verimliliğini Artırmaya Yönelik Yapılan Yasal Düzenlemeler ve Destekler

Gıda sanayisi de dahil olmak üzere, tüm sanayi kollarında enerji tasarrufunun sağlanabilmesi, enerjinin verimli kullanılabilmesi ile mümkündür. Tüm dünyada olduğu gibi, Türkiye'de de enerji verimliliğini sağlamada bazı yasal düzenlemeler yapılmaktadır.

Yürürlüğe giren mevzuatlarda sanayi kesimini ilgilendiren konuları içerenlerden bazıları resmi gazetede yayınlanma tarihlerine göre aşağıda sıralanmıştır (Olgun vd 2009). 2007 yılından itibaren yürürlüğe konulan enerji verimliliği mevzuatı hakkında daha detaylı bilgi için Bkz. Ek 3. (Aksoy vd 2013).

- a) 11 Kasım 1995 Sanayi Kuruluşlarının Enerji Tüketiminde Verimliliğin Arttırılması İçin Alacakları Önlemler Hakkında Yönetmelik, Sayı: 22460
- b) 31 Ağustos 1996 Enerji Yönetimi Dersi ve Kursu Düzenleme Esasları, Sayı: 22743
- c) 8 Temmuz 1998 Enerji Tasarrufu Etütlerinin Amaç ve Kapsamı, Sayı: 23396
- d) 2 Mayıs 2007 Enerji Verimliliği Kanunu, Kanun No. 5627
- e) 9 Ekim 2008 Binalarda Isı Yalıtımı Yönetmeliği, Sayı: 27019
- f) 25 Ekim 2008 Enerji Kaynaklarının ve Enerjinin Kullanımında Verimliliğin Artırılmasına Dair Yönetmelik, Sayı: 27035
- g) 5 Aralık 2008 Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliği, Sayı: 27075
- h) 6 Şubat 2009 56297 Sayılı Enerji Verimliliği Kanunu Kapsamında Yapılacak Yetkilendirmeler, Sertifikalandırmalar, Raporlamalar ve Projeler Konusunda uygulanacak Usul ve Esaslar Hakkında Tebliğ, Sayı: 27133
- i) 27 Ekim 2011 Enerji Kaynaklarının ve Enerjinin Kullanımında Verimliliğin Artırılmasına Dair Yönetmelik, Sayı: 28097

11.11.1995 tarih ve 22460 sayılı Resmi Gazetede yayınlanarak yürürlüğe giren Sanayi Kuruluşlarının Enerji Tüketiminde Verimliliğin Artırılması Hakkındaki Yönetmelik gereğince; yıllık toplam enerji tüketimi 2000 tep ve yukarısı olan

endüstriyel işletmelerde enerji yöneticisi bulundurma sınırı, 25.10.2008 tarih ve 27035 sayılı Resmi Gazete’de yayınlanarak yürürlüğe giren Enerji Kaynaklarının ve Enerjinin Kullanımında Verimliliğin Artırılmasına Dair Yönetmelik gereğince 100 tep’e düşürülmüştür. Bu sınırın hesaplanmasında son üç yıla ait toplam enerji tüketimlerinin ortalaması esas olarak alınmaktadır. Bu yönetmelikle yapılan diğer başlıca düzenlemeler ise şu şekildedir;

- Toplam inşaat alanı en az 20 000 m² veya yıllık toplam enerji tüketimi 500 tep ve üzeri olan ticari binaların ve hizmet binalarının yönetimleri ile toplam inşaat alanı en az 10 000 m² veya yıllık toplam enerji tüketimi 250 tep ve üzeri olan kamu binalarının yönetimleri, bina ve tesislerinde enerji faaliyetlerinin yürütülmesini temin etmek üzere, bina çalışanları arasından enerji yöneticisi sertifikasına sahip birisi enerji yöneticisi olarak görevlendirilir. Çalışanları arasından görevlendirmenin mümkün olmadığı hallerde, enerji yöneticileri veya şirketler ile sözleşme yapılmak suretiyle hizmet alınır.

- *Yıllık toplam enerji tüketimi 1000 tep’ten az olan endüstriyel işletmelerde enerji yönetimi uygulamalarının yerine getirilmesine yardımcı olmak amacıyla bilgilendirme, bilinçlendirme ve örnek uygulama gibi çalışmalar yapmak ve organize sanayi bölgesi tarafından veya onun adına yürütülen enerji üretim, iletim veya dağıtım faaliyetleri kapsamında, enerji yönetimi çalışmalarını yapmak üzere, bölgesinde faal durumda en az elli işletme bulunan organize sanayi bölgelerinde enerji yönetim birimi kurulur.*

- *Kamu kesimi dışında kalan ve yıllık toplam enerji tüketimleri 50 000 tep ve üzeri olan endüstriyel işletmelerde, enerji yönetim faaliyetlerinin yürütülmesini temin etmek üzere, enerji yönetim birimi kurulur. Organizasyonlarında toplam kalite çalışmalarından sorumlu olan ve bünyesinde enerji yöneticisinin de görev aldığı kalite yönetim birimi bulunan endüstriyel işletmeler bu birimlerini enerji yönetim birimi olarak ta görevlendirebilirler.*

Enerji verimliliğini artırıcı önlemler kapsamında, yıllık toplam enerji tüketimi 5000 tep ve üzeri olan endüstriyel işletmeler ile toplam inşaat alanı 20 000 m² nin üzerinde olan hizmet sektöründe faaliyet gösteren binalarda etüt yapılırsa veya şirketlere yaptırılır. Bu etütler her dört yılda bir yenilenir. Etüt raporlarının ve belirlenen önlemlere ilişkin uygulama planlarının birer sureti Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü’ne gönderilir. Elektrik İşleri Etüt İdaresi Genel Müdürlüğü tarafından yürütülen çalışmalar, 2 Kasım 2011’de 662 sayılı kanun hükmünde kararname ile yerine kurulan Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü tarafından sürdürülmektedir.

27 Ekim 2011 tarih ve 28097 sayılı Resmi Gazetede yayınlanan Enerji Kaynaklarının ve Enerjinin Kullanımında Verimliliğin Artırılmasına Dair Yönetmelik ayrıca, Endüstriyel İşletmelerde Verimlilik Artırıcı Projeler (VAP) ve Gönüllü Anlaşmaların uygulanmasına yönelik destekleri içermektedir. Verimlilik Artırıcı Proje destekleri işletmelerin enerji verimliliğine yönelik olarak işletmelerinde uygulayacakları projelerin desteklenmesini öngörmektedir. Elektrik üretim faaliyeti gösteren lisans sahibi tüzel kişiler dışındaki yıllık toplam enerji tüketimleri 1000 tep ve üzeri olan ticaret ve sanayi odası, ticaret odası veya sanayi odasına bağlı olarak faaliyet gösteren ve her türlü mal üretimi yapan işletmeler VAP desteklerinden yararlanmak için başvuruda bulunabilirler. Örnek teşkil etmesi açısından 2013 yılında desteklenmesine karar verilen 59 adet verimlilik artırıcı projenin 17 tanesi Ek 4’te verilmiştir (Anonim

2013a). VAP'larda öncelikli olarak maliyeti yüksek ve elektrik enerji kazancı fazla olan en fazla 2 yıllık projeler desteklenir. Proje bedeli en fazla 1 000 000 TL olan VAP'lar en fazla %30 oranında hibe olarak desteklenir. Projelerinin desteklenmesini isteyen endüstriyel işletmelerde aranan özellikler, Genel Müdürlük veri tabanında kayıtlı olması, enerji yöneticisinin bulunması, TS ISO 50001 Enerji Yönetim Sistemi-Kullanım Kılavuzu ve Şartları Standardı belgesine sahip olmasıdır (Enve 2014).

Gönüllü Anlaşmalarda ise endüstriyel işletme 3 yıl içerisinde enerji yoğunluğunu ortalama olarak en az %10 oranında azaltmayı taahhüt eder. Üç yıl sonra anlaşmanın yapıldığı yıla ait enerji giderinin %20'si oranında ve en fazla 200 000 TL hibe olarak destek verilir. Referans enerji yoğunluğu değeri ve taahhüt edilen enerji yoğunluğunu azaltma oranı yüksek olan işletmeler öncelikli olarak desteklenir. Genel Müdürlük ile anlaşma yapmak isteyen tüzel kişilerde aranan özellikler VAP destekleme koşulları ile aynıdır. Endüstriyel işletmelere ENVER (ENerji VERimliliği) etiketi verilebilmesi için, işletmenin Genel Müdürlük ile gönüllü anlaşma yaparak desteklerden faydalanmış olması şarttır. ENVER etiketi yönetmelikte tanımlanan asgari enerji verimliliği gereksinimlerini sağlayanlara Genel Müdürlük tarafından verilen bir belgedir (Enve 2014).

KOBİ sınıfına giren işletmeler, enerji verimliliğine yönelik Ön ve Detaylı Etüt, VAP için 5627 sayılı Enerji Verimliliği Kanunu kapsamında yetkilendirilmiş şirketlerden alacakları danışmanlık ve enerji yöneticisi eğitimi hizmetlerine KOSGEB'den hibe olarak destek alabilirler. Destek miktarı üst limitleri destek istenen konuya ve işletmenin sahip olduğu tep aralığına göre belirlenmiştir. Başvuru için işletmenin son üç yıllık (içinde bulunulan yıl hariç) toplam enerji tüketimi ortalamasının en az 200 tep olması şartı aranmaktadır (Enve 2014). TTGV, Ulusal Kalkınma Ajansı gibi diğer kurumların verdiği destekler ise kredi şeklinde olup hibe değildir, bu nedenle burada detaylı olarak bahsedilmemiştir.

Ülkemizde enerji verimliliğini teşvik etmek amacıyla, 15/02/2008 tarihli ve 2008-2 sayılı Başbakanlık Genelgesi ile; elektrik enerjisi öncelikli olmak üzere, enerjinin her noktada verimli ve etkin kullanılması ve israfının önlenmesi amacıyla, kamu, özel sektör ve sivil toplum kuruluşlarının katılımıyla 2008 yılında "ULUSAL ENERJİ VERİMLİLİĞİ HAREKETİ" başlatılmış ve 2008 yılı "ENERJİ VERİMLİLİĞİ YILI" olarak ilan edilmiştir. Ulusal Enerji Verimliliği Hareketi kapsamında yapılan faaliyetlerden biri de; endüstriyel işletmelerimizin uyguladığı enerji verimli ve çevreye duyarlı başarılı projelerin ve teknolojilerin ortaya çıkarılması, tanıtılması ve yaygınlaştırılması, endüstriyel işletmeler arasında bilgi alışverişinin artırılması, enerji verimliliği konusunda yeni ve benzer çalışmaların teşvik edilmesi amacıyla her yıl düzenlenen Sanayide Enerji Verimliliği Proje Yarışmaları (SENER) 'dir. 2011 yılında 12'nci kez düzenlenen Sanayide Enerji Verimliliği Proje Yarışması (SENER-11) "Sanayide Enerji Verimliliğinin Artırılması Projeleri (SEVAP)", "Enerji Verimli Endüstriyel Tesis (EVET)" ve "Enerji Verimli Ürün (EVÜ)" olmak üzere üç ana gruptan oluşmuştur (Aksoy vd 2013).

2014 yılında, Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı ile Enerji Verimliliği Derneği tarafından yürütülen ve Organize Sanayi Bölgeleri Üst Kuruluşu (OSBÜK) tarafından desteklenen Enerji Verimli Sanayi Projesi ile ülke genelindeki tüm Organize Sanayi

Bölgelerinde bulunan sanayicilerin en etkin verimlilik artışı sağlayabileceği 13 alanın (Fırın sistemleri, Kazan sistemleri, Buhar sistemleri, Kurutma sistemleri, Soğutma sistemleri, Isıtma, havalandırma ve iklimlendirme, Soğutma kulesi sistemleri, Fan sistemleri, Basınçlı hava sistemleri, Pompa sistemleri, Elektrik sistemleri, Motor sistemleri, Aydınlatma sistemleri) belirlendiği proje kapsamında işletmelerin enerji tasarrufu açısından enerji verimliliğine odaklanmaları, işletmelerine uygun projeleri hayata geçirmeleri hedeflenmektedir. Enerjide Verim Artırıcı Proje (EVAP) uygulaması, yapılabilecek 13 alandaki iyileştirmelerle 10 yılda 65 milyar TL kazanç sağlanması hedeflenmektedir. Bu kapsamda buhar sistemlerinde yalıtımlı borulardaki kayıplar, yalıtımsız borulara göre %80-85 oranında daha az olmakta ve fırın sistemlerinde atık ısının geri kazanılmasıyla %45'e varan enerji tasarrufu sağlanabildiği ve 10 yılda 65 milyar TL olarak saptanan enerji tasarrufu ile 16 bin okul, 3 bin 200 tam teşekküllü hastane, 7 Atatürk Barajı, 10 Havalimanı, 10 Boğaz Köprüsü, 6 ünite nükleer santral yapılabileceğini ifade edilmektedir. Enerji Verimli Sanayi Projesi kapsamında enerji verimliliğini artırıcı projelerin sadece bir kısmının uygulanması sonucunda bile işletmelerin; %55'inin enerji faturalarını %10, %11'inin enerji faturalarını %20, %8'inin enerji faturalarını %30, %3'ünün enerji faturalarını %40, %1'inin enerji faturalarını %50 oranında azaltacağı belirtilmektedir (Anonim 2014e).

Uluslararası projeler ve işbirliklerine bakıldığında Küresel Çevre Fonu (GEF) tarafından desteklenen, Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü (YEGM) koordinatörlüğünde, Bilim, Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı, Küçük ve Orta Ölçekli Sanayi Geliştirme İdaresi Başkanlığı (KOSGEB), Türk Standardları Enstitüsü (TSE), Türkiye Teknoloji Geliştirme Vakfı (TTGV), Birleşmiş Milletler Kalkınma Programı (UNDP) ve Birleşmiş Milletler Sınai Kalkınma Örgütü (UNIDO) işbirliği ile yürütülen, Şubat 2011 ayında başlayan ve 5 yıl sürecek olan Sanayide Enerji Verimliliğinin Artırılması Projesi ile yasal ve kurumsal altyapıların desteklenmesi; mevzuat uygulamalarının etkinleştirilmesi ve uygulama sürecinin hızlandırılması, sanayide enerji yönetiminin yaygınlaştırılması, enerji tasarrufu ve emisyon azaltımı potansiyellerinin ve öncelikli önlemlerin belirlenmesi, veri tabanlarının ve eğitim dökümanlarının geliştirilmesi, enerji verimliliği danışmanlık şirketlerinin ihtisaslaştırılması ve verimlilik artırıcı projelerin devlet destekleri ve TTGV fonları ile cazip hale getirilmesi ve yaygınlaştırılması amaçlanmaktadır.

Yukarıda kısaca özetlenen enerji verimliliği çalışmalarının temel amacı, daha az maliyet ve daha az birincil kaynak kullanımıyla daha çok iş yapabilme arayışı veya aynı miktar işin daha az enerji tüketilerek yapılmasıdır. Sanayideki enerji verimliliği çalışmalarında atılması gerekli ilk adım, öncelikle ne tüketildiğini bilmek, bunun için de gerekli ölçüm ve izleme sistemlerini kurmaktır. Enerji taraması, enerji analizi veya enerji değerlendirilmesi olarak da ifade edilen enerji etüdü; enerji tüketen sistem veya tesisin detaylı analiz edilmesi olarak da açıklanır. İkinci aşamada ise, enerji verimliliği ile ilgili çeşitli ekipmanların (kazanlar ve buhar sistemleri vb.) çalışmasının gözden geçirilmesi amacıyla bir teknik çalışma yapılır. Detaylı enerji etüdünde ise yeterli eğitim ve donanıma sahip bir çalışma grubu ile ölçüm cihazları kullanılarak incelenen fabrikanın gerçek çalışma koşullarında enerji tüketimini belirlemek mümkün olur. Ayrıca, iyileştirme yapılacak alanlar belirlenir. Bunun akabinde yapılacak fizibilite çalışmasında ön enerji etüdünde değinilen enerji tasarrufu projelerine odaklanılabileceği gibi tesisin öncelikli sorunlarına yönelik projeleri de kapsayabilir (Karakoç vd 2012).

Özellikle ısı sistemlerinin analizi, tasarımı ve performansının değerlendirilmesi ve enerji verimliliği iyileştirme potansiyellerinin tespit edilmesinde, ekserji analiz yöntemleri de son yıllarda yaygın olarak kullanılan araçlardan birisi haline gelmiştir.

2.5. Kaynak Taramaları

İşletmelerin ilgili prosesleri için kullanılan ve kaybolan enerjinin tespiti ve sistemin enerji veriminin hesaplanmasında termodinamiğin birinci kanununa göre enerji analizi, üretimdeki ısı ve kimyasal reaksiyonların durumu ve veriminin hesaplanmasında ise termodinamiğin birinci ve ikinci kanunlarına göre ekserji analizleri önem taşımaktadır. Enerji ve ekserji verimliliği etütlerinin amacı; şirketin enerjiyi ne kadar iyi kullandığını, ekserji tüketimini ne denli minimize edebildiğini ve sonuçta eksergoekonomik hesaplama yöntemlerini de kullanarak ürünün fiyatında yer alan enerji ve ekserji giderini belirlemektir (Hepbaşlı 2008).

Son zamanlarda sistem iyileştirme çalışmalarında ekserji analizleri ve oluşan tersinmezliklerin giderilmesi, verimliliğin artması için yaygın olarak kullanılmaktadır. Enerji ve ekserji analizinin her ikisi de günümüzde tüm endüstriyel işletmelere uygulanabilmektedir. Literatürde çimento (Atmaca ve Kanoğlu 2012), demir (Petela vd 2002), çelik (Michaelis vd 1998; Costa vd 2001), yem (Boyar 2006), gübre (Fadare vd 2010a), tekstil (Mozes vd 1998; Önöz 2008; Çay 2009; Çay vd 2009), otomotiv (Şahin 2008), kağıt (Morris vd 2000), deterjan (Bektaş 2009), tarım makinaları (Çakal 2006), seramik (Apak 2007) sektörleri ile ilgili çalışmalar yapıldığı gibi farklı sanayi kollarının enerji ve/veya ekserji analizlerinin karşılaştırmalı olarak incelendiği çalışmalar da (Kaya ve Güngör 2002; Utlu ve Hepbaşlı 2007) mevcuttur. Gıda üretimi yapılan işletmelerin üretim süreçlerinin enerjetik ve/veya ekserjetik açıdan incelendiği çalışmalara ise aşağıda detaylı olarak yer verilmiştir.

Gıdalar içerisinde şeker üretimi, en fazla incelenen süreçlerden birisidir. Tekin ve Bayramoğlu (1998; 2001) şeker pancarından şeker üretim süreçlerine ekserji analizinin uygulandığı bir çalışma gerçekleştirmiştir. Üretimi kamış özsuynun çıkarıldığı ekstraksiyon işlemi, özsuynun temizlendiği kireçleme işlemi, özsuynun şurup kıvamına getirildiği buharlaştırma işlemi, şeker rafinasyon işlemi, vakum sistemi, sıcak su işleme-depolama, buhar-güç sistemi olmak üzere yedi temel aşamaya ayırarak incelemiştir. Enerji analizi neticesinde buhar-güç sisteminde %74.4 ekserji kaybı olduğu tespit edilmiştir. Ekserji kayıplarının azaltılması için sıcak yanma gazları ile yanma havasının ön ısıtılmasını ve ayrıca yanma havasının oksijen bakımından zenginleştirilmesini önermektedirler. Özsuynun temizlenmesi için eski kireçleme-karbonlama yönteminin, kimyasal reaksiyon gerektirmeyen uygun bir membran ayırma işlemi gibi modern yöntemler ile değiştirilebileceğini önermektedirler. Buhar rekompresyon yönteminin buharlaştırma aşamasında kullanılmasının dış kayıpları azaltabileceğini ve barometrik yoğunlaştırıcılar ile soğutma kulesinin kullanımını elimine edeceğini vurgulamışlardır. Borularda ve cihazlarda ideal bir yalıtımın enerji ekonomisinde 17.5 kJ/100 kJ girdi, ekserji ekonomisinde ise 2.3 kJ/100 kJ girdi sağlayacağını belirtmiştir.

Nurveren (2001), bir şeker fabrikasında üretilen proses buharının kullanıldığı bütün üretim birimlerini ekserjetik yönden incelemiştir. Pancardan şeker üretimindeki süreçler sürekli akışlı açık sistem olarak ele alınmış ve süreçlerdeki ekserjetik verimsizliğin nedenleri açıklanmıştır. Tersinmezliklerin en çok olduğu süreçlerin sırasıyla şerbet üretimi, şerbet arıtımı, kristallendirme ve buhar üretim süreçleri olduğu tespit edilmiştir.

Bayrak vd (2003) Bor şeker fabrikasında yaptıkları çalışmada ekserji kayıplarının en çok şerbet üretim sürecinde gerçekleştiğini ve enerji veriminin (η_1) %96.8, ekserji veriminin ise (η_{II}) %49.3 olduğunu bulmuşlardır. Bunun sebebinin buhar üretimi, şerbet karıştırma sirkülasyonu ve küspe sıkıştırma gibi yan işlem aşamalarındaki tersinmezliklerden kaynaklandığını belirtmişlerdir. Üretim aşamalarında sonlu sıcaklık farklarından kaynaklanan tersinmezliklerin azaltılmasının şeker üretim süreçlerinde verimliliği ve üretkenliği artıracaklarını açıklamışlardır.

Şahin vd (2007) Kayseri şeker fabrikasının 2002-2003 kampanya verilerini, Türközü (2008) Çumra şeker fabrikasının 2006-2007 kampanya verilerini kullanarak şeker üretim süreçleri için enerji ve ekserji analizleri yapmışlardır. Çalışmanın sonucunda, sistemdeki önemli kayıplar ortaya konmuş ve enerji tasarrufu yapılabilecek yerler tespit edilmiştir. Çumra şeker fabrikasında prosesin tamamındaki toplam tersinmezlikler %85.8 olarak bulunmuştur. Süreçte meydana gelen en büyük tersinmezliğin %70.4'lük oranla enerji üretim ünitesine ait olduğu tespit edilmiştir. Kayseri şeker fabrikasında da en büyük tersinmezliğin yine enerji üretim biriminde, yanma reaksiyonu sırasında oluşan tersinmezlikler nedeniyle meydana geldiği tespit edilmiştir.

Tezcan (2006), bir likoriş³ üretim tesisinde suyun, likorişin ve şurubun çeşitli üretim noktalarındaki ekserjileri üzerinde çalışmış ve bu değerlerin bir sonucu olarak bu akışkanları kullanan makinelerin enerji verimlerini hesaplamıştır. Bütün noktaların özelliklerine göre toplam ekserjileri hesaplandıktan sonra her bir cihaz için ekserji dengesi kurularak ortalama ekserji maliyetleri belirlenmiş, kayıp ve tahrip olan ekserjiler bulunmuş, yok olan ekserji oranı bulunarak eksergoekonomik faktör çıkarılmıştır. Bütün bu verilerin doğrultusunda grafiksel olarak sonuçlar değerlendirilmiş ve cihazlar birbirleriyle karşılaştırılmıştır. Sistemde düzeltme yapılabilecek noktalar ve çözüm önerileri belirtilmiştir.

Şeker kamışı Brezilya ekonomisinde en önemli endüstrilerden biridir ve temel ürünleri şeker ve etanoldür. Şeker kamışı küspesi de bir yan üründür ve kojenerasyon sisteminde yakıt olarak kullanılabilir. Ensinas vd (2009) yaptıkları çalışmada, şeker kamışından şeker ve etanol üretiminde meydana gelen tersinmezliklerin azaltılma yöntemlerini araştırmışlardır. Bunun için bir tesisin üretim sürecini; ekstraksiyon, arıtma, buharlaştırma, şeker kaynatma, fermantasyon, damıtma, kojenerasyon sistemi, kondens tankı ve su soğutma sistemi olmak üzere sekiz temel aşamaya ayırarak incelemişlerdir. Çalışma sonucunda kojenerasyon sisteminin toplam tersinmezliğin % 63'ünden sorumlu olduğunu ve ekserji veriminin de %18 olduğunu bulmuşlardır. Bu

³ Likoriş, Avrupa ülkeleri tarafından üretilen ve ülkemizde de yeni üretimine başlanan bir seker türüdür.

sonucun başlıca sebebi, küspe yanma sürecindeki tersinmezliklerdir. Tipik bir şeker ve etanol üretim tesisinde tüm sistemin ekserji verimi %35'dir. Sürecin buhar talebini azaltan daha yüksek ısıl verimliliğe sahip kazanlar kullanılmasını önermektedirler.

Taner ve Sivrioğlu (2013) tüm şeker fabrikalarında enerji ve ekserji analizi yapılırken hangi yöntem ve eşitliklerin kullanılması gerektiğini göstermişlerdir. Şeker üretimi yedi aşamada incelenmiştir; taze pancarın kıyılması, ham şerbet üretimi (difüzyon işlemi), ham şekerin arıtılması, ham şekerin koyulaştırılması (buharlaştırma), rafinasyon, kurutma ve enerji üretimi. Enerji ve ekserji analizinin şeker fabrikalarına uygulanmasının önemini vurgulayarak, bu analizlere göre mevcut proseslerde iyileştirmeler yapıldığında verimliliklerin artacağını belirtmişlerdir.

Şeker üretimi dışındaki gıda üretimlerine bakıldığında, peynir üretiminde enerji kullanımının Xu vd (2009) süt üretiminden başlayarak incelendiği görülmüştür. Süt üretiminin enerji yoğunluğunu 0.8 ile 1.9 MJ/kg süt arasında, peynir üretiminin özgül enerji tüketiminin ise incelenen az sayıda ülkede 4.9 ile 8.9 MJ/kg peynir, USA'de 2.3 ile 16.8 MJ/kg peynir, tüm dünyada ise 1.8 ile 68.2 MJ/kg peynir arasında bulmuşlardır.

Bozoğlan (2008) tarafından yapılan çalışmada, 6250 kg/h yağ işleme kapasitesindeki bir zeytinyağı rafineri tesisinin enerji ve ekserji analizleri yapılmıştır. Tesisteki her ekipmanın ekserji yok oluşu ve ekserji verim değerleri referans (ölü hal) sıcaklığı 25 °C alınarak hesaplanmıştır. Ayrıca, ölü hal sıcaklığının 10-30 °C aralığındaki değişimine göre parametrik çalışma EES programı kullanılarak yapılmıştır. Sistemdeki en büyük ekserji yok oluşunun, toplam ekserji yok oluşu içerisinde %54 ile buhar kazanında gerçekleştiği tespit edilmiştir. 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.

Yağ üretimi ile ilgili bir diğer çalışma da Özilgen ve Sorgüven (2011) tarafından gerçekleştirilmiştir. Gıda üretim süreçlerinin çevreye etkilerini enerji ve ekserji kullanımı ile karbondioksit emisyonu açısından incelemişlerdir. Bu amaçla, zeytin, ayçiçeği ve soya olmak üzere üç farklı üründen yağ üretiminin analizini gerçekleştirmişlerdir. Tarımsal üretim sürecinde, en az ekserji ayçiçeği üretiminde hesaplanmıştır (3425.7 MJ/ton). Soya ve zeytin üretimlerinin ekserjileri sırasıyla 6092.9 MJ/ton ve 7904.7 MJ/ton'dur. Yağ üretiminin kümülatif ekserji tüketim (*CExC*) değerleri 10762.6 MJ/ton zeytin, 88191.1 MJ/ton ayçiçeği ve 9051.4 MJ/ton soya olarak bulunmuştur. En enerji yoğun süreç zeytinyağı üretimidir, ancak toplam karbondioksit emisyonunun diğerlerinden daha az olduğu sonucuna varılmıştır. Sorgüven ve Özilgen (2012) aynı amaçla çilekli yoğurt üretimini de, malzemelerin yetiştirilmesinden pazara nihai ürün olarak taşınmasına kadar analiz etmişlerdir. Bu süreçte incelenen aşamalar; süt üretimi, yağsız yoğurt üretimi, çilek üretimi, şeker pancarı üretimi, şeker üretimi, çilek reçeli üretimi, çilekli yoğurt üretimi şeklindedir. Yoğurdun depolanması ve taşınması ile birlikte atık yönetimi de incelenmiştir. Çilekli yoğurt üretiminin toplam ekserji kaybı 75791.6 MJ/ton çilekli yoğurttur ve kayıpların %53'ünün süt üretiminde meydana geldiği, toplam işgücünün %80'inin sade yoğurt yapımında kullanıldığı tespit edilmiştir. Üretim süreçlerinde en büyük girdiler elektrik ve dizeldir. Yazarlar,

üreticilerin dizel yerine yenilenebilir enerji kaynaklarından sağlanan biyodizel içerikli yakıt kullanılması halinde toplam ekserji kaybının 73328 MJ/ton çilekli yoğurt'a düşeceğini, elektriğin ise fosil yakıtlar yerine hidrolik kaynakla kullanılarak elde edilmesi halinde toplam ekserji kaybının 56919 MJ/ton'a azalacağını belirtmektedirler.

Waheed vd (2008) yaptıkları çalışmada, enerji tüketimlerinin belirlenmesi ve enerji optimizasyonu için bir meyve suyu işleme tesisinde tüm süreci inceleyerek enerji-ekserji analizleri uygulamışlardır. Portakal suyu üretiminde tüketilen toplam enerjinin en fazla buhar olarak (%80.91) kullanıldığını belirtmişlerdir. Yapılan analizler sonucunda tersinmezliğin en fazla pastörizatörde (>%90) meydana geldiğini tespit etmişlerdir. Pastörizatör kapasitesinin artırılmasının ve ısıtmada kullanılan buharın geçtiği boruların sızdırmazlık için bakımının yapılmasının verimsizliği azaltacağını bildirmişlerdir.

Fadare vd (2010b), bir bira fabrikasında maltlı içeceklerin üretim süreci için enerji ihtiyacı ve ekserji kayıplarını hesaplamışlardır. Prosesi 4 ana gruba ayırarak incelemişlerdir. Üretimde kullanılan toplam enerji, elektriksel, termal ve işgücü kullanım oranları açısından değerlendirilmiştir. Yapılan analizler sonucunda en fazla ekserji kaybının pastörizasyon işleminde gerçekleştiği tespit edilmiştir. Buhar kazanındaki pastörizatörün kapasitesinin artırılması gerektiği önerisinde bulunmuşlardır. Akçakaya (2009)'nın yaptığı benzer çalışmada, bira üretimindeki kaynatma, süzme, fermantasyon, filtreleme ve kutulama prosesleri için ayrı ayrı analizler yapılmıştır. Sistemdeki maksimum ekserji kaybının mayşe kazanında olduğu tespit edilmiş ve yalıtımın iyileştirilmesi gerektiği belirtilmiştir.

Salça üretim süreci; yıkama, ayıklama, ön ısıtma, püre toplama, ince eleme, buharlaştırma, pastörizasyon, steril kutulara sıcak dolum, soğutma, kurutma, kutu ambalajlama, depolama ve pazarlama aşamalarından oluşmaktadır. Salça üretiminin ekserjisi ile ilgili ilk çalışmaları (Forciniti vd 1985) yapmıştır. (Forciniti vd 1985); Söğüt vd (2010), buharlaştırma işlemi için kullanılan dört etkili evaporatör ünitelerini enerjetik ve ekserjetik açıdan incelemişlerdir. Ekserjetik iyileştirme potansiyeli ilk etkiden son etkiye kadar sırasıyla %52.80, %11.10, %6.73 ve %69.8 olarak bulunmuştur. Sistemin toplam iyileştirme potansiyeli 128 kW (toplam ekserji yok oluşunun %55'i)'tir. Buharın evaporatör ünitesine girmeden önce büyük bir tankta toplanmasının basınç kaybına sebep olduğunu belirtmişler ve basınç kaybının otomatik kontrol ünitesi bir sistem kullanılarak yok edilmesini önermişlerdir.

Jekayinfa ve Olajide (2007) yaptıkları çalışmada, %70'i Nijerya, Brezilya, Tayland, Endonezya ve Kongo'da üretilen manyok bitkisinden manyok unu, granülü ve nişastasının üretimlerinin enerji analizini gerçekleştirmişlerdir. Waheed vd (2008) ve Fadare vd (2010b)'in çalışmalarına benzer olarak her bir üretim aşamasının elektrik, ısı ve işgücü enerji tüketimlerini ayrı ayrı hesaplamışlardır. Toplam enerji tüketimleri 100 kg taze manyoktan granül, nişasta ve un üretimi için sırasıyla 327.17 MJ, 357.35 MJ ve 345 MJ olarak bulunmuştur. Granül üretiminde en yüksek enerji tüketimi (232.22 MJ, %71.1) rendeleme işleminde görülmüştür. Onu kızartma (32.88 MJ, %10.06) ve soyma (28.13, %8.6) işlemleri izlemektedir. Nişasta üretimi için tüm değirmenlerde her 1000 kg manyok yumrusu için 357.34 MJ toplam enerji ihtiyacı vardır. Yontma (%65.09) ve rendeleme (%23.42) işlemleri en fazla enerji ihtiyacı olan aşamalardır. Un üretiminde

ortalama toplam enerji tüketimi her 1000 kg manyok yumrusu için 346.40 MJ olarak hesaplanmıştır ve en enerji yoğun işlemler rendeleme ve öğütmedir, toplam enerji tüketimi içindeki payları sırasıyla %67.15 ve %21.53'tür. İşgücü isteyen işlemler için işlem zamanını azaltıcı çalışma alanlarını içeren üretim hatlarının tasarlanması, makine ağırlıklı işlemlerde ise verimli ve yüksek kapasiteli işleme makinelerinin kullanılması önerilmektedir.

Jekayinfa ve Bamgboye (2006), benzer bir çalışmayı kaju fıstığı ve hurma çekirdeği yağı (2007) üretim süreçlerinin incelenmesi için yapmışlardır. Kaju fıstığı üretiminin analizinde farklı mekanizasyon seviyesine sahip dokuz kaju fıstığı değirmeninin enerji ihtiyacını belirlemişlerdir. Değirmenlerde üretim aşamaları temizleme, ıslatma, kavurma, kabuk kırma, ayırma, kurutma, kabuk soyma ve sınıflandırma ile paketlenir. Ölçülen parametreler, elektriksel güç, yakıt tüketimi, her bir işlem için harcanan zaman ve işgücü ihtiyacıdır. Toplam enerji, elektrik enerjisi ve termal enerji yoğunluklarının sırasıyla 0.21 ve 1.161 MJ/kg, 0.0052 ve 0.029 MJ/kg, 0.085 ve 1.064 MJ/kg değerleri arasında değiştiğini belirlemişlerdir. Toplam enerji tüketiminin %85'inden fazlası kaju fıstığının kurutulması ve kavurulmasında harcanmaktadır. Dizel yakıttan sağlanan termal enerji, ürünün işlenmesinde harcanan birim enerji maliyetinin %90'ını oluşturmaktadır. Bu çalışmada geliştirilen eşitliklerin bütçeleme, alan genişletme planlaması ve enerji ihtiyacının tahmininde yararlı bir araç olacağı düşünülmektedir. Hurma çekirdeği yağı üretim süreçlerini oluşturan kurutma, kırma, kavurma, ezme, yağ çıkarma, inceleme, şişeleme aşamalarının her birinde tüketilen enerjiyi üç farklı boyutta (küçük, orta, büyük) değirmen için tespit etmişlerdir. 100 kg ürünün işlenmesi için gereken enerji sırasıyla 352 MJ, 232 MJ ve 177 MJ olarak bulunmuştur.

Ekserji analizi çalışmaları gıda işleme süreçlerinin yanı sıra özellikle gıdaların kurutulması işlemi üzerine yoğunlaşmıştır. Bu çalışmalar, kurutma sürecinin termodinamik modellenmesi (Dincer ve Sahin 2004) olabildiği gibi, buğday (Syahrul vd 2002), fıstık (Midilli ve Kucuk 2003), kırmızı biber dilimleri (Akpınar 2004), patates (Akpınar vd 2005; Aghbashlo vd 2008), elma dilimleri (Akpınar vd 2005), kabak (Akpınar vd 2006), defne yaprakları (Kuzgunkaya ve Hepbasli 2007), makarna (Ozgener 2007), yeşil zeytin (Colak ve Hepbasli 2007), nane (Colak vd 2008), coroba (Corzo vd 2008), balık (Tiwari vd 2009), havuç (Aghbashlo vd 2009), erik (Hepbasli vd 2010), maydanoz (Hancioglu vd 2010), zeytin yaprakları (Erbay vd 2010), brokoli (Icier vd 2010) ve farklı tıbbi ve aromatik bitkiler gibi farklı gıda ürünlerinin kurutulması şeklinde olabilmektedir. Burada kullanılan akışkan yataklı, güneş enerjisi destekli, konvektif ve ısı pompalı gibi çeşitli kurutma cihazları enerjetik ve ekserjetik açıdan değerlendirilmektedir.

Eksergoekonomik analiz metodolojisine yönelik yapılan literatür incelemelerinde, Abusoglu ve Kanoglu (2009)'nun derleme çalışmasına göre, ekserji ve maliyet akımlarının birleştirilmesi fikrini ilk olarak Keenan (1932) ortaya atmıştır. İkinci yasa ve maliyetlendirme ile ilgili çalışmalar 1950'lerin sonlarında hız kazanmıştır. Evans ve Tribus (1965) termoekonomi olarak adlandırdıkları ekserji maliyetleme fikrini deniz suyundan tuz alma sürecine uygulamışlardır. Bu kavram ile bir tesisin para akışı, yakıt maliyeti, işletme, amortisman ve sermaye maliyetleri her akışın ekserjisi ile ilişkilendirilmiştir. 1970 yılında termal sistemlerin optimizasyonu için matematiksel

altyapı oluşturulmuştur (El-Sayed ve Evans 1970). 1970'lerde ayrıca Gyarmati vd (1970); (Wepfer vd 1979) bir santralin buhar borulamasının optimum tasarımı ve yalıtımı üzerine yaptıkları çalışmada buharın ekserjisinin maliyetlendirilmesini ve ekserji yokoluşunun engellenmesini önermişlerdir. 1980 yılında kimyasal ekserjinin tanımı ve ekserjinin ekonomik uygulamaları ile ilgili örnek teşkil edecek yayınlar Szargut (1980) tarafından derlenmiş, 1985 yılında KOTAS (1985) tarafından bir kitapta toplanmıştır.

1980'lerden sonra eksergoekonomik analiz teknikleri ve uygulamalarına olan ilgi ve çalışmalar sürekli artmıştır (Tsatsaronis ve Winhold 1985; Frangopoulos 1987, 1994; Tsatsaronis ve Moran 1997). Tsatsaronis ve Winhold (1985) Yakıt (Fuel) ve Ürün (Product) gibi termoeconomik anahtar bazı kavramlarını tanımlamışlardır. Lozano ve Valero (1993) ise termoekonomi alanının en temel taşı olan ekserjetik maliyet teorisinin çeşitli uygulamalarını incelemişlerdir.

Ekserjetik maliyet hesaplamalarına ilişkin yöntem ve uygulamalarda farklı yaklaşımlar uygulanmaktadır. Yakıt (F)-Ürün (P)-Kayıp (L) tanımlamalarının yapıldığı ve birim ekserjetik maliyetlerin hesaplandığı Ekserjetik Maliyet Teorisi (TEC) (Lozano ve Valero 1993), belirlenen ekserjetik maliyetin her proses bileşeninin entropi değişimlerine bağlı olarak paylaştırıldığı Ekserjetik Maliyet Teorisi-Ayrırma Yöntemi (TECD) (Valero vd 1993) ve Termoekonomik Fonksiyonel Analiz (TFA) (Frangopoulos 1987), maliyeti özgül ve ortalama maliyet olarak ayırarak inceleyen eksergoekonomik analiz (EEA) yöntemi (Tsatsaronis ve Pisa 1994), materyal akışına en son giren ekserji biriminin ilk olarak kullanıldığını kabul eden 'İlk Giren İlk Çıkar' (LIFO) Prensipli (Tsatsaronis vd 1993), her bir ayrıştırılmış ekserjiye birim ekserji maliyeti atamasının yapıldığı Modifiye Üretken Yapı Analizi (MOPSA) Yaklaşımı (Kim vd 1998), ekserji, maliyet, enerji ve kütle miktarlarının temel alındığı EXCEM (Exergy-Cost-Energy-Mass) Analizi (Rosen ve Dincer 2003) kullanılan başlıca yöntemlerdir. Son yıllarda çoğunlukla kullanılan Speco (Specific Exergy Costing) yaklaşımının (Lazzaretto ve Tsatsaronis 2001; Lazzaretto ve Tsatsaronis 2006) farkı, her sistem bileşeninin ekserji yokoluşunu önlenemez/kaçınılmaz şeklinde ayırmasıdır (Gungor vd 2011). Speco yaklaşımının yanı sıra, Söğüt (2009) çimento üretim hattı üzerinde yer alan döner fırın bölümünde ürün akışlarının ekserjetik maliyetinin hesaplanmasında Preco (Product Exergetic Cost) adı verilen yeni bir yöntem daha geliştirmiştir, ancak kullanımı henüz Speco yaklaşımı ve EXCEM Analizi kadar yaygınlaşmamıştır.

Gıda üretim proseslerinde eksergoekonomik analizlerden birinin uygulandığı çalışmalar incelendiğinde, çoğunlukla ürün kurutma süreci ile ilgili analizlerin gerçekleştirildiği görülmüştür. Bunlardan bazı örnekler aşağıdaki gibi özetlenebilir.

Erbay ve Koca (2012) yaptıkları çalışmada beyaz peynir tozu üretiminin püskürterek kurutma sürecini enerjetik, ekserjetik ve eksergoekonomik açıdan inceleyerek verimlilik değerlerini, iyileştirme potansiyeli oranını, toplam maliyeti ve eksergoekonomik faktörü belirlemişlerdir. Ekonomik analiz kısmında Speco yaklaşımını kullanmışlardır.

Gungor vd (2011) pilot ölçüde gaz motoru tahrikli bir ısı pompası kurutma sisteminin deneysel verilerini kullanarak EXCEM yöntemi ile eksergoekonomik analizini gerçekleştirmişlerdir. Ölü hal sıcaklığının artırılmasının ekserji verimini artırdığı ve ekserji yokoluşunun yatırım maliyetine oranını (R_{ex}) azalttığı sonucuna varmışlardır.

Hepbasli vd (2010) ısı pompalı bir kurutucuda 45-55 °C hava sıcaklığı aralığında erik kurutma sürecini incelemişler ve R_{ex} değerlerinin 1.668 ve 2.063 W/USD arasında değiştiğini bulmuşlardır.

Ozgener (2007) endüstriyel makarna üretiminin son kurutma aşamasının eksergoekonomik analizini gerçekleştirmiştir. Enerji ve ekserji verimlerini sırasıyla %72.1 ve %65.4, ekserji kaybının yatırım maliyetine oranlarını ise 0.016 ile 0.004 arasında bulmuştur.

Kurutma dışında gıda sektöründe eksergoekonomi ile ilgili yapılan çalışmalardan birini Ensinas vd (2006) şeker üretim süreci için gerçekleştirmiştir. Isıl enerji tüketiminde işletmenin toplam maliyeti içinde en büyük payı buharlaştırma sistemi almaktadır. Özellikle kojenerasyon sisteminde en iyi teknolojinin kullanılmasının sürecin buhar tüketim miktarını azaltma açısından diğer yöntemlerle karşılaştırılarak değerlendirilmesi gerektiği önerilmişlerdir.

Yapılan literatür araştırmasında, dondurulmuş ürün üretim süreci ile ilgili bir çalışmaya ise rastlanmamıştır. Bu çalışmanın amacı da, gıda sektöründe faaliyet gösteren bir işletmenin dondurulmuş mısır üretim prosesindeki enerji tüketimlerinin incelenmesi, enerji, ekserji ve eksergoekonomik analiz yöntemlerinin uygulanması ile enerji tasarruf potansiyellerinin belirlenmesidir.

2.6. Enerji, Ekserji ve Eksergoekonomik Analiz Yöntemleri

2.6.1. Enerji ve ekserji analizi

Enerji, termodinamik biliminin temel bir kavramıdır ve ısıl sistem analizlerinin en önemli bileşenlerinden birisidir. Termodinamiğin birinci yasası, bir sistemde enerjinin bir şekilden diğerine dönüşümü ile ilgilenir ve bu dönüşüm sırasında sistemin toplam enerjisinin değişmeyeceğini ifade eder. Sistemler arasındaki etkileşim sonucu, enerjinin bir biçimden diğerine dönüşüm miktarı, *enerji dengesi* kurularak belirlenmektedir.

$$E_g - E_c = \Delta E_{sistem} \quad (2.1)$$

burada E_g sisteme giren toplam enerji, E_c sistemden çıkan toplam enerji, ΔE_{sistem} sistemin toplam enerjisindeki değişimi göstermektedir. Bir sistemde enerji ısı, iş ve kütle biçimlerinde aktarılabilen ve net geçiş miktarı, giren ve çıkan enerji geçişi miktarlarının farkına eşittir. Buna göre, enerji dengesi birim zamana bağlı olarak daha açık (Çengel ve Boles 2008),

$$\dot{E}_g - \dot{E}_c = (\dot{Q}_g - \dot{Q}_c) + (\dot{W}_g - \dot{W}_c) + (\dot{E}_{küttele,g} - \dot{E}_{küttele,c}) \quad (2.2)$$

şekilde yazılır. Burada “g” ve “ç” indisleri sırasıyla sisteme giren ve çıkan değişkenleri göstermektedir. Adyabatik sistemler için ısı geçişi Q , iş etkileşiminin olmadığı sistemler için iş geçişi W , sistem sınırlarından kütle geçişi olmadığına ise kütle ile enerji aktarımı $E_{kütle}$ sıfır olur.

Bu çalışma kapsamında yer alan sürekli akışlı açık sistemlerde, kontrol hacmindeki toplam enerji değişimi sıfırdır. Bu nedenle, tüm biçimlerde kontrol hacmine giren enerji miktarı, kontrol hacminden çıkan enerji miktarına eşit olur. Böylece, bu tür sistemlerde ısı, iş ve kütle ile aktarılan enerji için enerji korunumu denklemi aşağıdaki gibidir;

$$\dot{Q}_g + \dot{W}_g + \sum_g \dot{m} \left(h + \frac{v^2}{2} + gz \right) = \dot{Q}_ç + \dot{W}_ç + \sum_ç \dot{m} \left(h + \frac{v^2}{2} + gz \right) \quad (2.3)$$

Burada akışkanın birim kütlesi için sahip olduğu entalpi h , kinetik enerji $V^2/2$, potansiyel enerji gz ile gösterilmektedir. Birim zamandaki kütle debisi \dot{m} ise sürekli akışlı sisteminde korunmaktadır;

$$\sum_g \dot{m} = \sum_ç \dot{m} \quad (2.4)$$

Fadare vd (2010b) malt içecek üretiminin enerji analizinin gerçekleştirilmesi kısmında, süreçlerin toplam enerji tüketimlerini elektrik, ısı ve işgücü enerjilerinin toplamını alarak ayrı ayrı hesaplamışlardır. Çalışmalarında, makinelerin elektrik enerjisi tüketimleri (E_p), motorlarının nominal güçlerine (P), çalışma süresine (t) ve motor verimine (η) bağlı olarak aşağıdaki bağıntıyla hesaplamaktadır;

$$E_p = \eta Pt \quad (2.5)$$

Isıl enerji girişi (E_F), kazanda buhar üretimi için kullanılan yakıt miktarı ile yakıtın ısıl değerinin çarpılması ile hesaplanır;

$$E_F = C_f \cdot W \quad (2.6)$$

burada C_f yakıtın ısıl değeri (J/kg), W ise kullanılan yakıt miktarıdır (kg).

İşgücü enerji girişi (E_m) hesaplanırken normal bir insanın 8-10 saatlik günlük çalışma süresinde ortalama 0.075 kW fiziksel güç harcayacağı kabulünden yola çıkılır;

$$E_m = 0.075 \cdot N \cdot t \quad (2.7)$$

burada N , üretim aşamasında çalışan personel sayısını ve t , verilen görevin yerine getirilmesinde harcanan yararlı zamanı göstermektedir.

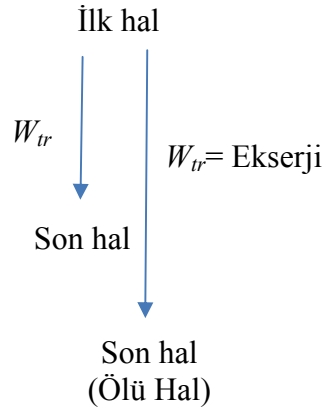
Tüm çalışmalarda sistemin etkinliği veya birinci yasa verimi genellikle elde edilmek istenen değer ve harcanması gereken değer oranı olarak ifade edilir;

$$\eta_I = \frac{\text{Elde edilmek istenen değer}}{\text{Harcanması gereken değer}} \quad (2.8)$$

Bir hal değişiminin gerçekleşebilmesi için birinci yasanın sağlanması gerekmektedir. Ancak bu hal değişiminin gerçekleşip gerçekleşmeyeceğinin belirlenmesi konusunda birinci yasa yetersiz kalmaktadır. Ayrıca enerji dengesi, sisteme ait iç kayıplar hakkında da bilgi vermemektedir; örneğin bir termodinamik sürecin gerçekleştirildiği sistemde, iş yapabilme kapasitesindeki değişimi belirleyememektedir. Sistem veriminin hesaplanması için enerji dengesine dayanan ölçütler, sistemdeki enerji dönüşümünün niteliğine ilişkin sınırlı bilgiler vermektedir. Bir süreç veya sistemdeki enerji dönüşümlerinin “niteliğini” değerlendirmekte kullanılan yöntemlerin esasları, termodinamiğin ikinci yasasına dayanmaktadır.

Termodinamiğin ikinci yasası kapsamında incelenen ekserji kavramı, belirli bir haldeki sistemden elde edilebilecek en çok iş, yani enerjinin iş potansiyelini ifade etmekte olup sistemlerin niteliklerini ölçmek için bir araç olarak kullanılmaktadır. Kuramsal olarak, bir sistemden en çok işin elde edilebilmesi, iki koşulun yerine getirilmesi ile mümkündür: İşin, bir sistemin başlangıç halinden son haline, tümünden tersinir bir hal değişimi⁴ ile elde edilmesi ve sistemin son halinin çevre ile dengede olması. Tümünden tersinir bir hal değişiminde, sürtünme, karışım, kimyasal tepkimeler, sonlu sıcaklık farkı aracılığıyla ısı geçişi gibi tersinmezlikler (I) yoktur ve hal değiştiren bir sistemden elde edilebilecek en fazla yararlı iş, tersinir iş (W_{tr}) olarak tanımlanan ideal bir kavramdır. Bununla birlikte, bir sistemden elde edilebilecek en çok iş, hal değişiminin tersinir olmasının yanı sıra çevre koşullarına da bağlıdır. Çevresiyle termodinamik dengede olan bir sistemin hali *ölü hal* olarak adlandırılmaktadır. Ölçüm yapılan andaki sıcaklık ve basınç değerleri ölü hal olarak alınır. Aksi belirtilmedikçe, ölü hal sıcaklığı ve basıncı $T_0=25^\circ\text{C}$ ve $P_0=1 \text{ atm}$ (101.325 kPa) kabul edilir (Çengel ve Boles 2008). Ölü haldeyken sistem çevresiyle ısıl ve mekanik dengede olmasının yanı sıra çevresiyle tepkimeye girmez, çevresine göre kinetik ve potansiyel enerjiye sahip değildir. Başka bir deyişle, ölü halde bulunan bir sistemden iş elde edilemez. Dolayısıyla, ekserji aynı zamanda bir sistemin belirli bir halinden çevre haline gidişinin bir ölçüsü olmaktadır. Diğer bir deyişle, son hal ölü hal olduğunda, tersinir iş ekserjiye eşit olmaktadır. Bu bakımdan ekserji, bir sistemin niteliğini belirlemek için bir araç olmasının yanı sıra değişik sistemlerin iş yapabilme potansiyellerini karşılaştırmak için de kullanılmaktadır (Eryener 2003).

⁴ Tersinir hal değişimi, bir yönde gerçekleştikten sonra, çevrede herhangi bir iz bırakmadan tersi yönde gerçekleştirilebilen hal değişimidir. Her iki yöndeki hal değişimleri sonunda, sistem ve çevresi arasındaki net ısı ve etkileşiminin sıfır olması durumunda olanaklıdır.



Şekil 2.7. Tersinir iş ile ekserji arasındaki ilişki

Genel olarak, bir sistemin ekserjisi, hal değişimi sonucunda azalmaktadır, korunması olanaksızdır. Harcanmış iş potansiyeli veya iş yapmak için kaybedilmiş fırsat olarak görülen tersinmezlikler daima entropi (düzensizlik) üretir ($S_{üretim}$) ve bu da ekserjiyi yok eder. Ekserjinin yokoluşu ($\dot{E}x_D$), farklı sistemlerin karşılaştırılması için ekserji analizinde en çok kullanılan değerlendirme ölçütlerinden biridir. Ekserji kaybı, bir sürecin tersinmezliğinin mutlak ölçüsü olduğundan, bir ısı sistemin bileşenlerinde, enerjinin ne kadarlık bir kısmının verimsiz kullanıldığının belirlenmesi için önemli bir araçtır. Bundan başka ekserji yokoluşu, literatürde yapılan çalışmalarda, sistem verimsizliklerinin neden olduğu işletme maliyetlerinin belirlenmesinde ve bununla bağlantılı tasarımların optimizasyonunda kullanılan bir ölçüttür;

$$\dot{E}x_D = T_0 S_{üretim} \geq 0 \quad (2.9)$$

ve giren ekserji ile çıkan ekserji arasındaki farka eşittir;

$$\dot{E}x_D = \dot{E}x_g - \dot{E}x_c \quad (2.10)$$

Bir sistemde ekserji geçişi iş, ısı ve kütle ile gerçekleşebilmektedir. Bir sistem ile çevresi arasında iş etkileşimi olması halinde, ekserji geçişi doğrudan iş tarafından aktarılan enerji ile bağlantılı olmaktadır ve sistem sınırında gerçekleşen ekserji geçişi ($\dot{E}x_W$), yararlı işe eşittir. Eğer bir sistemin sıcaklığı çevre sıcaklığından farklı ise termodinamiğin ikinci yasasına göre çevre sıcaklığı ile sistem sıcaklığı arasında bir ısı makinesi aracılığıyla iş üretmek mümkündür ve bu iş, ısı geçişi ve sıcaklıklara bağlıdır. Isı geçişi ile bağlantılı ekserji geçişi ($\dot{E}x_Q$);

$$\dot{E}x_Q = \left(1 - \frac{T_0}{T}\right) \dot{Q} \quad (2.11)$$

bağıntısı ile ifade edilir. Burada Q ısı geçişini, T sistem sıcaklığını ve T_0 çevre sıcaklığını göstermektedir.

Kütle ile enerji ve entropinin yanında ekserji taşınımı da söz konusudur ve sistemin içine veya dışına taşınabilen ekserji miktarı kütle akış miktarı ile orantılıdır.

Buna göre, sisteme ısı geçişi ve sistemden iş çıkışı olduğu kabulü ile, sürekli akışlı sistemlerde ekserji dengesi bağıntıları aşağıdaki gibi açıklanabilir;

$$\dot{E}x_Q - \dot{E}x_W + \dot{E}x_{k\ddot{u}t\ddot{u}l\ddot{e},g} - \dot{E}x_{k\ddot{u}t\ddot{u}l\ddot{e},\zeta} - \dot{E}x_D = 0 \quad (2.12)$$

veya daha açık bir ifadeyle,

$$\Sigma \left(1 - \frac{T_0}{T}\right) \dot{Q} - \dot{W} + \Sigma_g \dot{m}\psi - \Sigma_\zeta \dot{m}\psi - \dot{E}x_D = 0 \quad (2.13)$$

$$\psi = (h - h_0) - T_0(s - s_0) \quad (2.14)$$

yazılabilir. Burada, h özgül entalpi, s özgül entropiyi ifade etmektedir.

Ekserji analizi yönteminde, sistemin termodinamik bakımdan irdelenebilmesi için farklı değerlendirme ölçütleri kullanılmaktadır. Bunlar arasında, ekserji verimi (η_{II}) ve iyileştirme potansiyeli (IP), en çok kullanılan değerlendirme ölçütleridir.

Ekserji verimi;

$$\eta_{II} = \frac{\dot{E}x_\zeta}{\dot{E}x_g} = 1 - \frac{\dot{E}x_D}{\dot{E}x_g} \quad (2.15)$$

iyileştirme potansiyeli ise (Dinçer ve Rosen 2007);

$$\dot{I}P = (1 - \eta_{II})(\dot{E}x_g - \dot{E}x_\zeta) \quad (2.16)$$

şeklinde yazılır (Şahin ve ark., 2007).

Bir cihaz veya makinanın tersinmezliğinin, tüm sistemin toplam tersinmezliğine oranı olan bağıl tersinmezlik (IR) ifadesi de başka bir değerlendirme aracı olarak kullanılabilir (Dinçer ve Rosen 2007);

$$\dot{I}R = \frac{\dot{E}x_{D,i}}{\dot{E}x_{D,top}} \quad (2.17)$$

burada “i” indisi, i. makinayı ifade etmektedir.

İkinci yasa verim ölçütleri, maliyet değerlendirmesi yapılmaksızın, tersinmezliklerin sistem verimliliğine etkisinin irdelenmesi bakımından olduğu kadar, enerji sistemlerinin benzer sistemlerle karşılaştırılması için de önemlidir. Literatürde, ekserji verimini ifade eden farklı tanımlamalar da mevcuttur. Örneğin; Costa vd (2001) ekserji verimlerini hesaplariken üç farklı yöntem kullanmıştır. Birincisinde çıkan ürünler ve atıkların ekserjilerinin toplamını giren ürünlerin toplam ekserjisine oranlanmış (Ψ_1), ikincisinde sadece çıkan ürünler atıklar olmaksızın giren ürün ekserjilerine oranlanmış (Ψ_2), üçüncüsünde ise sadece ana ürün ekserjisi giren ürünlerin ekserjileri toplamına oranlanmıştır (Ψ_3). Ψ_1 verimi her zaman Ψ_3 verimine eşit veya büyük olan Ψ_2

veriminden daha büyüktür. Ψ_2 ve Ψ_3 arasındaki karşılaştırma, belirli bir üretim adımının tüm üretim sistemindeki payı açısından açık bir gösterge sağlamaktadır.

2.5.4. Eksergoekonomik analiz

Ekserji, enerjinin termodinamik değerinin nesnel bir ölçüsü olmasının yanı sıra enerjinin ekonomik değeri ile yakından bağlantılı bir kavramdır. Sürekli akışlı bir sistemde transfer edilen enerjinin bir kısmı sistemden çıkarken, bir kısmı da tersinmezlikler nedeniyle sistemde yok olur (Ünal 2009). Genel olarak bir sistemdeki tersinmezlikler, sistemden elde edilen ürünün maliyet artışına neden olmaktadır. Bu bakımdan, enerji dönüşümünü sağlayan sistemin ya da ısı sisteminden elde edilecek ürünün maliyetinin, doğrudan ekserji kayıpları ile bağlantılı olduğu söylenebilir. Ekserji kayıplarının indirgenmesi, ısı sistemin termodinamik verimliliğinin artması ile birlikte sistem maliyetinin ekonomik olarak iyileştirilmesi anlamına gelmektedir. Bir ısı sistemde ekserji kayıplarının indirgenmesi, sistem tasarımının veya işletme şartlarının değiştirilmesi ile mümkündür. Bununla birlikte, bir sistemin termodinamik uygunluğu, ekonomik olarak da en uygun olması anlamına gelmez, çünkü tasarımı yapılan bir sistemde, tersinmezlikleri azaltmak için değiştirilen boyutlar, sistemin yatırım maliyetinde artışlara neden olabilmektedir. Dolayısıyla sistemin en uygun olarak tasarlanması için ekserji analizi ve ekonomik analiz birlikte ele alınmaktadır. Enerji sistemlerine uygulanması çok önemli olmakla birlikte, termoekonomik yöntemler, bir enerji analizinin ya da geleneksel bir ekonomik analizin yerini almaktan çok tamamlayıcı ve geliştirici bir rol üstlenmektedir (Eryener 2003).

Eksergoekonomik maliyet, fiyat belirleme için mantıklı bir temel oluşturan ve gerçek ürün maliyetinin belirlenmesi için kullanılan bir yöntemdir. Birim ekserjinin fiyatı “c” ile gösterilirse, toplam ekserji fiyatı aşağıdaki denklemle ifade edilebilir;

$$\dot{C} = c\dot{E}x = cm\dot{e}x \quad (2.18)$$

Burada $\dot{E}x$ ekserji akısı (kJ/h) ve \dot{C} maliyet akısını (TL/h), $\dot{e}x$ birim ekserji akısını (kJ/kg), \dot{m} kütleli debiyi (kg/h) ve c birim ekserji maliyetini (TL/kJ) göstermektedir.

Ekserji maliyeti bulunurken bir sistemde yer alan komponentler ayrı ayrı ele alınır (Ünal 2009). Sistemde k'nci komponente giren ürünlerin toplam maliyet akısı $\sum_g \dot{C}_k$, çıkan ürünlerin toplam maliyet akısı $\sum_\ç \dot{C}_k$, komponent üzerinde yapılan işin maliyet akısı \dot{C}_k^W ve komponentten çıkan ısının maliyet akısı ise \dot{C}_k^Q olarak ifade edilmektedir. Maliyet denge denklemlerine göre, incelenen bir sistemde bütün dışarı çıkan akımların toplam maliyeti, sisteme giren akımların toplam maliyeti ile yatırım, işletme ve bakım giderlerinin toplamına eşittir (Yalçın 2006). Bir sistemin k'nci komponenti için maliyet denge denklemi aşağıdaki şekilde yazılabilir;

$$\sum_g \dot{C}_k + \dot{C}_k^W + \dot{Z}_k^T = \sum_\ç \dot{C}_k + \dot{C}_k^Q \quad (2.19)$$

burada \dot{Z}_k^T ifadesi, sistemin k'ncı komponentinin saatlik indirgenmiş yatırım (\dot{Z}_k^{CI}), işletme ve bakım-onarım (\dot{Z}_k^{OM}) maliyetlerini kapsayan bir parasal değerdir (Tsatsaronis ve Moran 1997);

$$\dot{Z}_k^T = \dot{Z}_k^{CI} + \dot{Z}_k^{OM} \quad (2.20)$$

\dot{Z}_k^{CI} ve \dot{Z}_k^{OM} 'yi hesaplamak için kullanılan saatlik indirgenmiş maliyet yönteminin adımları aşağıdaki gibidir (Erbay ve Koca 2012);

$$\dot{Z}_k^{CI} = \frac{CRF}{t_{op}} PEC \quad (2.21)$$

$$CRF = \frac{i(i+1)^n}{(1+i)^n - 1} \quad (2.22)$$

$$\dot{Z}_k^{OM} = \dot{Z}_k^{CI} \varphi \quad (2.23)$$

Burada CRF , i , n , t_{op} , PEC ve φ ifadeleri sırasıyla yatırım dönüşüm oranı, yıllık faiz oranı, sistemin ömrü, sistemin toplam yıllık çalışma saati, yatırım maliyeti ve işletme ve bakım maliyet faktörünü belirtmektedir. Bu çalışmada işletme ve bakım maliyetinin hesaplanmasında $\varphi=0.85$ olarak alınmıştır. Enflasyonun paranın zamanla değerinin artmasına etkisi de incelenebilir, ancak burada problemi basitleştirmek için paranın zamanla değeri sadece paranın kazanma potansiyelindeki artış göz önüne alınarak hesaplanacaktır (Yüncü 2010).

3. MATERYAL ve METOT

3.1. Materyal

3.1.1. Tesis bilgileri ve enerji tüketim değerleri

Bu çalışma, dondurulmuş gıda üreten bir fabrikada gerçekleştirilmiştir. Tesiste, reçel, marmelat, dondurulmuş gıda ve konserve olmak üzere 4 ana grupta üretim yapılmakta olup, üretim kapasiteleri sırasıyla; 2400 ton/yıl reçel, 214 ton/yıl marmelat, 4500 ton/yıl konserve ve 5220 ton/yıl dondurulmuş gıdadır. 2010, 2011 ve 2012 değerleri Çizelge 3.1’de verilmiştir. 2012 yılı verilerine göre işletme dondurulmuş gıda üretiminde kapasitesinin yaklaşık %62’si kullanmaktadır.

Çizelge 3.1. Ürün gruplarına göre üretim miktarları (ton)

	2010	2011	2012
Dondurulmuş sebze	2 939.07	2 741.53	2 981.45
Dondurulmuş meyve	345.81	281.83	232.71
Dondurulmuş toplam	3 284.88	3 023.36	3 214.16
Konserve	515.23	424.53	216.22
Marmelat	21.82	21.87	21.81
Reçel	617.52	659.46	900.19

Tesiste, enerji kaynağı olarak elektrik ve doğalgaz kullanılmaktadır. Elektrik TEDAŞ kanalı ile, doğalgaz ise ENERJİ Grup Doğalgaz Petrol Ürn. A.Ş. tarafından karşılanmaktadır. İşletmede kullanılan enerjinin son üç yıla ait tüketim miktarları ve enerji maliyetleri Çizelge 3.2’de görülmektedir. Her bir yakıt ve/veya elektriğin yıllık tüketim miktarları Ek 5’te verilen katsayılar yardımı ile tep’e çevrilmiştir. Burada doğalgaz, dondurulmuş gıda üretim sürecinin haşlama aşamasında gerekli olan buharın kazanda üretimi için kullanılmaktadır.

Çizelge 3.2. Fabrikada tüketilen enerji miktarları ve maliyetleri

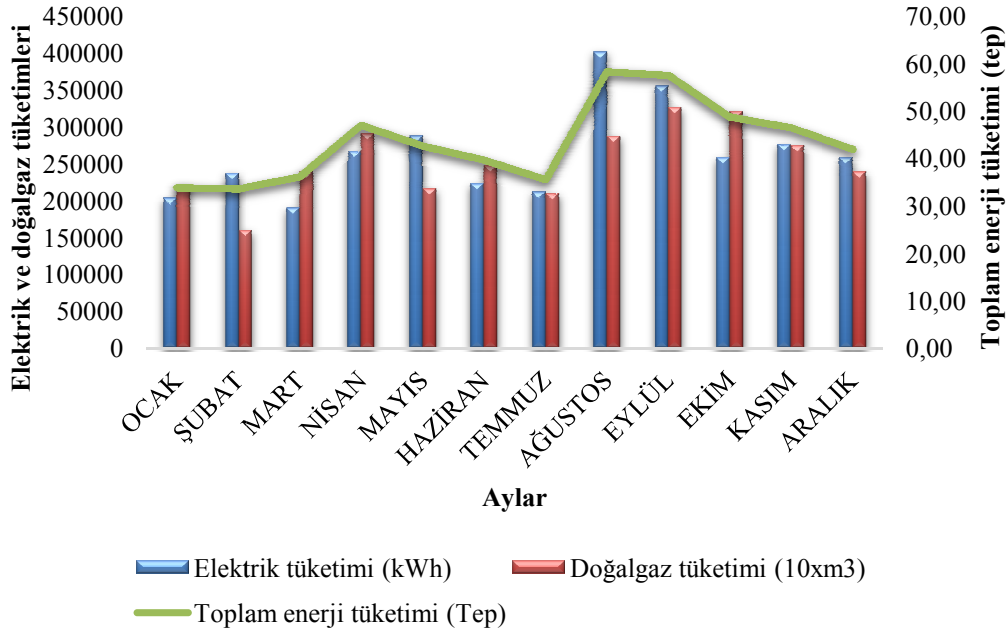
Yıllar	Tüketilen enerjinin		Tüketilen enerjinin tep değeri ve % oranı		Ortalama Enerji Birim Maliyeti	Yıllık Enerji Tüketim Maliyeti		Birim Enerji Maliyeti
	Tipi	Miktarı	tep*	%		TL	%	
2010	Elektrik	3 091 258.73 kWh	265.85	54	0.20 TL/kWh	631 617	71	2 376
	Doğal Gaz	271 640 m ³	224.10	46	0.96 TL/ m ³	262 132	29	1 170
	Toplam		489.95			893 749		1 824
2011	Elektrik	3 270 263.02 kWh	281.24	52	0.21 TL/kWh	689 017	64	2 450
	Doğal Gaz	313 649 m ³	258.76	48	1.24 TL/ m ³	390 493	36	1 509
	Toplam		540.00			1 079 510		1 999

2012	Elektrik	3 145 077.18 kWh	270.48	50	0.23 TL/kWh	741 327	55	2 741
	Doğal Gaz	324 320 m ³	267.56	50	1.40 TL/ m ³	607 900	45	2272
Toplam			538.04			1 349 228		2508

*Doğalgaz için alt ısı değer 8250 kcal/m³ ve elektrik için alt ısı değer 860 kcal/kWh olarak alınmıştır. 1tep=10 000 000 kcal, 1 kWh=3.6 MJ'dür.

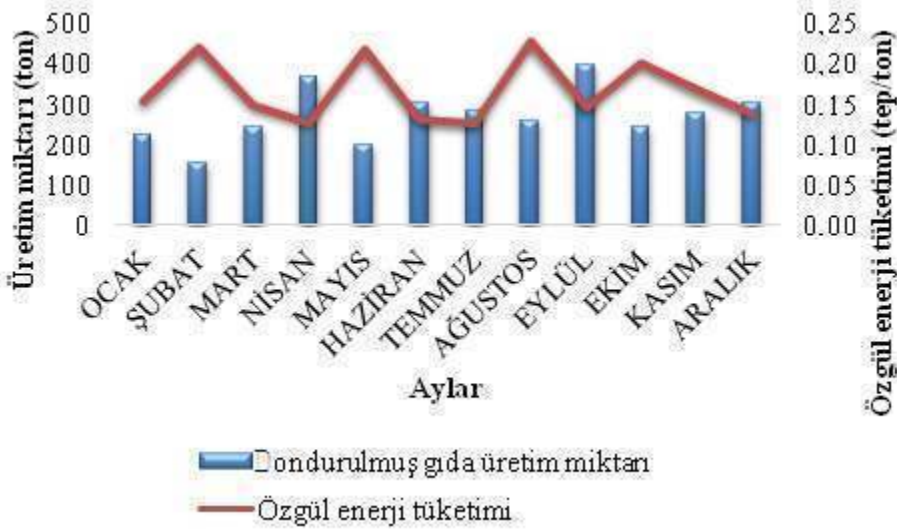
İşletmenin yıllık toplam enerji tüketimi 1000 tep'in altındır ve işletme organize sanayi bölgesinde bulunmamaktadır. Bu nedenle, Enerji Kaynaklarının ve Enerjinin Kullanımında Verimliliğin Artırılmasına Dair Yönetmeliğin 9. Maddesine göre bu endüstriyel işletmenin enerji yöneticisi görevlendirmesinin zorunlu olmadığı görülmektedir. Ancak Verimlilik Artırıcı Projeler (VAP) ile Gönüllü Anlaşmalardan destek almak için enerji yöneticisi bulundurma şartı aranmakta olup, işletme enerji verimliliği çalışmaları ile enerji maliyetlerini azaltmak isterse, toplam enerji tüketimleri 500 Tep'i geçtiği için yaptıracağı ön ve detaylı etütler ile VAP için danışmanlık hizmet alımı için Kosgeb'den sırasıyla 2 000, 20 000 ve 5 000 TL destek alabilmektedir.

İşletmenin enerji maliyeti, belirtilen üç yılın ortalamasına göre 1 107 495 TL/yıl'dır. 2012 yılında enerji tüketim oranının elektrik ve doğalgaz için eşit olarak dağıldığı görülmektedir. En yüksek değerler, elektrik tüketiminde 401 417.7 kWh ile Ağustos ayında, doğalgaz tüketiminde 32 620.3 m³ ile Eylül ayında gerçekleşmiştir. Toplam enerji tüketiminde en yüksek değer ise 58.24 tep ile yine Ağustos ayında gerçekleştiği görülmektedir (Şekil 3.1).



Şekil 3.1. Elektrik, doğalgaz ve toplam enerji tüketimlerinin ortalama değerleri (2010, 2011 ve 2012 yılları için)

Dondurulmuş gıda üretimi için özgül enerji tüketim¹ değerlerine bakıldığında, bu değerlerin 0.13-0.23 tep/ton arasında değişmekte olduğu ve en yüksek değeri (0.23 tep/ton) Ağustos ayında aldığı görülmektedir. Bu ayda elektrik ve doğalgaz için özgül enerji tüketimleri yine en yüksek değerleri almış olup, sırasıyla 1567.6 kWh/ton ve 112.2 m³/ton'dur (Şekil 3.2). Ağustos ayında işletmede, dondurulmuş mısır üretimi gerçekleştirilmektedir ve üretim miktarı olarak dondurulmuş sebze grubu içerisinde %14.6 paya sahiptir.



Şekil 3.2. Dondurulmuş gıda üretim miktarı ve özgül enerji tüketimi

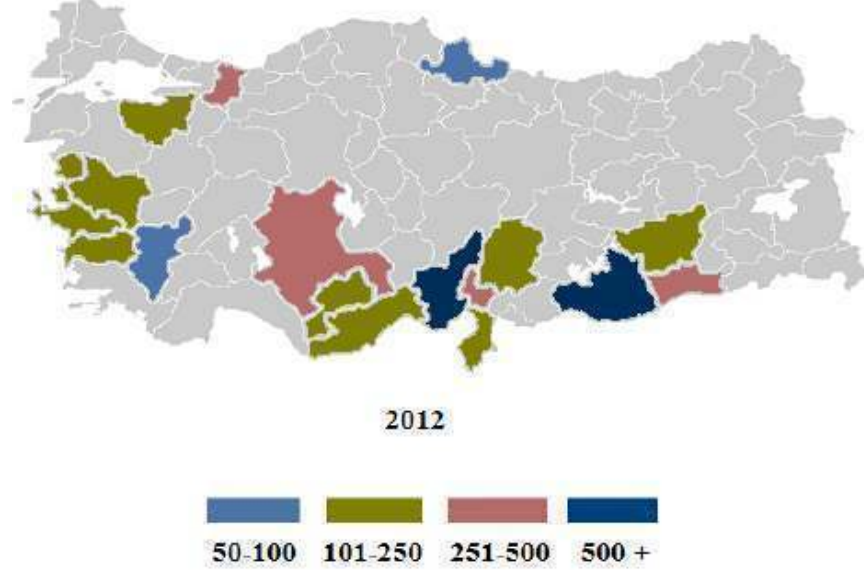
3.1.2. Tatlı Mısır (*Zea Maysaccharata Sturt.*)

Mısır, tarımsal üretim yapısı içerisinde olduğu kadar, yem ve “Nişasta” ve “Nişasta Bazlı Şekerlerin (NBŞ)” üretimi başta olmak üzere çok geniş kullanım alanına sahip olması nedeni ile tüketim yapısı içerisinde de önemli bir üründür. Son yıllarda hem artan üretimi hem de ekim alanlarındaki coğrafi değişim, pamuk ile olan rekabeti ve “Yem Katkı Maddesi Damıtık Tahıllar, Kurutulmuş Damıtma Çözünürü Daneler (DDGS)”, “Biyoyakıt” gibi ürünlerin artan kullanımları ile birlikte mısırın önemi daha da artmıştır. Dolayısıyla mısır piyasasının izlenmesi ve gelişmelerin değerlendirilmesi gerekliliği de önem kazanmıştır.

Dünya mısır üretimi, 2011/2012 pazarlama yılında (PY) 886 milyon ton ile son 50 yılın en yüksek seviyesinde gerçekleşmiştir. Türkiye’de ise aynı dönemde üretim 4.6 milyon tona yükselmesine rağmen 5 milyon tonun üzerindeki tüketimi karşılayamamaktadır. Bu nedenle oluşan arz açığı ithalatla karşılanmaktadır. Ülkemizde Akdeniz bölgesi geleneksel mısır üretim bölgesidir ve halen en önemli üretim bölgesi olma konumunu sürdürmektedir. Bölgede özellikle de Adana’da mısır üretiminin gelişmesinde, 1980’li yıllarda yürütülen ikinci ürün mısır projesinin katkısı oldukça önemlidir. Diğer yandan, Türkiye’deki 6 nişasta bazlı şeker fabrikasından 3’ünün Adana’da bulunması, yüksek kapasiteli mısır özü yağı üretim tesislerinin bulunması, diğer bölgelerde bulunan yem vb. mısır işleme tesisleri için tedarik merkezi olması gibi faktörler de bölge üretimini

¹ Özgül enerji tüketimi, bir ton ürün elde etmek için kullanılan enerji miktarıdır.

geliştiren etkenler olmuştur (Taşdan 2012). 2005/2006 PY'nda Türkiye'deki 2 milyon tona yakın üretiminin 1 milyon ton'dan fazlası Adana'da yapılmışken, ülkemizde 2012/2013 PY'nda 1.5 milyon ton'a düşen üretimin 682.5 bin tonu yine Adana'da gerçekleşmiştir. Adana, 500 bin ton'un üzerinde üretim yapan tek ilimizdir (Şekil 3.3).



Şekil 3.3. 50 bin ton'dan fazla mısır üretimine sahip iller (Taşdan 2012)

Yem sanayi başta olmak üzere nişasta bazlı şekerler, bitkisel yağ, biyoyakıt ve gıda sektörü gibi çeşitli kullanım alanlarına sahip olan mısır grupları içerisinde tatlı mısır, gerek taze gerekse dondurulmuş, konserve şeklinde insan tüketiminde doğrudan kullanılmaktadır. Tatlı mısır, süt olum dönemi sonunda hasat edildiğinde şeker oranı diğer mısırların yaklaşık iki katı, yağ ve protein oranı en yüksek ve embriyosu en iri olduğundan koçanlarından ayrılan danelerin dondurulmuş ürün olarak pazara sunulması için en uygun mısır türüdür (Erdal ve Pamukçu 2005). Tatlı mısırların ortalama besin bileşimi Çizelge 3.3'te görülmektedir.

Çizelge 3.3. 110-120 g tatlı mısırların ortalama besin bileşimi (Erdal ve Pamukçu 2005)

	Taze Tatlı mısır	Dondurulmuş	Piştirilmiş	Konserve
Kalori	66	67	89	79
Karbonhidrat, g	14	16	20	18
Yağ, g	0.9	0.06	1.0	0.5
Protein, g	2.4	2.4	2.7	2.4
Sodyum, m	11.7	4.0	11.7	11.7

Dondurulmuş mısır ürünü, tatlı mısırların sarı renkte olgun ve sütlü olanlarının gerekli ayıklama, temizleme, taneleme, haşlama ve soğutma işlemlerinden geçirildikten sonra hücre zarı parçalanmadan BHD (Individual Quick Frozen-IQF) teknolojisine uygun şekilde dondurulmasıyla elde edilen üründür.

3.1.3. Dondurulmuş mısır üretim prosesi, aşamaları ve kullanılan makineler

Dondurulmuş mısır üretim prosesi Ek 6'da, kullanılan makinelerin tesis içindeki yerleşim planı ise Ek 7'de verilmiştir. Proses, tez kapsamında genel olarak yedi grupta incelenmektedir;

1. Kabuk soyma işlemi,
2. Taneleme işlemi,
3. Yıkama ve püskül alma işlemi,
4. Haşlama işlemi,
5. Üründeki fazla suyun atılması,
6. Soğutma işlemi,
7. Dondurma işlemi.

3.1.3.1. Kabuk soyma işlemi

Hammadde olarak gelen süt mısır, 0-(-1)°C sıcaklık ve %90-95 bağıl nem koşullarında en fazla 2 gün süreyle depolanabilmektedir. Genellikle gelen mısır koçanları fabrikaya ait açık alanda bulunan kabuk soyma makinesinde kabukları soyulmak üzere bekletmeden işleme alınmaktadır (Şekil 3.4). Çalışma esnasında makine ile birlikte 4 adet elevatör ve 3 adet konveyör sistemi kullanılmaktadır. 2 konveyör ve 1 elevatör makineye mısır besleme amacıyla, 1 elevatör makineden atık kabukların kamyonu yüklenmesinde, 1 bant ve 1 elevatör de makineden çıkan kabuğu soyulmuş mısır koçanlarının kasalara iletilmesi amacıyla kullanılmaktadır.



Şekil 3.4. Açık alanda bulunan kabuk soyma makinesine iletim hattının genel görünümü

Kabuk soyma makinesi, titreşimli besleme sarsağı ve koçan soyma kısmı olmak üzere iki temel kısımdan oluşmaktadır. Besleme sarsağı, mısırların koçan soyma makinesine düzenli bir şekilde aktarılması için kullanılmaktadır. Koçan soyma kısmına gelen koçanlı mısırların kabuk soyma işlemi, makine boyunca yerleştirilmiş sekiz adet

helezon dişli profilli lastik rulo mili üzerinden geçerken gerçekleşmektedir (Şekil 3.5). Koçanları sürekli soyma kulvarına yönlendiren sarkaç mekanizması mevcuttur.



Şekil 3.5. Kabuk soyma mekanizması

3.1.3.2. Taneleme işlemi

Kabukları soyulan mısırların taneleri dört adet mısır taneleme makinesi kullanılarak ayrılmaktadır (Şekil 3.6). Makineler, mısır tanelerini diplerinden özel tasarımı bir bıçak seti ile keserek koçandan ayırmaktadır. Koçanlı mısırlar makineye tek tek elle yerleştirilmekte, daneleri ayrılan mısır koçanları ayrı bir yerde toplanmaktadır (Şekil 3.7).



Şekil 3.6. Taneleme makinelerinin yerleşimi



Şekil 3.7. Taneleme makinesinden koçanların ayrılması

3.1.3.3. Yıkama ve püskül alma işlemi

Mısır tanelerinin yıkama ve püskül alma işlemleri için mısır tamburu kullanılmaktadır (Şekil 3.8). Tambur, delikli dönen silindir bir gövdeden oluşmakta ve üstüne yerleştirilen başka bir silindirik yapı ile püsküllerin sistemden temizlenmesi kolaylaştırılmaktadır. Tambura tek taraftan gerçekleştirilen su girişi, mısır tanelerinin yıkanmasını ve blanşöre doğru ilerlemesini sağlamaktadır.



Şekil 3.8 Mısır tamburu

3.1.3.4. Haşlama işlemi

Koçanlarından ayrılan mısır daneleri vidalı blanşörde (Şekil 3.9) 90 ± 5 °C sıcaklıktaki kızgın buharda 1 dakika boyunca haşlanmaktadır. Blanşör tek silindirden

ibaret olup, haşlanan ürün sonsuz vida yardımıyla ileri doğru taşınarak blanşörü terk etmektedir.



Şekil 3.9. Vidalı blanşör

Haşlama işlemi, üretilen ürünün kalitesi üzerine en etkili işlemlerin başında gelmektedir. Özellikle dondurularak muhafaza edilecek ürünler için çok önemlidir. Çünkü donma sırasında ve daha sonra donmuş halde depolamada sıcaklık ne kadar düşük olursa olsun enzimatik faaliyetler yavaş da olsa devam etmektedir. Bu nedenle dondurulacak ürünlerin haşlanması ile enzimlerin neden olduğu renk esmerleşmesi, yabancı koku ve tat oluşumu, bazı vitaminlerin kaybı gibi birçok olumsuzluk önlenabilmektedir (Cemeroğlu 2004). Haşlamada beklenen yararları ulaşabilmek için haşlamanın uygun şekilde yapılması önemlidir. Blanşörlerin kullanımı, haşlama işleminin zaman ve sıcaklık ayarlarının duyarlı bir şekilde olmasını sağlamaktadır.

3.1.3.5. Ürün üzerindeki suyun atılması

Gıda üretimi yapan işletmelerde, ürün kalibresinde, çapak/kırıntı temizliğinde, ürün üzerindeki suyu atmada, düzgün ve homojen ürün beslenmesi gereken makine önlerinde, dolun makinelerinde, koli yerleştirme ve tartarak doldurma üniteleri gibi birçok uygulamada sarsak (titreşimli, vibrasyonlu) makineleri kullanılmaktadır. Sarsak makineleri, yaptıkları titreşim ve salınım hareketleri ile üzerlerindeki ürünün küçük hareketlerle ve belirli hızda ilerlemesini sağlamaktadırlar.

İnceleme yapılan işletmede iki adet sarsak makinesi kullanılmaktadır. Bunlardan biri, kabuk soyma işleminde bahsedilmiştir ve kabuk soyma makinesinden önce yerleştirilerek düzgün ve homojen ürün beslenmesi amacını taşımaktadır. Diğerisi ise, haşlanmış ürün üzerindeki fazla suyun atılması amacıyla blanşörden sonra yerleştirilmiştir (Şekil 3.10).



Şekil 3.10. Sarsak

3.1.3.6. Soğutma işlemi

Soğutma işlemi soğutma tamburu kullanılarak gerçekleştirilmektedir (Şekil 3.11). Vidalı tambur soğutma, blanşörün hemen çıkış kısmına yerleştirilmiştir ve sürekli taze su haşlanmış ürünün üzerine püskürtülmekte ve ürünün soğutulması sağlanmaktadır.



Şekil 3.11. Soğutma tamburu

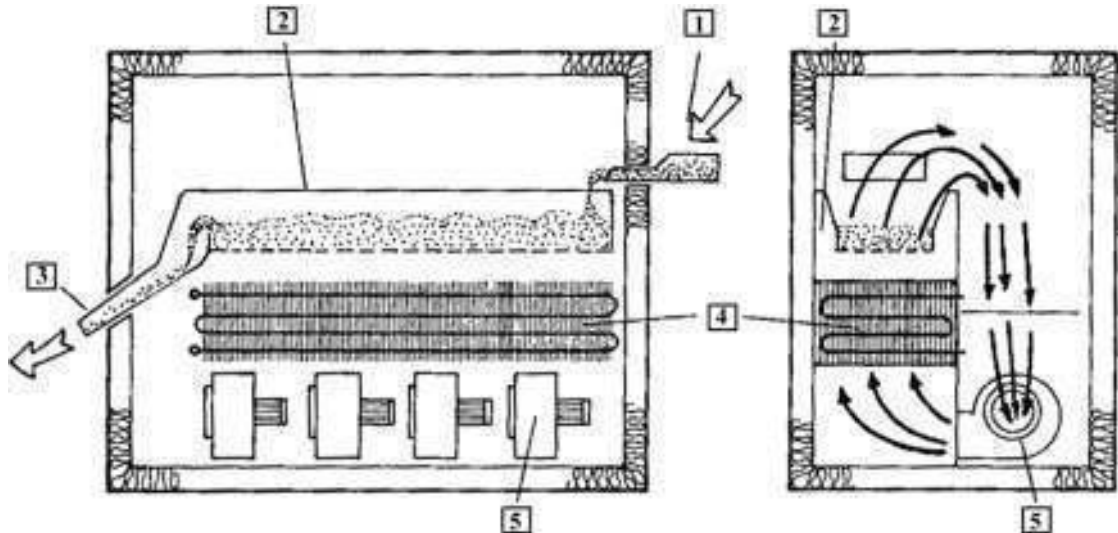
3.1.3.7. Dondurma işlemi

Soğutma tamburundan çıkan mısır daneleri bireysel hızlı dondurma tekniği ile dondurma işleminin gerçekleştirildiği bir makineye girmektedir (Şekil 3.12). Bu sistemde, ürün yalıtılmış bir kabin içinde yer alan bir bant üzerinde ilerlerken, bantın altından verilen çok yüksek hızlı hava, bant üzerindeki materyali hava içinde yüzer halde tutarak tüm yüzeylerinin soğuk hava ile temas etmesini ve süratle donmasını sağlar (Şekil 3.13). Bu yöntem sadece hızlı bir donma sağlamakla kalmayıp, ayrıca her

parçayı ayrı ayrı dondurduğundan ürünün bir blok haline dönüşmesini önlemektedir. Bu sistemin temeli, ürün birimlerinin kısa bir zaman aralığında düşük sıcaklıktaki soğutucuyla temas ettirilip dondurulmasına dayanmaktadır ve yüksek kalitede ürün eldesi sağlamaktadır. Hava hızı 10-15 m/s, sıcaklık ise -30 ile -40 °C arasında değişmektedir. Akışkan yataklı dondurucular, dondurulacak parçaların iriliğine yani havada akışkanlık kazanma niteliğine göre 5-10 cm kalınlıkta bir tabaka oluşturacak şekilde beslenirler. Donma süresi çok kısa olup, parça iriliğine göre 3-15 dakika arasında değişir. Dondurulmuş ürünler ağırlıklarına göre kutularda paketlenirken sonra -18°C’de saklanmak üzere soğuk depolara gitmektedir.



Şekil 3.12. Bireysel hızlı dondurma yöntemi (BHD)

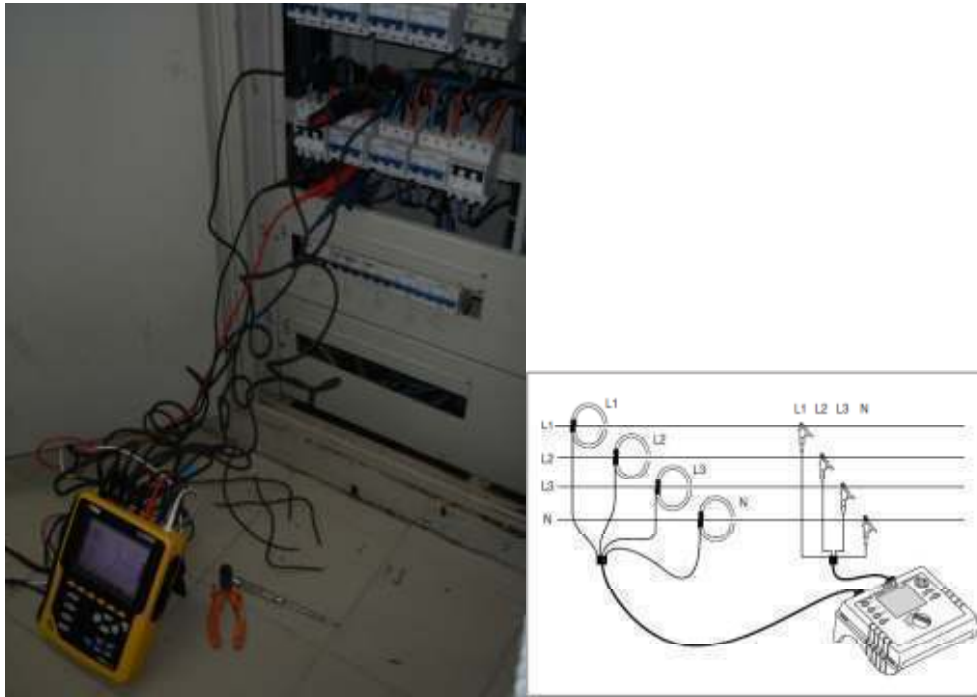


Şekil 3.13. Bireysel hızlı dondurucu (BHD) çalışma prensibi (1: ürün girişi, 2: iletim bandı, 3: ürün çıkışı, 4: evaporatör, 5: fan)

3.2. Metot

En fazla makine kullanımı gerektiren ve dolayısıyla elektrik tüketiminin makine parkı bazında en yüksek olduğu üretim süreçlerinden biri dondurulmuş mısır üretimidir. Üretim işleminde kullanılan ve kaybolan enerjinin tespiti ve sistemin veriminin hesaplanmasında enerji ve ekserji analizlerinden yararlanılmıştır. Dondurulmuş gıda üretiminde kullanılan makineler için enerji, ekserji ve eksergoekonomik analizlerinin yapılabilmesinde öncelikle makinalara giren ve çıkan maddelerin ürün sıcaklıkları ve kütledebileri ölçülerek tespit edilmiştir. Sisteme giren ve çıkan materyaller enerji akış şemasında detaylı olarak verilmiştir (Bkz. Şekil 3.16). Bu şemada yatay çizgiler, ilişkilendirildikleri üretim basamağında olan enerji ve mısır dışındaki malzeme girişlerini, dikey çizgiler ise mısırın hammaddeden son ürüne kadar makinelerdeki üretim basamaklarını göstermektedir. Üretimde koçanlı mısır hammadde olarak sisteme alınmakta ve üretim sonunda dondurulmuş tane mısır olarak sistemden çıkmaktadır.

Makinelerin çalışmaları esnasında yüklenme durumlarına göre çektikleri gerçek elektrik tüketim miktarını tespit etmek için, makinelerin üzerinde bulunan elektrik panolarından Portatif Enerji Analizörü kullanılarak ölçüm yapılmıştır. Üretim tesisinde kullanılan her bir makinenin faz-faz arası gerilim değerleri, her fazdan çekilen akım, aktif, reaktif (kapasitif ve endüktif) ve görünür güç değerleri, $\cos\phi$ ve $\tan\phi$ faktörü değerlerinin ölçümü yapılmıştır. Probların bağlantı şeması Şekil 3.14'te görülmektedir. Bir elektrik motoru gücünün ihtiyacın çok üstünde seçilmesi cihazın düşük verimle işletilmesi, elektrik tüketiminin gereğinden fazla olması anlamına gelmektedir. Elektrik motorunun uygun kapasiteli bir motorla değiştirilmesi enerji tasarrufu sağlayacağı gibi kısa zamanda kendisini amorti edecektir.



Şekil 3.14. Enerji analizörü bağlantı şeması

Kabuk soyma, taneleme, yıkama ve püskül alma, haşlama makinaları ile soğutma tamburunda toplam on iki ayrı noktadan çeşitli amaçlarla su girişi söz konusudur. Su gerektiren bu proseslerde suyun geçtiği ½' ve 2' çaplarında boru hatlarından akış miktarının ölçülmesi için portatif ultrasonik sıvı debimetresi kullanılmıştır (Şekil 3.15). Debimetrenin portatif olması, Clamp-on probalar ile boruya hiç bir ek yapmadan ve boruya müdahale etmeden pek çok farklı noktadan ölçüm yapılabilmesini sağlaması açısından önemlidir.



Şekil 3.15. Portatif sıvı debimetresinin bağlantı şekli

Taneleme makinesinde, makineye elle yükleme yapılması esnasında bir sıkışma olduğunda pnömatrik olarak mekanizmayı birbirinden ayırmak için hava kullanımı söz konusudur. Ancak mısırın mekanizmada sıkışma sıklığı ve kullanılan hava miktarı tüm üretim süresince çok az olduğundan, analizlerde makinelere giren/çıkan hava miktarları dikkate alınmamıştır. Veri toplamada kullanılan tüm cihazların özellikleri Çizelge 3.4'te verilmiştir.

Çizelge 3.4. Veri toplamada kullanılan cihazlar ve özellikleri

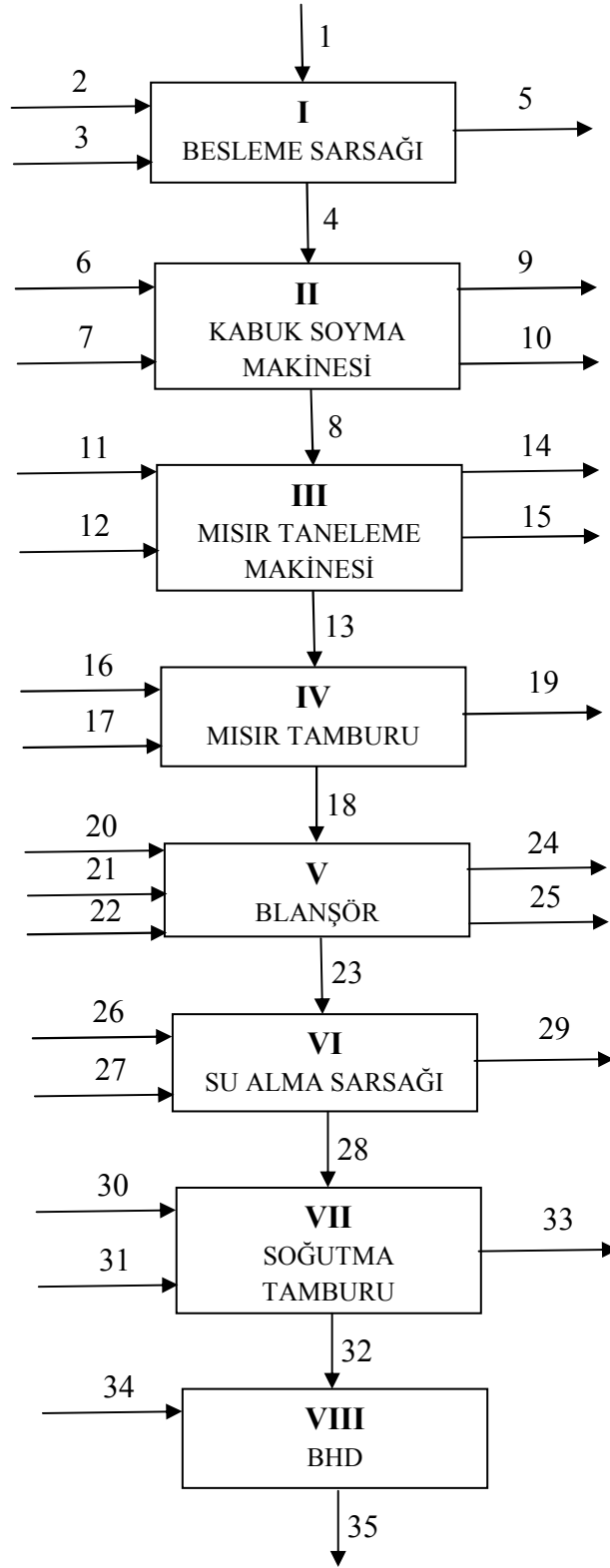
Cihazın Adı	Marka/Model	Kullanım amacı ve Özellikleri
Elektrik Enerji Analizörü	Chauvin Arnaux CA 8332B 3 Fazlı Portatif Enerji Analizörü [3xAmplfex 45 Akım Klambı (10-6500A) + 3xMN93 (0-200A) ile]	Ölçme Aralığı : 3xAmplfex 45 Akım Klambı (10-6500A) Hassasiyet: ≤3% (10...100A) ≤2% (100A...6500A) 3xMN93 akım klambı (0-200A) Doğruluk: ≤3%+1A (2...10A) ≤2.5% +1A (10...100A) ≤1% +5 mV (100...240A)
Ultrasonik Akış Ölçer	GE Sensing TransPort® PT878 Portatif Sıvı	Boru çapı: 0.5 in ... 300 in (12.7 mm ... 7.6 m) Boru duvar kalınlığı: 0.05 in ... 3 in (1.3 mm ... 76.2 mm) Çalışma sıcaklığı: -40°F ... 300°F (-40°C ... 150°C) Doğruluk: ±1% tipik veya ±0.002 in (±0.05 mm)

	Debimetresi	
Termal Kamera	TESTO 875-2 Termal Kamera	Sıcaklık aralığı: -20...100 °C Hassasiyet: ±2 °C Tekrarlanabilirlik: ±1°C Emisivite ayarı: 0.01 ... 1.00
Sıcaklık Ölçüm Probu	TESTO 926 Sıcaklık Ölçüm Cihazı	Ölçüm ağırlığı: -50...+400 °C Saklama Sıcaklığı: -40 ...+70 °C Çalışma Sıcaklığı: -20...+50 °C Doğruluk: ±0.3 °C

3.2.1. Analiz yöntemleri

3.2.1.1. Üretim hattı analizleri

Üretim hattındaki her makinenin içinden kütle akışı olmaktadır. Bu nedenle, analizlerde her makinenin sınırı kontrol hacmi olarak kabul edilmiştir ve hesaplamalar makineler için ayrı ayrı yapılmıştır. Her bir kontrol hacmine giren ve çıkan akımların numaraları Şekil 3.16'da gösterilmiştir. Makine yüzeylerinden çevreye ısı kaybı sadece blansörde gerçekleşmektedir, diğer makinelerde makine yüzey sıcaklıkları ile çevre hava sıcaklığı neredeyse aynı olduğundan bu makinelerdeki ısı kayıpları ihmal edilmiştir.



Şekil 3.16. Dondurulmuş mısır üretiminin enerji akış şeması

1, 4, 8, 13, 18, 23, 28, 32, 35: mısır akımı, 3, 5, 7, 10, 12, 15, 17, 19, 21, 24, 27, 29, 31, 33: su akımı, 9: yaprak akımı, 14: koçan akımı, 22, 25: buhar akımı, 2, 6, 11, 16, 20, 26, 30, 34: elektrik gücü

Üretim süreci sürekli akışlı açık sistem olarak kabul edilmiştir. Her kontrol hacmi için kütle korunumu söz konusudur ve bir proseten çıkan ürün (mısır), sonraki prosesin giren hammaddesini oluşturmaktadır. Kütle denklilikleri ve enerji korunum denge

eşitlikleri açık olarak Çizelge 3.5’te verilmektedir. Sistemin potansiyel ve kinetik enerjileri ihmal edilmiştir. Ekserji denge eşitlikleri ise Çizelge 3.6’da ayrıntılı olarak görülmektedir. Proseslerde işlem gören mısır, yaprak ve koçan gibi biyokütle materyale aktarılan ısıl enerji aşağıdaki gibi hesaplanmıştır;

$$\dot{E}x_k = \dot{m}_k c_k \left[(T_k - T_0) - T_0 \ln \left(\frac{T_k}{T_0} \right) \right] \quad (3.1)$$

Burada “k” indisi ile mısır, yaprak, koçan gibi katı maddeler ifade edilmektedir.

Yukarıda bahsedildiği gibi bir prostenden çıkan mısır diğer prosesin hammaddesi konumunda olduğundan, sistemin eksergoekonomik analizde nihai ürünün birim ekserji maliyetinin bulunması için, iş akışkanının sisteme girdiği noktadan hesaplara başlanmaktadır. Her bir kontrol hacmi için oluşturulan eksergoekonomik denge eşitlikleri Çizelge 3.7’de verilmiştir. Buna bağlı olarak her bir makineden çıkan ürünün birim ekserji maliyetleri sırasıyla aşağıdaki gibi hesaplanmıştır;

$$C_1^{mısır} = C_4^{mısır} = \frac{c_2^W \dot{E}x_2^W + c^{su} (\dot{E}x_3^{su} - \dot{E}x_5^{su}) + Z_I^T}{\dot{E}x_4^{mısır} - \dot{E}x_1^{mısır}} \quad (3.2)$$

$$C_4^{mısır} = C_8^{mısır} = \frac{c_6^W \dot{E}x_6^W + c^{su} (\dot{E}x_7^{su} - \dot{E}x_{10}^{su}) + Z_{II}^T}{\dot{E}x_8^{mısır} - \dot{E}x_4^{mısır}} \quad (3.3)$$

$$C_8^{mısır} = C_{13}^{mısır} = \frac{c_{11}^W \dot{E}x_{11}^W + c^{su} (\dot{E}x_{12}^{su} - \dot{E}x_{15}^{su}) + Z_{III}^T}{\dot{E}x_{13}^{mısır} - \dot{E}x_8^{mısır}} \quad (3.4)$$

$$C_{13}^{mısır} = C_{18}^{mısır} = \frac{c_{16}^W \dot{E}x_{16}^W + c^{su} (\dot{E}x_{17}^{su} - \dot{E}x_{19}^{su}) + Z_{IV}^T}{\dot{E}x_{18}^{mısır} - \dot{E}x_{13}^{mısır}} \quad (3.5)$$

$$C_{18}^{mısır} = C_{23}^{mısır} = \frac{c_{20}^W \dot{E}x_{20}^W + c^{su} (\dot{E}x_{21}^{su} - \dot{E}x_{24}^{su}) + c_{22}^Q \dot{E}x_{22}^Q + Z_V^T}{\dot{E}x_{23}^{mısır} - \dot{E}x_{18}^{mısır}} \quad (3.6)$$

$$C_{23}^{mısır} = C_{28}^{mısır} = \frac{c_{26}^W \dot{E}x_{26}^W + c^{su} (\dot{E}x_{27}^{su} - \dot{E}x_{29}^{su}) + Z_{VI}^T}{\dot{E}x_{28}^{mısır} - \dot{E}x_{23}^{mısır}} \quad (3.7)$$

$$C_{28}^{mısır} = C_{32}^{mısır} = \frac{c_{30}^W \dot{E}x_{30}^W + c^{su} (\dot{E}x_{31}^{su} - \dot{E}x_{33}^{su}) + Z_{VII}^T}{\dot{E}x_{32}^{mısır} - \dot{E}x_{28}^{mısır}} \quad (3.8)$$

$$C_{32}^{mısır} = C_{35}^{mısır} = \frac{c_{34}^W \dot{E}x_{34}^W + Z_{VIII}^T}{\dot{E}x_{35}^{mısır} - \dot{E}x_{32}^{mısır}} \quad (3.9)$$

Böylece, nihai ürün olan dondurulmuş mısırın birim ekserji maliyeti bulunmuş olur. Üretim sonunda ortaya çıkan kabuk ve koçan atıklarının bir maddi değeri yoktur ve $c^{koçan} = c^{yaprak} = 0$ olarak kabul edilmiştir.

Çizelge 3.5. Kontrol hacimlerinin kütle denklikleri ve enerji korunumu denge eşitlikleri

Kontrol Hacmi	Kütle denklikleri	Enerji korunumu denge eşitlikleri
I	$\dot{m}_1^{\text{mısır}} + \dot{m}_3^{\text{su}} = \dot{m}_4^{\text{mısır}} + \dot{m}_5^{\text{su}}$	$-\dot{W}_I + \dot{m}_1^{\text{mısır}} c_{p,1}^{\text{mısır}} T_1^{\text{mısır}} + \dot{m}_3^{\text{su}} h_3^{\text{su}} = \dot{m}_4^{\text{mısır}} c_{p,4}^{\text{mısır}} T_4^{\text{mısır}} + \dot{m}_5^{\text{su}} h_5^{\text{su}}$
II	$\dot{m}_4^{\text{mısır}} + \dot{m}_7^{\text{su}} = \dot{m}_8^{\text{mısır}} + \dot{m}_9^{\text{yaprak}} + \dot{m}_{10}^{\text{su}}$	$-\dot{W}_{II} + \dot{m}_4^{\text{mısır}} c_{p,4}^{\text{mısır}} T_4^{\text{mısır}} + \dot{m}_7^{\text{su}} h_7^{\text{su}}$ $= \dot{m}_8^{\text{mısır}} c_{p,8}^{\text{mısır}} T_8^{\text{mısır}} + \dot{m}_9^{\text{yaprak}} c_{p,9}^{\text{yaprak}} T_9^{\text{yaprak}} + \dot{m}_{10}^{\text{su}} h_{10}^{\text{su}}$
III	$\dot{m}_8^{\text{mısır}} + \dot{m}_{12}^{\text{su}} = \dot{m}_{13}^{\text{mısır}} + \dot{m}_{14}^{\text{koçan}} + \dot{m}_{15}^{\text{su}}$	$-\dot{W}_{III} + \dot{m}_8^{\text{mısır}} c_{p,8}^{\text{mısır}} T_8^{\text{mısır}} + \dot{m}_{12}^{\text{su}} h_{12}^{\text{su}}$ $= \dot{m}_{13}^{\text{mısır}} c_{p,13}^{\text{mısır}} T_{13}^{\text{mısır}} + \dot{m}_{14}^{\text{koçan}} c_{p,14}^{\text{koçan}} T_{14}^{\text{koçan}} + \dot{m}_{15}^{\text{su}} h_{15}^{\text{su}}$
IV	$\dot{m}_{13}^{\text{mısır}} + \dot{m}_{17}^{\text{su}} = \dot{m}_{18}^{\text{mısır}} + \dot{m}_{19}^{\text{su}}$	$-\dot{W}_{IV} + \dot{m}_{13}^{\text{mısır}} c_{p,13}^{\text{mısır}} T_{13}^{\text{mısır}} + \dot{m}_{17}^{\text{su}} h_{17}^{\text{su}} = \dot{m}_{18}^{\text{mısır}} c_{p,18}^{\text{mısır}} T_{18}^{\text{mısır}} + \dot{m}_{19}^{\text{su}} h_{19}^{\text{su}}$
V	$\dot{m}_{18}^{\text{mısır}} + \dot{m}_{21}^{\text{su}} + \dot{m}_{22}^{\text{buhar}} = \dot{m}_{23}^{\text{mısır}} + \dot{m}_{24}^{\text{su}} + \dot{m}_{25}^{\text{buhar}}$	$\dot{Q}_V - \dot{W}_V + \dot{m}_{18}^{\text{mısır}} c_{p,18}^{\text{mısır}} T_{18}^{\text{mısır}} + \dot{m}_{21}^{\text{su}} h_{21}^{\text{su}} + \dot{m}_{22}^{\text{buhar}} h_{22}^{\text{buhar}}$ $= \dot{m}_{23}^{\text{mısır}} c_{p,23}^{\text{mısır}} T_{23}^{\text{mısır}} + \dot{m}_{24}^{\text{su}} h_{24}^{\text{su}} + \dot{m}_{25}^{\text{buhar}} h_{25}^{\text{buhar}}$
VI	$\dot{m}_{23}^{\text{mısır}} + \dot{m}_{27}^{\text{su}} = \dot{m}_{28}^{\text{mısır}} + \dot{m}_{29}^{\text{su}}$	$-\dot{W}_{VI} + \dot{m}_{23}^{\text{mısır}} c_{p,23}^{\text{mısır}} T_{23}^{\text{mısır}} + \dot{m}_{27}^{\text{su}} h_{27}^{\text{su}} = \dot{m}_{28}^{\text{mısır}} c_{p,28}^{\text{mısır}} T_{28}^{\text{mısır}} + \dot{m}_{29}^{\text{su}} h_{29}^{\text{su}}$
VII	$\dot{m}_{28}^{\text{mısır}} + \dot{m}_{31}^{\text{su}} = \dot{m}_{32}^{\text{mısır}} + \dot{m}_{33}^{\text{su}}$	$-\dot{W}_{VII} + \dot{m}_{28}^{\text{mısır}} c_{p,28}^{\text{mısır}} T_{28}^{\text{mısır}} + \dot{m}_{31}^{\text{su}} h_{31}^{\text{su}} = \dot{m}_{32}^{\text{mısır}} c_{p,32}^{\text{mısır}} T_{32}^{\text{mısır}} + \dot{m}_{33}^{\text{su}} h_{33}^{\text{su}}$
VIII	$\dot{m}_{32}^{\text{mısır}} = \dot{m}_{35}^{\text{mısır}}$	$-\dot{W}_{VIII} + \dot{m}_{32}^{\text{mısır}} c_{p,32}^{\text{mısır}} T_{32}^{\text{mısır}} = \dot{m}_{35}^{\text{mısır}} c_{p,35}^{\text{mısır}} T_{35}^{\text{mısır}}$

Çizelge 3.6. Kontrol hacimlerinin ekserji denge eşitlikleri ve ekserji verimleri

Kontrol Hacmi	Ekserji denge eşitlikleri	Ekserji verimi
I	$\dot{E}x_I^D = (\dot{E}x_1^{mısır} + \dot{E}x_2^W + \dot{E}x_3^{su}) - (\dot{E}x_4^{mısır} + \dot{E}x_5^{su})$	$\eta_{II} = \frac{\dot{E}x_4^{mısır} + \dot{E}x_5^{su}}{\dot{E}x_1^{mısır} + \dot{E}x_3^{su} + \dot{E}x_2^W}$
II	$\dot{E}x_{II}^D = (\dot{E}x_4^{mısır} + \dot{E}x_6^W + \dot{E}x_7^{su}) - (\dot{E}x_8^{mısır} + \dot{E}x_9^{yaprak} + \dot{E}x_{10}^{su})$	$\eta_{II} = \frac{\dot{E}x_8^{mısır} + \dot{E}x_9^{yaprak} + \dot{E}x_{10}^{su}}{\dot{E}x_4^{mısır} + \dot{E}x_7^{su} + \dot{E}x_6^W}$
III	$\dot{E}x_{III}^D = (\dot{E}x_8^{mısır} + \dot{E}x_{11}^W + \dot{E}x_{12}^{su}) - (\dot{E}x_{13}^{mısır} + \dot{E}x_{14}^{koçan} + \dot{E}x_{15}^{su})$	$\eta_{II} = \frac{\dot{E}x_{13}^{mısır} + \dot{E}x_{14}^{koçan} + \dot{E}x_{15}^{su}}{\dot{E}x_8^{mısır} + \dot{E}x_{11}^W + \dot{E}x_{12}^{su}}$
IV	$\dot{E}x_{IV}^D = (\dot{E}x_{13}^{mısır} + \dot{E}x_{16}^W + \dot{E}x_{17}^{su}) - (\dot{E}x_{18}^{mısır} + \dot{E}x_{19}^{su})$	$\eta_{II} = \frac{\dot{E}x_{18}^{mısır} + \dot{E}x_{19}^{su}}{\dot{E}x_{13}^{mısır} + \dot{E}x_{16}^W + \dot{E}x_{17}^{su}}$
V	$\dot{E}x_V^D = (\dot{E}x_{18}^{mısır} + \dot{E}x_{20}^W + \dot{E}x_{21}^{su} + \dot{E}x_{22}^{buhar}) - (\dot{E}x_{23}^{mısır} + \dot{E}x_{24}^{su} + \dot{E}x_{25}^{buhar}) - \dot{E}x_Q^{kayıp}$	$\eta_{II} = \frac{\dot{E}x_{23}^{mısır} + \dot{E}x_{24}^{su} + \dot{E}x_{25}^{buhar} + \dot{E}x_Q^{kayıp}}{\dot{E}x_{18}^{mısır} + \dot{E}x_{20}^W + \dot{E}x_{21}^{su} + \dot{E}x_{22}^{buhar}}$
VI	$\dot{E}x_{VI}^D = (\dot{E}x_{23}^{mısır} + \dot{E}x_{26}^W + \dot{E}x_{27}^{su}) - (\dot{E}x_{28}^{mısır} + \dot{E}x_{29}^{su})$	$\eta_{II} = \frac{\dot{E}x_{28}^{mısır} + \dot{E}x_{29}^{su}}{\dot{E}x_{23}^{mısır} + \dot{E}x_{26}^W + \dot{E}x_{27}^{su}}$
VII	$\dot{E}x_{VII}^D = (\dot{E}x_{28}^{mısır} + \dot{E}x_{30}^W + \dot{E}x_{31}^{su}) - (\dot{E}x_{32}^{mısır} + \dot{E}x_{33}^{su})$	$\eta_{II} = \frac{\dot{E}x_{32}^{mısır} + \dot{E}x_{33}^{su}}{\dot{E}x_{28}^{mısır} + \dot{E}x_{30}^W + \dot{E}x_{31}^{su}}$
VIII	$\dot{E}x_{VIII}^D = (\dot{E}x_{32}^{mısır} + \dot{E}x_{34}^W) - (\dot{E}x_{35}^{mısır})$	$\eta_{II} = \frac{\dot{E}x_{35}^{mısır}}{\dot{E}x_{32}^{mısır} + \dot{E}x_{34}^W}$

Çizelge 3.7. Eksergoekonomik denge eşitlikleri²

Kontrol hacmi	Eksergoekonomik denge eşitlikleri
I	$\dot{C}_1^{mısır} + \dot{C}_3^{su} + \dot{C}_2^W + \dot{Z}_I^T = \dot{C}_4^{mısır} + \dot{C}_5^{su}$
II	$\dot{C}_4^{mısır} + \dot{C}_7^{su} + \dot{C}_6^W + \dot{Z}_{II}^T = \dot{C}_8^{mısır} + \dot{C}_9^{yaprak} + C_{10}^{su} ; c_9^{yaprak} = 0$ (Kabul)
III	$\dot{C}_8^{mısır} + \dot{C}_{12}^{su} + \dot{C}_{11}^W + \dot{Z}_{III}^T = \dot{C}_{13}^{mısır} + \dot{C}_{14}^{koçan} + C_{15}^{su} ; c_{14}^{koçan} = 0$ (Kabul)
IV	$\dot{C}_{13}^{mısır} + \dot{C}_{17}^{su} + \dot{C}_{16}^W + \dot{Z}_{IV}^T = \dot{C}_{18}^{mısır} + \dot{C}_{19}^{su}$
V	$\dot{C}_{18}^{mısır} + \dot{C}_{21}^{su} + \dot{C}_{20}^W + \dot{C}_{22}^Q + \dot{Z}_V^T = \dot{C}_{23}^{mısır} + \dot{C}_{24}^{su} + \dot{C}_{25}^Q$
VI	$\dot{C}_{23}^{mısır} + \dot{C}_{27}^{su} + \dot{C}_{26}^W + \dot{Z}_{VI}^T = \dot{C}_{28}^{mısır} + \dot{C}_{29}^{su}$
VII	$\dot{C}_{28}^{mısır} + \dot{C}_{31}^{su} + \dot{C}_{30}^W + \dot{Z}_{VII}^T = \dot{C}_{32}^{mısır} + \dot{C}_{33}^{su}$
VIII	$\dot{C}_{32}^{mısır} + \dot{C}_{34}^W + \dot{Z}_{VIII}^T = \dot{C}_{35}^{mısır}$

² Enerji ve ekserji fiyatları arasındaki farkın küçük olması nedeniyle Rosen ve Dincer (2003) tarafından önerildiği gibi, dondurulmuş mısır üretiminde kullanılan elektrik, su ve doğalgazın ekserji fiyatları birim enerji fiyatları ile aynı alınmıştır.

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4. 1. Üretim Hattı

Dondurulmuş gıda üretiminde kullanılan her bir mısırın ağırlığının ortalama olarak %29.84'ünü yaprak, %35.16'sını koçan ve %35'ini mısır tanesi oluşturmaktadır. 2013 yılının Eylül ayında 25 gün ve iki vardiya olarak çalışılarak 1370 ton yapraklı mısırdan, 479.5 ton dondurulmuş tane mısır üretilmiştir. Üretim süresince 408.8 ton yaprak ve 481.7 ton koçan atık olarak çıkmıştır.

Her makinenin ortalama elektrik tüketimi analizlerde, ısıya dönüşen elektrik enerjisi olarak hesaplamalara katılmıştır. Sisteme giren ve çıkan maddelerin toplam enerji değerleri belirlenmiştir. BHD ve paketleme işlemleri hariç, tüm makinelere su girişi olmakta ve aynı debide su atık olarak çıkmaktadır. Blanşör haricindeki makinelerde atık suyun sıcaklık artışı çok küçük değerlerdedir.

4.1.1. Enerji ve ekserji analiz sonuçları

Enerji ve ekserji analizi için gerekli olan parametreler genel olarak Çizelge 4.1'de verilmiştir.

Belirtilen 9 iş istasyonunun birim zamandaki elektrik enerjisi, ısı enerjisi, işgücü enerjisi ve toplam enerji girdileri ayrı ayrı hesaplanmıştır (Çizelge 4.2). Her istasyonun tükettiği elektrik enerjisi belirlenirken o istasyona ait ana makine ve buna bağlı konveyör veya elevatör tüketimleri de dikkate alınmıştır. Tüketilen elektrik enerjisi verileri enerji analizörü kullanılarak tespit edilmiştir. Isıl ve işgücü enerjilerinin hesaplanmasında (Jekayinfa ve Bamgboye 2006, 2007; Jekayinfa ve Olajide 2007; Waheed vd 2008; Fadare vd 2010b)'in çalışmalarında kullanılan bağıntılardan yararlanılmıştır.

Çizelge 4.1. Makinelerin güç tüketimlerinin hesaplanması

İşlem	Ölçülen parametre	Değer
I- Besleme Sarsağı	Sarsak elektriksel güç tüketimi (kW)	0.2
	Konveyörlerin toplam elektriksel güç tüketimi (kW)	0.74
	Elevatörlerin toplam elektriksel güç tüketimi (kW)	0.74
	Çalışan personel sayısı	5
II- Kabuk Soyma	Kabuk soyma makinesinin elektriksel güç tüketimi (kW)	2.86
	Konveyörlerin toplam elektriksel güç tüketimi (kW)	0.55
	Elevatörlerin toplam elektriksel güç tüketimi (kW)	0.74
	Çalışan personel sayısı	10
III-Mısır Taneleme	Mısır taneleme makinelerinin toplam elektriksel güç tüketimi (kW)	8.16
	Konveyörlerin toplam elektriksel güç tüketimi (kW)	0.38
	Elevatörlerin toplam elektriksel güç tüketimi (kW)	0.21
	Çalışan personel sayısı	9
IV-Mısır Tamburu	Mısır tamburunun elektriksel güç tüketimi (kW)	0.51
	Elevatörlerin toplam elektriksel güç tüketimi (kW)	0.19
	Çalışan personel sayısı	1
V-Blanşör	Blanşörün elektriksel güç tüketimi (kW)	4.0
	Buhar üretimi için tüketilen doğalgaz * miktarı (m ³ /h)	36.56
	Çalışan personel sayısı	1
VI-Su Alma Sarsağı	Sarsağın elektriksel güç tüketimi (kW)	0.20
	Elevatörlerin toplam elektriksel güç tüketimi (kW)	0.20
VII-Soğutma Tamburu	Soğutma tamburunun elektriksel güç tüketimi (kW)	0.44
	Elevatörlerin elektriksel güç tüketimi (kW)	0.20
	Çalışan personel sayısı	1
	Suyun giriş/çıkış debisi (kg/h)	1200
VIII-BHD	BHD'nin elektriksel güç tüketimi (kW)	45.28
	Elevatörlerin elektriksel güç tüketimi (kW)	0.77
IX-Paketleme	Konveyörlerin elektriksel güç tüketimi (kW)	0.74
	Çalışan personel sayısı	4

* Doğalgazın ısıl değeri 8250 kcal/m³ olarak alınmıştır.

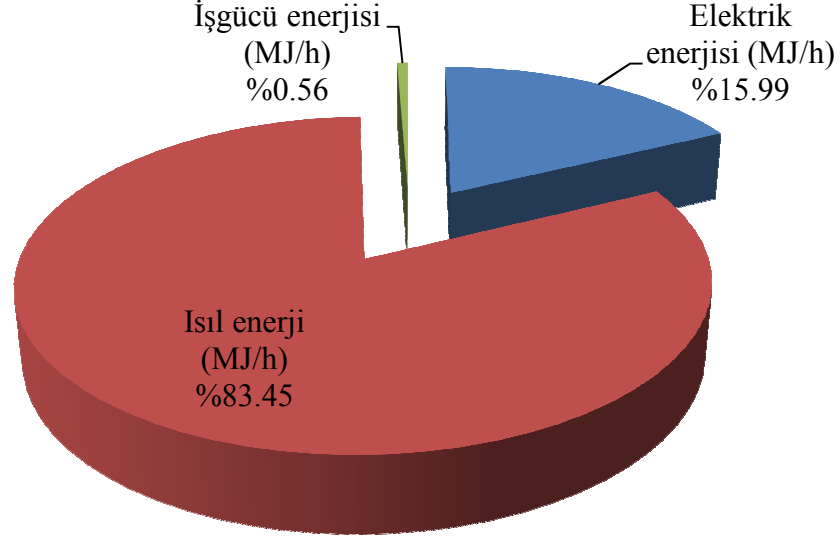
Çizelge 4.2. Elektrik, ısı ve işgücü enerji girdileri

İşlem	Elektrik enerjisi, E_p/t (MJ/h)	Toplam enerjideki payı (%)	Isıl enerji, E_f/t (MJ/h)	Toplam enerjideki payı (%)	İşgücü enerjisi, E_m/t (MJ/h)	Toplam enerjideki payı (%)	Toplam enerji (MJ/h)	Toplam (%)
I-Besleme sarsağı	6.05*	0.40	-	-	1.35***	0.09	7.40	0.49
II- Kabuk soyma	14.94	0.99	-	-	2.70	0.18	17.64	1.17
III- Mısır taneleme	31.50	2.09	-	-	2.43	0.16	33.93	2.25
IV- Mısır tamburu	2.52	0.17	-	-	0.27	0.02	2.79	0.18
V- Blanşör	14.4	0.95	1260.75**	83.45	0.27	0.02	1275.42	84.42
VI- Su alma sarsağı	1.44	0.10	-	-	-	-	1.44	0.10
VII- Soğutma tamburu	2.30	0.15	-	-	0.27	0.02	2.57	0.17
VIII- BHD	165.78	10.97	-	-	-	-	165.78	10.97
IX Paketleme	2.66	0.18	-	-	1.08	0.07	3.74	0.25
Toplam	241.59	15.99	1260.75	83.45	8.37	0.56	1510.71	100.00

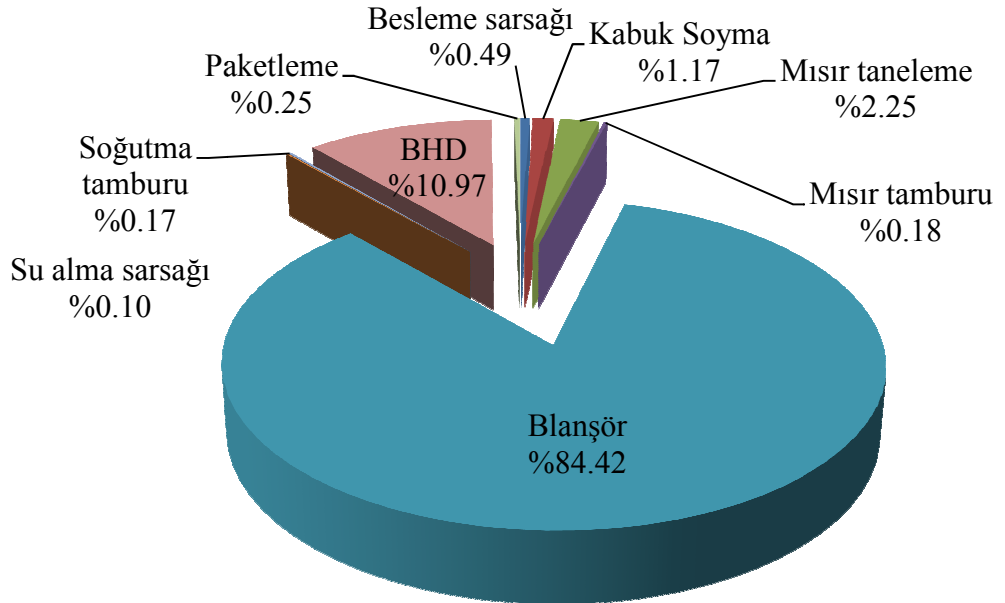
* $1.68 \text{ (kW)} \times 3.6 = 6.05 \text{ (MJ/h)}$ ** $36.56 \text{ (m}^3\text{/h)} \times 8250 \text{ (kcal/m}^3\text{)} \times 4.18 / 1000 \text{ (MJ/kcal)} \cong 1260.75 \text{ (MJ/h)}$ *** $5 \times 0.075 \text{ (kW)} \times 3.6 = 1.35 \text{ (MJ/h)}$

Üretimde kullanılan en yüksek enerji girdisi ısıl enerji (%83.45)'dir. Elektrik enerjisinin toplam enerji tüketimindeki payı %15.99 iken işgücü enerjisinin payı %1'in altındadır (Şekil 4.1).

Toplam enerji tüketiminde ise en yüksek paya sahip makine blanşördür (%84.40) ve onu BHD (%10.97) takip etmektedir (Şekil 4.2).

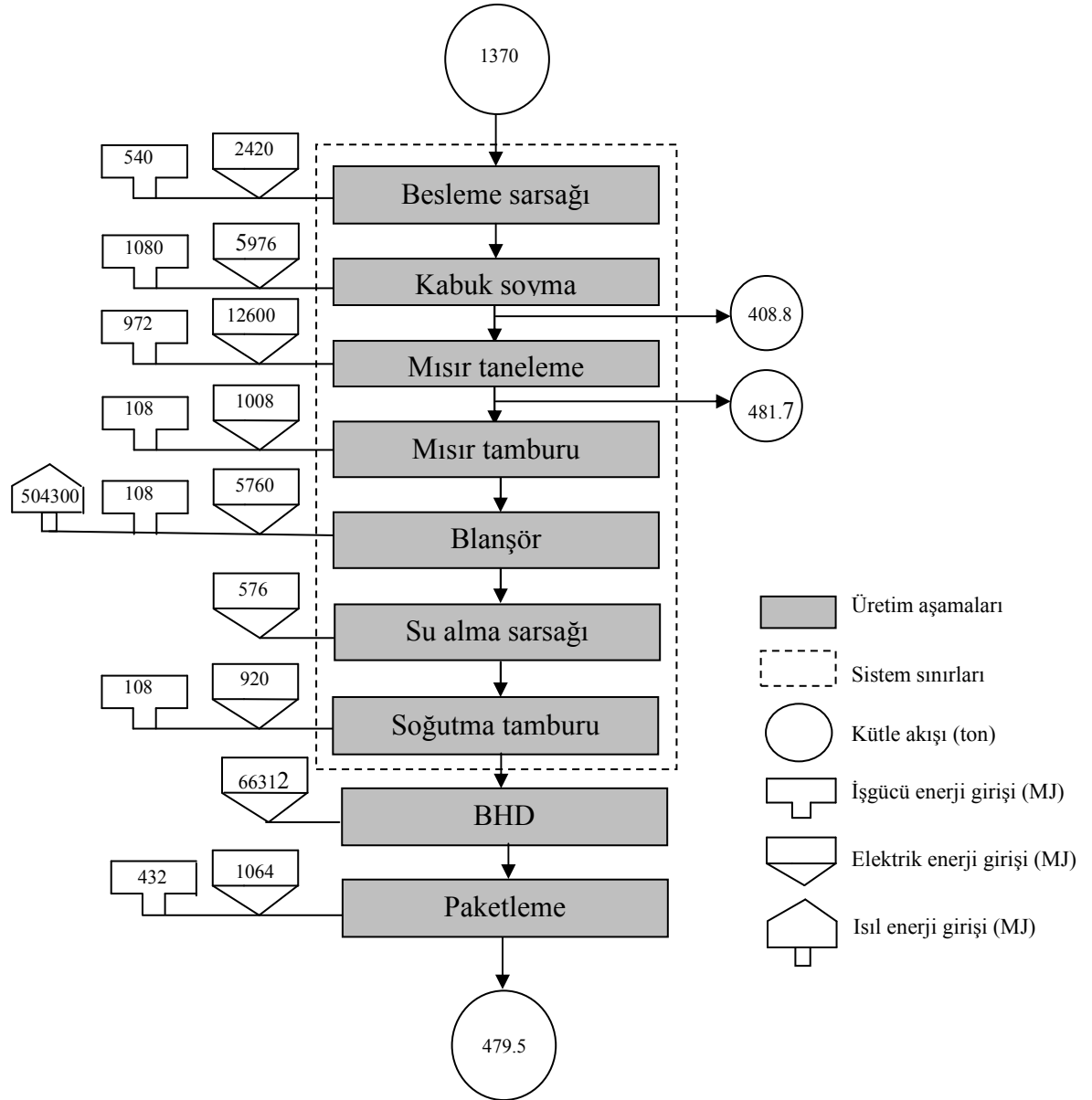


Şekil 4.1. Enerji girdilerinin dağılımı



Şekil 4.2. Makinelerin toplam enerji tüketimindeki payları

Eylül ayı için dondurulmuş mısır üretiminde toplam elektrik enerjisi tüketimi 96 636 MJ ve enerji yoğunluğu 0.20 MJ/kg, ısıl enerji tüketimi 504 300 MJ, işgücü tüketimi ise 3 348 MJ olarak hesaplanmıştır (Şekil 4.3). Tüm üretim aşamaları için harcanan zaman tek vardiya için 8 saattir. Toplam enerji girdisinde en fazla elektrik enerjisi tüketen ünite %68.62 pay ile BHD'dir. En fazla işgücü enerjisi %32.26 pay ile kabuk soyma işleminde kullanılmaktadır. Isıl enerjinin tamamı blanşör için gerekli buharın üretiminde harcanmaktadır.



Şekil 4.3. Her bir makinanın enerji girdi miktarları

Son üç yılın Ağustos, Eylül ve Ekim aylarında ortalama 2 160 ton dondurulmuş tane mısır üretimi gerçekleştirilmiştir. Üretim için harcanan elektrik enerjisi 435 315.45 MJ, ısıl enerji 2 271 716.37 MJ ve işgücü enerjisi 15 081.71 MJ'dür. Fabrikanın toplam

enerji tüketimi içerisinde dondurulmuş mısır üretimindeki elektrik tüketim oranı %3.81, ısıl enerji tüketim oranı %21.73'tür.

Üretim hattının madde, enerji ve ekserji bilançosu Çizelge 4.3'de görülmektedir. Burada toplam enerji tüketimi 'Yararlı İş' olarak ifade edilmektedir.

Çizelge 4.3. Fabrika üretim hattının madde, enerji ve ekserji bilançosu

Akım no	Madde	Kütleli debi \dot{m} , kg/h	Sıc. T, K	Özgül ısı* c_p , kJ/kg.K	Özgül entalpi h, kJ/kg	Özgül entropi s, kJ/kg.K	Birim kütle için enerji e, kJ/kg	Birim kütle için ekserji ex, kJ/kg	Enerji içeriği E, MJ/h	Ekserji içeriği Ex, MJ/h
1	Mısır	3425	308	3.62	-	-	1114.96	0.59	3818.74	2.03
2	Yararlı İş	-	-	-	-	-	-	-	7.40	7.40
3	Su	1440	293	-	83.96	0.2966	83.96	0.17	120.90	0.24
4	Mısır	3425	306	3.62	-	-	1107.72	0.38	3793.94	1.31
5	Su (Atık)	1440	295	-	92.32	0.32492	92.32	0.09	132.94	0.13
6	Yararlı İş	-	-	-	-	-	-	-	17.64	17.64
7	Su	1800	293	-	83.96	0.2966	83.96	0.17	151.13	0.30
8	Mısır	2403	303	3.62	-	-	1096.86	0.15	2635.75	0.36
9	Yaprak (Atık)	1022	303	1.10	-	-	333.30	0.05	340.63	0.05
10	Su (Atık)	1800	296	-	96.56	0.3391	96.56	0.10	173.81	0.19
11	Yararlı İş	-	-	-	-	-	-	-	33.93	33.93
12	Su	1800	293	-	83.96	0.2966	83.96	0.17	151.13	0.30
13	Mısır	1198	301.5	3.62	-	-	1091.43	0.07	1307.53	0.09
14	Koçan (Atık)	1204	301.5	1.05	-	-	316.58	0.02	381.16	0.03
15	Su (Atık)	1800	296	-	96.56	0.3391	96.56	0.10	173.81	0.19
16	Yararlı İş	-	-	-	-	-	-	-	2.79	2.79
17	Su	225	293	-	83.96	0.2966	83.96	0.17	18.89	0.04
18	Mısır	1198	299.4	3.62	-	-	1083.83	0.01	1298.43	0.01
19	Su (Atık)	225	295	-	92.36	0.3249	92.36	0.13	20.78	0.03
20	Yararlı İş	-	-	-	-	-	-	-	1275.42	1275.42
21	Su	1800	293	-	83.96	0.2966	83.96	0.17	151.13	0.30
22	Buhar (P=3 bar)	1200	406.5	-	2725.3	6.9919	2725.30	646.31	3270.36	775.57
23	Mısır	1198	353	3.62	-	-	1277.86	16.39	1530.88	19.63
24	Su (Atık)	1950	383	-	461.3	1.4185	461.30	43.18	899.54	84.21
25	Buhar (Atık) (P=P ₀)	1050	406.5	-	3278.2	8.5435	3278.20	736.83	3442.11	773.67
26	Yararlı İş	-	-	-	-	-	-	-	1.44	1.44
27	Su	1200	293	-	83.96	0.2966	83.96	0.17	100.75	0.20
28	Mısır	1198	336.3	3.62	-	-	1217.41	8.21	1458.45	9.84
29	Su (Atık)	1200	305.4	-	136.23	0.4711	136.23	0.44	163.48	0.52
30	Yararlı İş	-	-	-	-	-	-	-	2.57	2.57
31	Su	1200	293	-	83.96	0.2966	83.96	0.17	100.75	0.20
32	Mısır	1198	309	3.62	-	-	1118.58	0.72	1340.06	0.86
33	Su (Atık)	1200	301	-	117.43	0.4091	117.43	0.11	140.92	0.14
34	Yararlı İş	-	-	-	-	-	-	-	165.78	165.78
35	Mısır	1198	255	1.98	-	-	504.90	6.81	604.87	8.15

* (Anonim 2008, Zhang vd 2012)

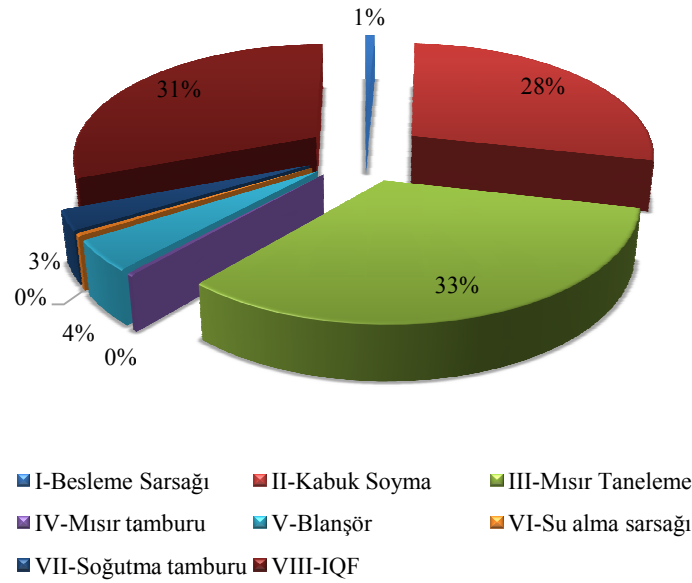
Tüm sistem için enerji ve ekserji analizlerinin uygulanması sonucunda elde edilen ve dondurulmuş mısır üretim prosesinin her aşamasında meydana gelen ısı kaybı, ekserji yokoluşu, enerji ve ekserji verimleri Çizelge 4.4'te verilmiştir. Paketleme işlemi işgücü ağırlıklı bir işlemdir ve makine kullanımının olmaması nedeniyle bundan sonraki değerlendirmelerde dikkate alınmamıştır.

Çizelge 4.4. Dondurulmuş mısır üretim alanında enerji ve ekserji dengesi

Üretim Aşamaları	Giren Enerji, \dot{E}_g (MJ/h)	Çıkan Enerji, $\dot{E}_ç$ (MJ/h)	Enerji Kaybı, \dot{Q} (MJ/h)	Giren Ekserji, $\dot{E}\dot{x}_g$ (MJ/h)	Çıkan Ekserji, $\dot{E}\dot{x}_ç$ (MJ/h)	Ekserji Yokoluşu, $\dot{E}\dot{x}_D$ (MJ/h)	Enerji Verimi, η_I (%)	Ekserji Verimi, η_{II} (%)
I- Besleme Sarsağı	3947.04	3926.88	20.16	9.68	1.44	8.24	99.49	14.84
II- Kabuk Soyma	3962.71	3150.20	812.51	19.25	0.59	18.66	79.50	3.08
III- Mısır Taneleme	2820.81	1862.50	958.32	34.59	0.30	34.29	66.03	0.87
IV- Mısır Tamburu	1329.21	1319.21	10.01	2.92	0.04	2.87	99.25	1.53
V- Blanşör*	5995.33	5872.52	122.81	2051.31	902.20	1149.10	97.95	43.98
VI- Su alma Sarsağı	1633.07	1621.93	11.14	21.27	10.36	10.91	99.32	48.72
VII- Soğutma Tamburu	1561.77	1480.97	80.80	12.61	1.00	11.62	94.83	7.89
VIII- BHD	1505.84	604.87	900.97	166.64	8.15	158.49	40.17	4.89
Toplam	22755.79	19839.08	2916.72	2318.27	924.09	1394.18		

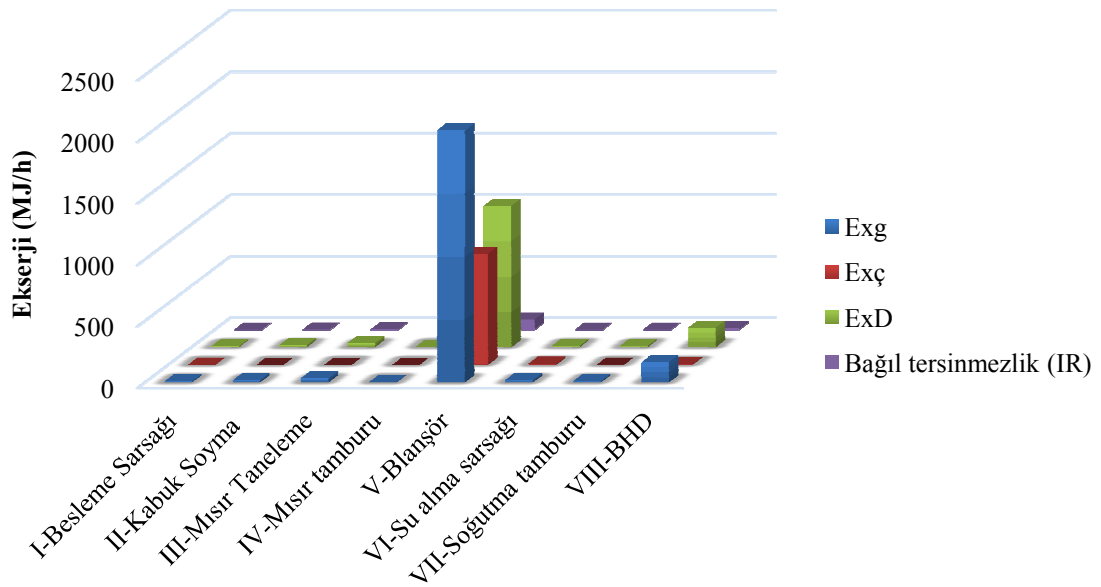
* Blanşördeki ekserji kaybı $\frac{\dot{E}\dot{x}_D}{\dot{E}\dot{x}_g} = 24.69$ MJ/h olarak hesaplanmıştır.

Enerji kayıplarına baktığımızda en yüksek enerji kaybının mısır taneleme makinesinde olduğu görülmektedir (Şekil 4.4). BHD'de meydana gelen enerji kaybının sebebinin ise üründeki sıcaklık düşüşüyle birlikte enerjisinde meydana gelen azalmadır.



Şekil 4.4. Makinelerde meydana gelen enerji kaybı dağılımları

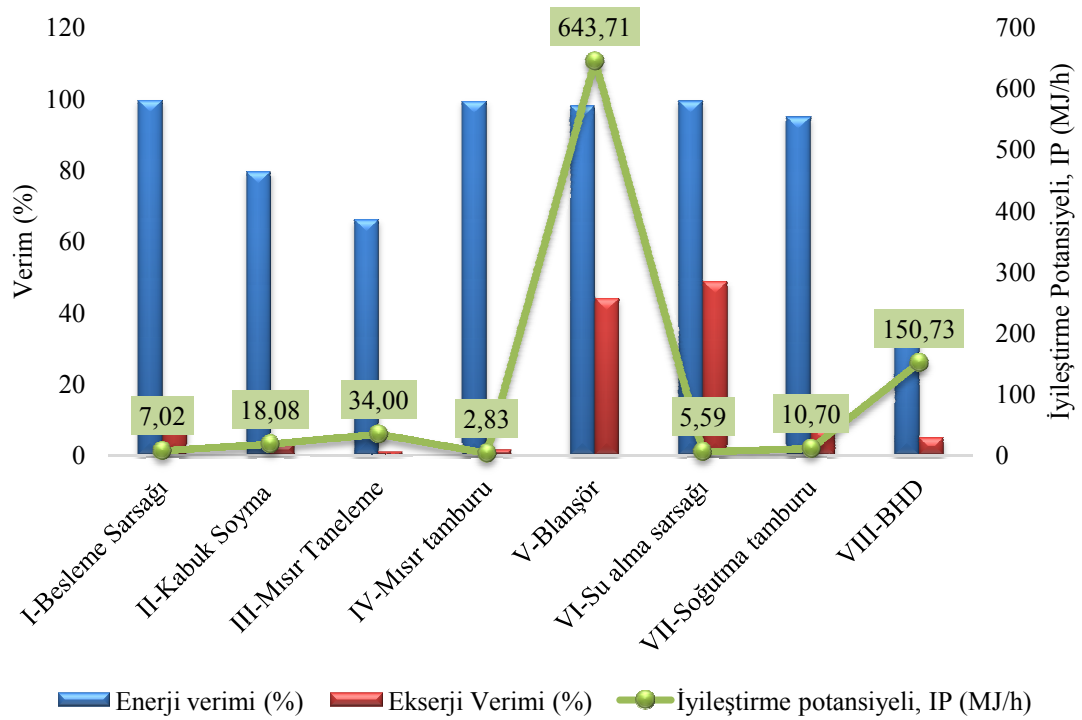
Bağıl tersinmezliğin en yüksek olduğu makinelerin ise blanşör (% 82) ve BHD (%11) olduğu açık olarak görülmektedir (Şekil 4.5). Mısır taneleme (%3) ile blanşör ve BHD'yi takip etmekte olup, diğer makinelerin tersinmezlik oranları %1 civarında yer almaktadır. En düşük ekserji kaybı mısır tamburunda meydana gelmektedir.



Şekil 4.5. Makinelerdeki giren, çıkan ve yokolan ekserji değerleri ile bağıl tersinmezlikleri

Enerji verimleri incelendiğinde en düşük verimin BHD'de (%40.17) olduğu, mısır taneleme makinesinin (%66.03) ve kabuk soyma makinesinin (%66.03) ile BHD'yi takip ettiği görülmektedir. Diğer makinelerin verimleri %90'ın üzerindedir.

Ekserji veriminin en düşük olduğu makineler ise sırasıyla mısır taneleme makinesi (%0.87), mısır tamburu (%1.53), kabuk soyma makinesi (% 3.08), BHD (% 4.89), soğutma tamburu (% 7.89), besleme sarsağı (%14.84) şeklinde olup, blanşör (% 43.98) ve su alma sarsağı (% 48.72) en yüksek ekserji verimine sahip makineler olarak görülmektedir (Şekil 4.6). İyileştirme yapılacak makineler için en düşük verime göre öncelik sıralaması verilmek istenirse, enerji ve ekserji analizlerine göre farklı makineler tespit edilmektedir. Bu gibi durumlarda, makinelerdeki iyileştirme potansiyellerine göre karar vermek doğru olacaktır. Makinelerin iyileştirme potansiyelleri incelendiğinde, en yüksek iyileştirme potansiyelleri 643.71 MJ/h ile blanşöre, 150.73 MJ/h ile BHD'ye aittir.

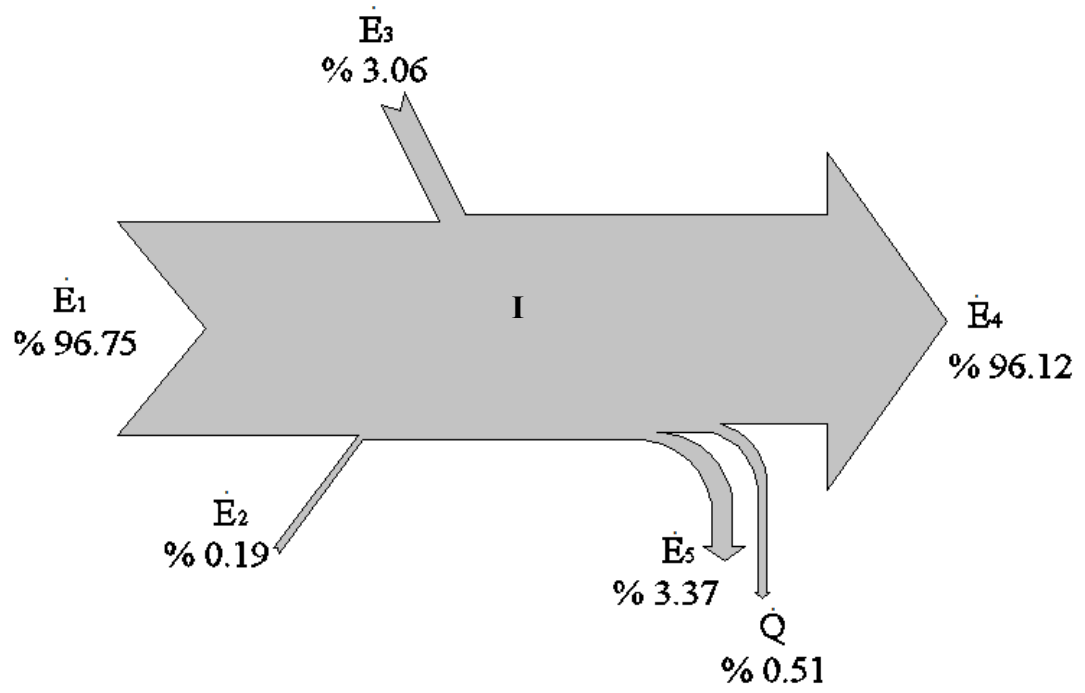


Şekil 4.6. Makinelerin enerji, ekserji verimleri ile iyileştirme potansiyeli değerleri

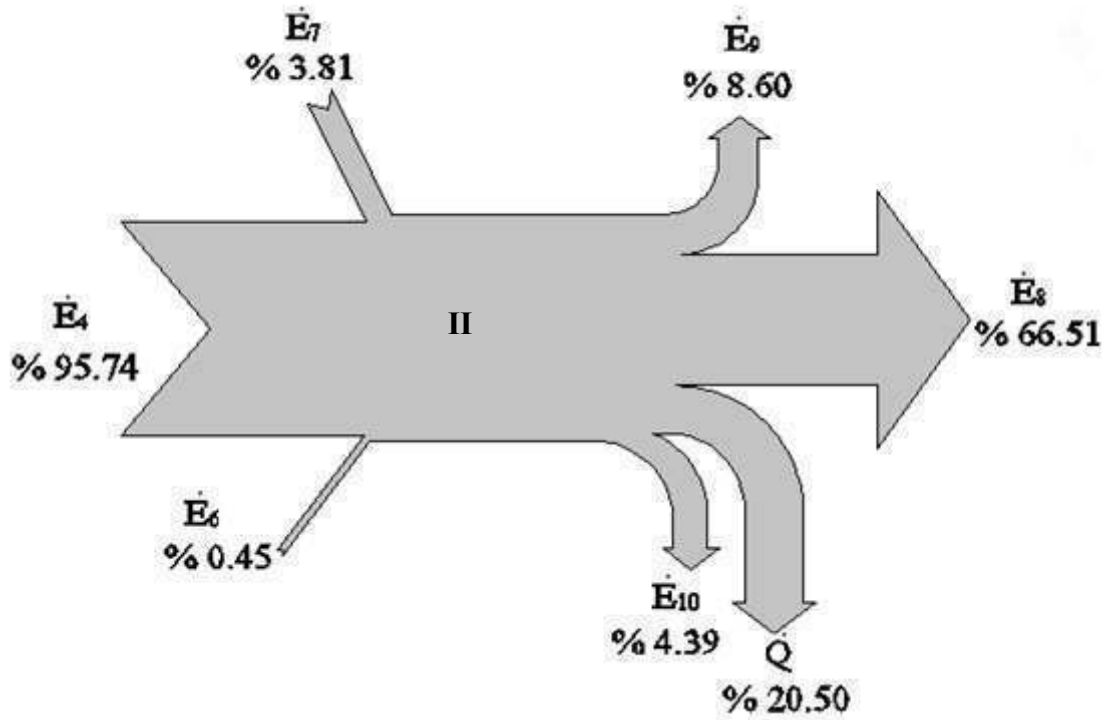
4.1.2. Sankey ve Grassmann diyagramları

Enerji analiz çalışmaları sonucunda, enerji giriş ve çıkışı ile enerji miktarlarını şematik olarak gösteren Sankey diyagramlarının çizilmesi, sistemdeki enerji akışlarının anlaşılmasında yardımcı bir araçtır. Sankey diyagramına benzer olarak Grassmann diyagramı ise, termodinamiğin ikinci yasasına dayalı ekserji analizi sonuçlarını görselleştirmeye yardımcı olur. Grassmann diyagramında sadece kayıplar gösterilmez, aynı zamanda ekserji akımlarının ayrılması ve ekserjinin tekrar dolaşımı da görülebilir.

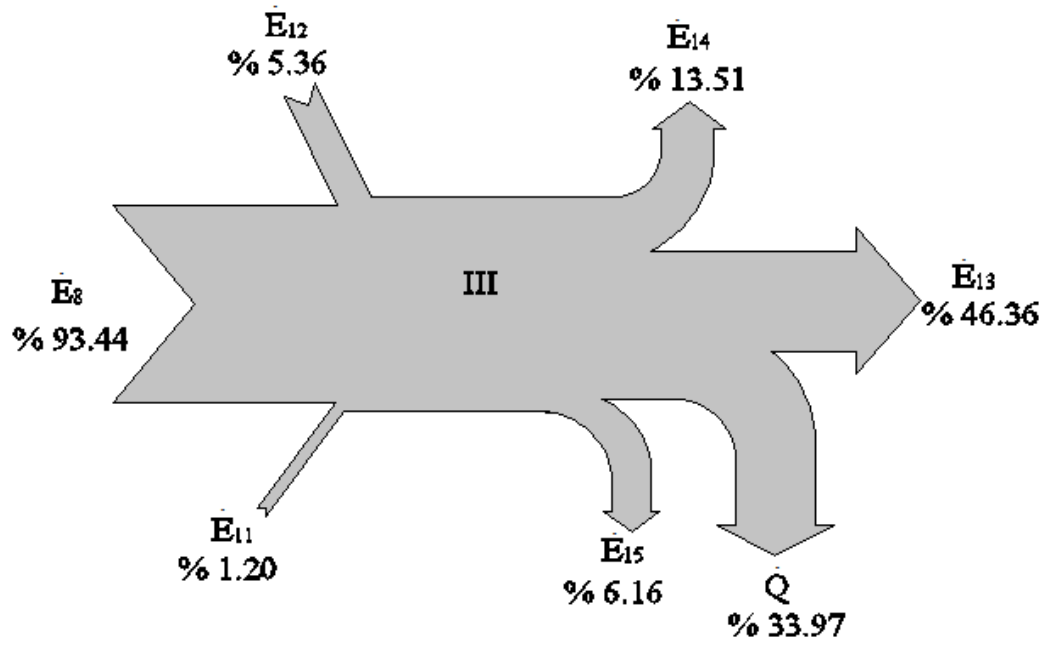
Bu tez kapsamındaki proseslerdeki enerji ve madde akışını gösteren Sankey diyagramları Şekil 4.7-4.14'de, ekserji akış ve kayıpları gösteren Grassmann diyagramları ise Şekil 4.15-4.22'de her makine için ayrı ayrı verilmiştir. Grassmann diyagramının tüm sistem için gösterilmiş hali ise Ek 8'de gösterilmiştir.



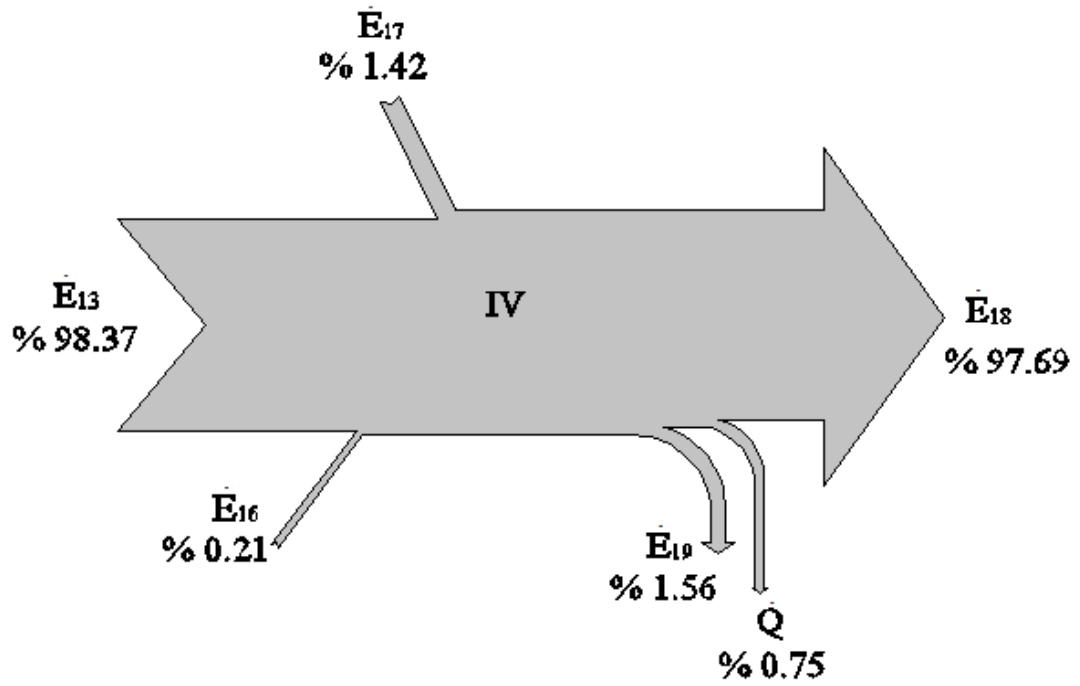
Şekil 4.7. Besleme sarsağının Sankey diyagramı



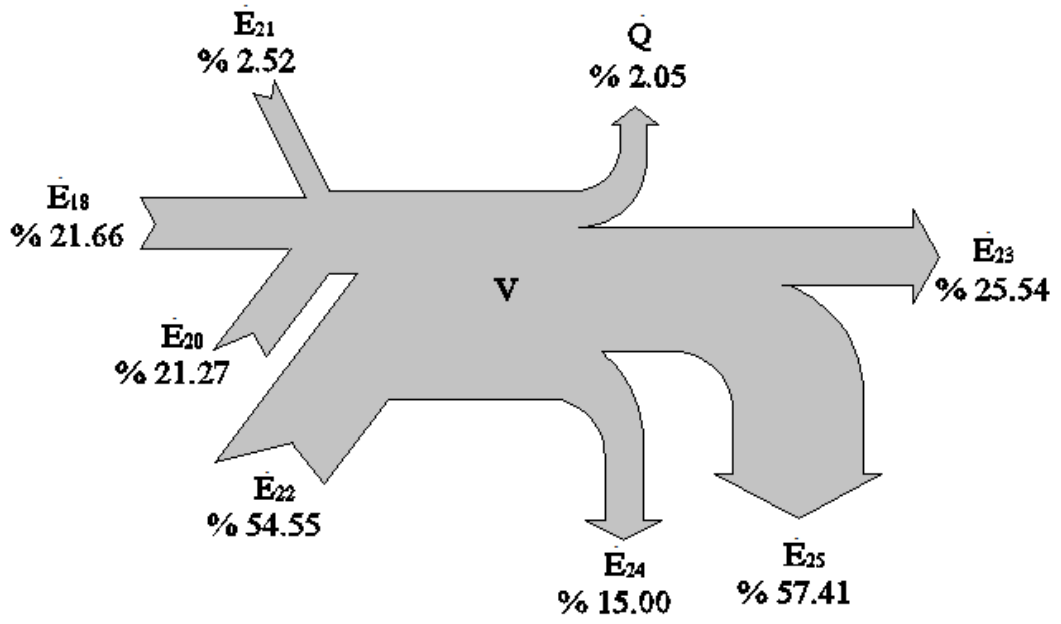
Şekil 4.8. Kabuk soyma makinesinin Sankey diyagramı



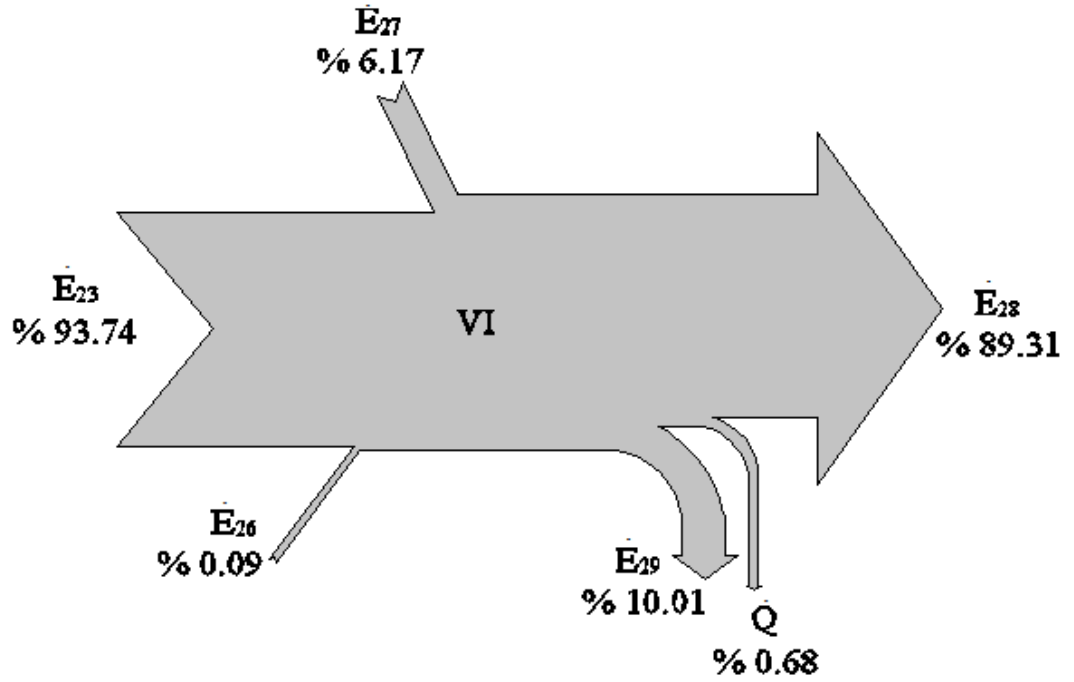
Şekil 4.9. Mısır taneleme makinesinin Sankey diyagramı



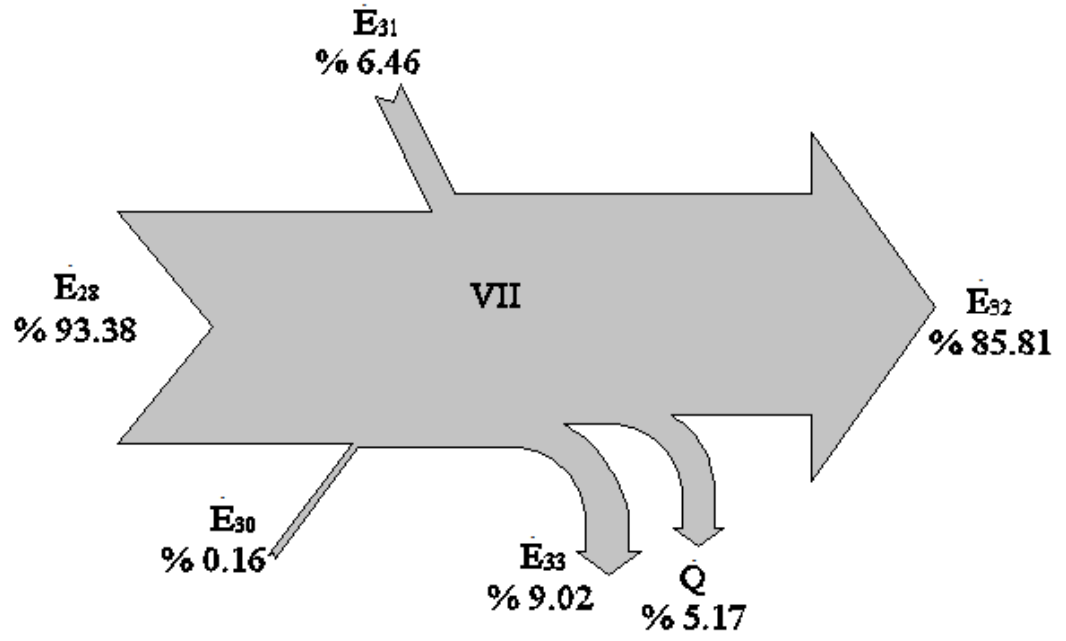
Şekil 4.10. Mısır tamburunun Sankey diyagramı



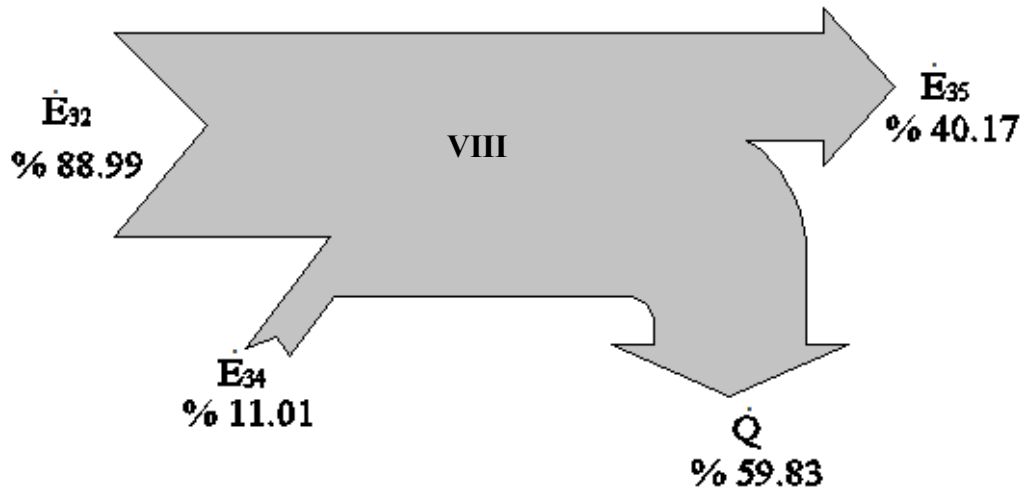
Şekil 4.11. Blanşörün Sankey diyagramı



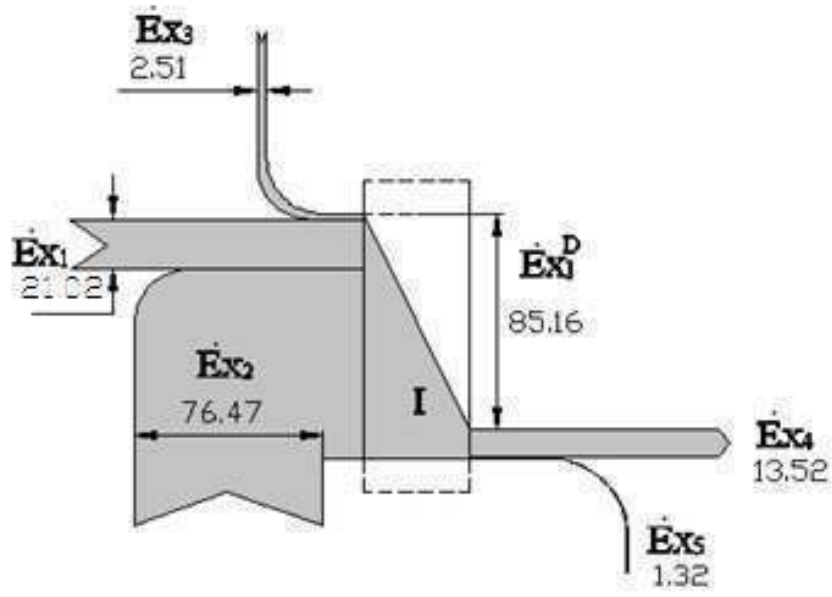
Şekil 4.12. Su alma sarsağının Sankey diyagramı



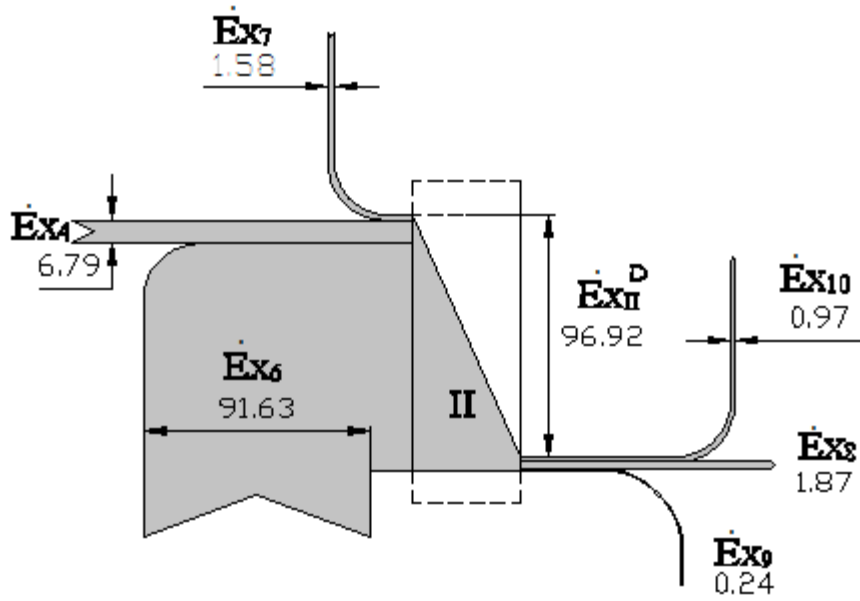
Şekil 4.13. Soğutma tamburunun Sankey diyagramı



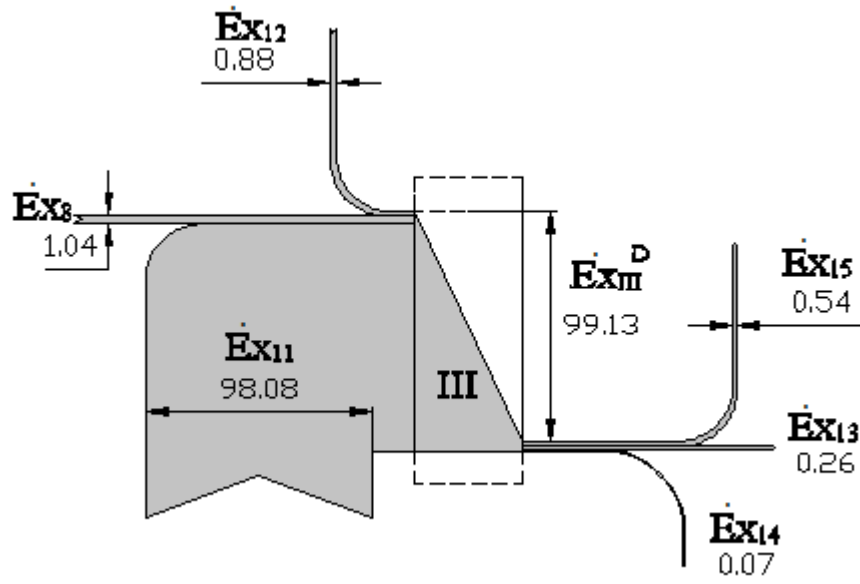
Şekil 4.14. BHD'nin Sankey diyagramı



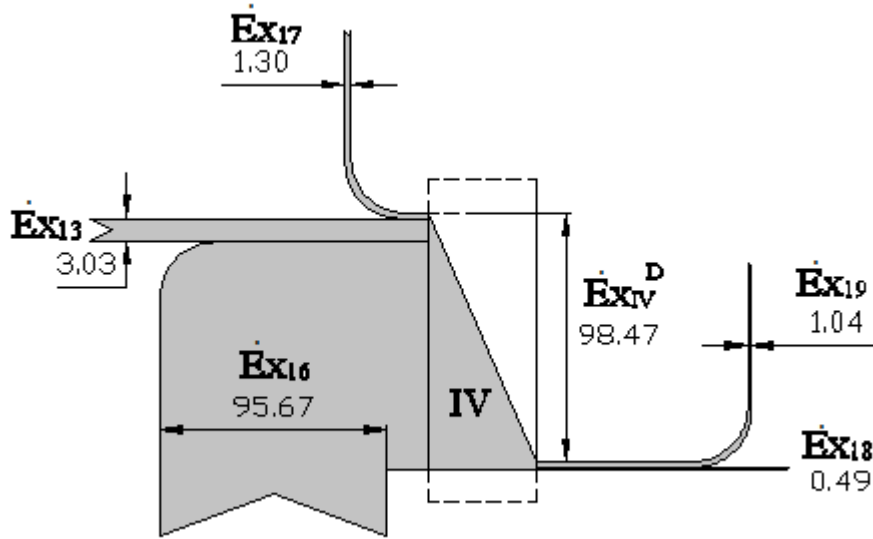
Şekil 4.15. Besleme sarsağıının Grassmann diyagramı (%)



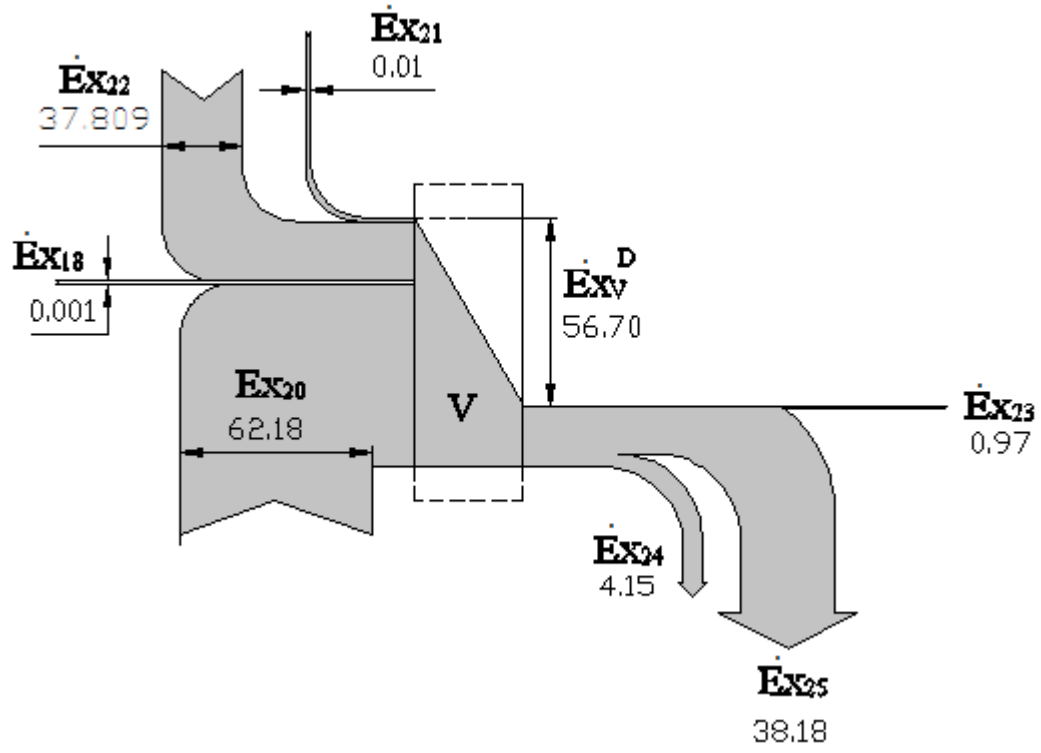
Şekil 4.16. Kabuk soyma makinesinin Grassmann diyagramı (%)



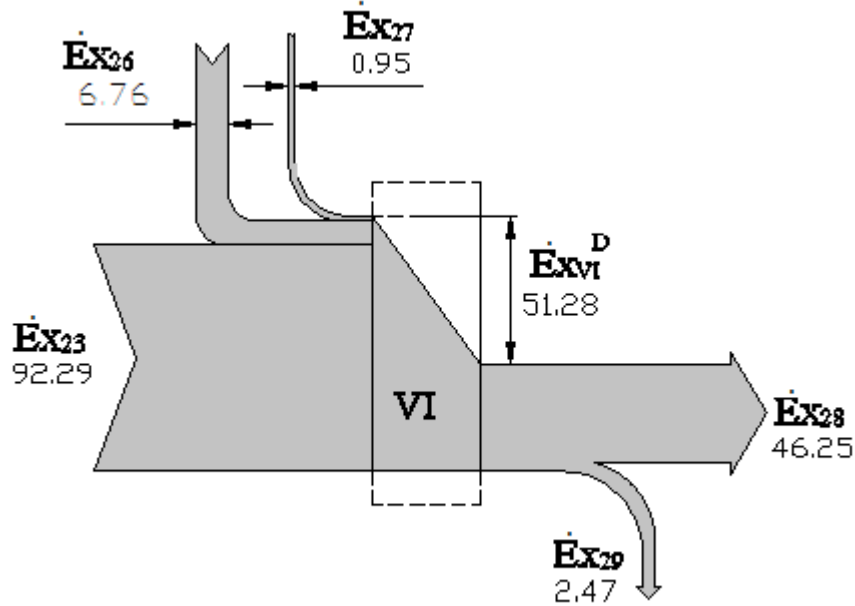
Şekil 4.17. Mısır taneleme makinesinin Grassmann diyagramı (%)



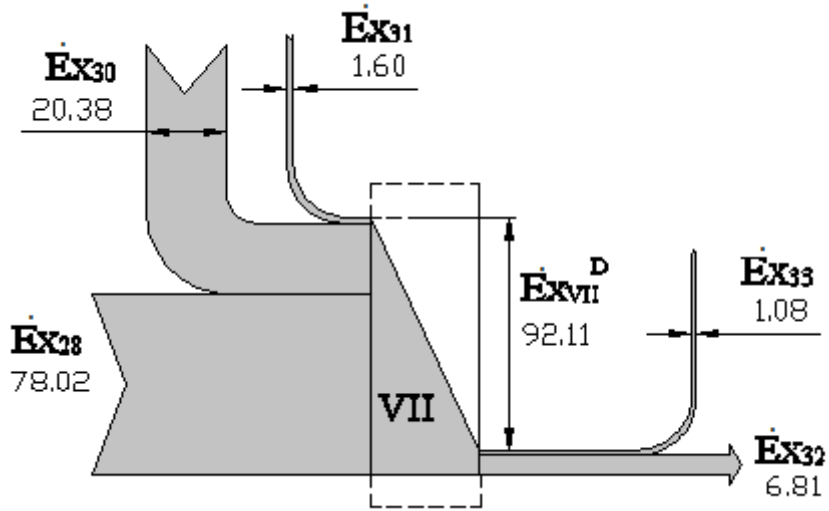
Şekil 4.18. Mısır tamburunun Grassmann diyagramı (%)



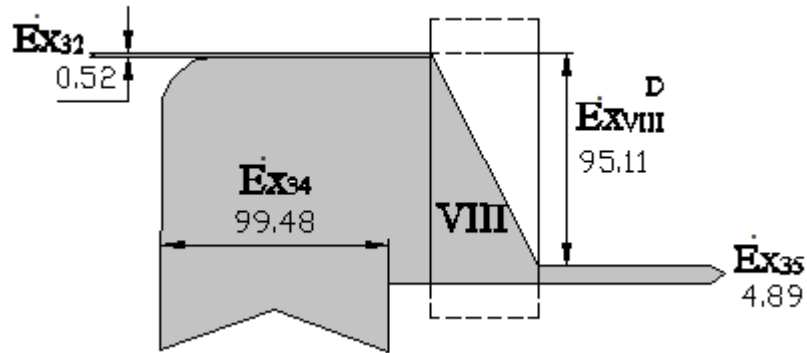
Şekil 4.19. Blanşörün Grassmann diyagramı (%)



Şekil 4.20. Su alma sarsağının Grassmann diyagramı (%)



Şekil 4.21. Soğutma tamburunun Grassmann diyagramı (%)



Şekil 4.22. BHD'nin Grassmann diyagramı (%)

4.1.3. Eksergoekonomik analiz sonuçları

Bu bölümde eksergoekonomik analiz yöntemi, dondurulmuş mısır üretim süreci üzerinde uygulanmış ve nihai ürün olan dondurulmuş mısırın birim ekserji başına maliyeti hesaplanmıştır. Hesaplanan birim ekserji maliyeti, işletme tarafından belirlenen birim ürün maliyeti ile karşılaştırılmıştır.

Sistemin ekserji maliyeti hesabı ve eksergoekonomik analizinde yapılan kabuller fabrikanın yetkili kişilerinden alınan bilgiler doğrultusunda yapılmış ve aşağıdaki gibi belirtilmiştir;

- Sistemdeki makinelerin 2013 yılında ortalama çalışma süreleri besleme sarsağı, kabuk soyma makinesi, mısır taneleme makinesi ve mısır tamburu için 328 h olarak gerçekleşmiştir. Diğer makineler dondurulmuş mısır üretimi dışında, başka üretimlerde de kullanılmakta olup blanşör, su alma sarsağı ve soğutma tamburunun yıllık çalışma süresi 1760 h, BHD'nin ise 2296 h'dir (Çizelge 4.5). Yıllık faiz oranı ortalaması %11 ($i=0.11$) (Anonim 2014f), sistemin işletme ömrü $n=20$ yıldır. Dondurulmuş mısır üretiminin maliyet analizi firmadan alınan bilgiler doğrultusunda Çizelge 4.6'da ve sistemin ilk yatırım maliyeti ve işletme maliyetleri ise Çizelge 4.7'de verilmiştir.

Çizelge 4.5. Makinelerin yatırım maliyetleri ve yıllık çalışma süreleri

Makineler	Yatırım maliyeti, PEC (TL [*])	Makinenin yıllık çalışma süresi, t_{op} (h)
I. Besleme sarsağı	14 500	328 h (41 vardiya)
II. Kabuk soyma makinesi	47 850	328 h (41 vardiya)
III. Mısır taneleme makinesi	37 700	328 h (41 vardiya)
IV. Mısır tamburu	14 500	328 h (41 vardiya)
V. Blanşör	75 400	1760 h (220 vardiya)
VI. Su alma sarsağı	14 500	1760 h (220 vardiya)
VII. Soğutma tamburu	22 765	1760 h (220 vardiya)
VIII. BHD	507 500	2296h (287 vardiya)

* Fiyat tekliflerinin alındığı 2014 yılı itibarıyla euro için döviz kuru 2.9 alınmıştır.

Çizelge 4.6. Dondurulmuş mısır üretimi için maliyet analizi

	Hammadde maliyeti (TL/kg)	%
Tatlı Mısır (Yurtiçi nakliye bedeli dahil)	1.360	59.39
	Operasyon maliyeti (TL/kg)	
Enerji maliyeti (Elektrik)	0.075	3.28
Enerji maliyeti (Doğalgaz)	0.012	0.52
İşçilik maliyeti	0.125	5.46
Amortisman	0.070	3.06
Depolama maliyeti	0.090	3.93
Paketleme maliyeti (Koli ve poşet için)	0.094	4.10
Genel giderler	0.210	9.17
Toplam operasyon maliyeti	0.676	
	Üretim maliyeti	

Finansman giderleri	0.254	11.09
Toplam üretim maliyeti	2.290	

Çizelge 4.7. Makinelerin ilk yatırım ve işletme maliyetleri

Makineler	Maliyetler (TL/h)		
	İndirgenmiş ilk yatırım maliyet oranı, \dot{Z}_k^{CI}	İndirgenmiş işletme ve bakım onarım maliyet oranı, \dot{Z}_k^{OM}	İndirgenmiş toplam maliyet oranı, \dot{Z}_k^T
IX. Besleme sarsağı	5.55	4.72	10.27
X. Kabuk soyma makinesi	18.32	15.57	33.89
XI. Mısır taneleme makinesi (4 adet)	57.73	49.07	106.81
XII. Mısır tamburu	5.55	4.72	10.27
XIII. Blanşör	5.38	4.57	9.95
XIV. Su alma sarsağı	1.03	0.88	1.91
XV. Soğutma tamburu	1.62	1.38	3.00
XVI. BHD	27.76	23.59	51.35

ASAT (Antalya Su ve Atıksu İdaresi) Genel Müdürlüğü'nün 2013 yılı birim su fiyatlarına göre işyeri kullanımları için birim su fiyatı 3.84 TL/m³ (KDV dahil) olarak belirlenmiştir. Çalışmanın yapıldığı fabrikada drenaj suyu kullanılmaktadır, ancak her bir makineye giren ve çıkan suyun birim maliyetinin ASAT'ın belirlediği fiyat alınarak ekserji maliyetleri hesaplanmış ve Çizelge 4.8'de tüketim debisi ile birlikte özetlenmiştir. Her bir makinenin çektiği elektrik enerjisi miktarı ve ekserji maliyeti Çizelge 4.9'da görülmektedir. Burada ortalama elektrik enerji maliyeti 0.23 TL/kWh alınmıştır.

Çizelge 4.8. Prosesin belirtilen akım noktalarındaki su akışı için ekserji maliyetleri

Akım numarası	\dot{m} (kg/h)	\dot{m} (m ³ /h)	\dot{C} (TL/h)
3	1440	1.50	5.76
5	1440	1.50	5.76
7	1800	1.88	7.2
10	1800	1.88	7.2
12	1800	1.88	7.2
15	1800	1.88	7.2
17	225	0.23	0.9
19	225	0.23	0.9
21	1800	1.88	7.2
24	1950	2.03	7.8
27	1200	1.25	4.8
29	1200	1.25	4.8
31	1200	1.25	4.8
33	1200	1.25	4.8

Çizelge 4.9. Prosesin akım noktalarında tüketilen toplam enerji girdisi (elektrik, iş gücü ve ısı enerjisi) için ekserji maliyetleri

Akım numarası	\dot{E}_x (kW)	\dot{C} (TL/h)
2	2.06	0.474
6	4.09	0.941
11	9.43	2.169
16	0.78	0.179
20	354.28	81.484
26	0.40	0.092
30	0.71	0.163
34	46.05	10.592

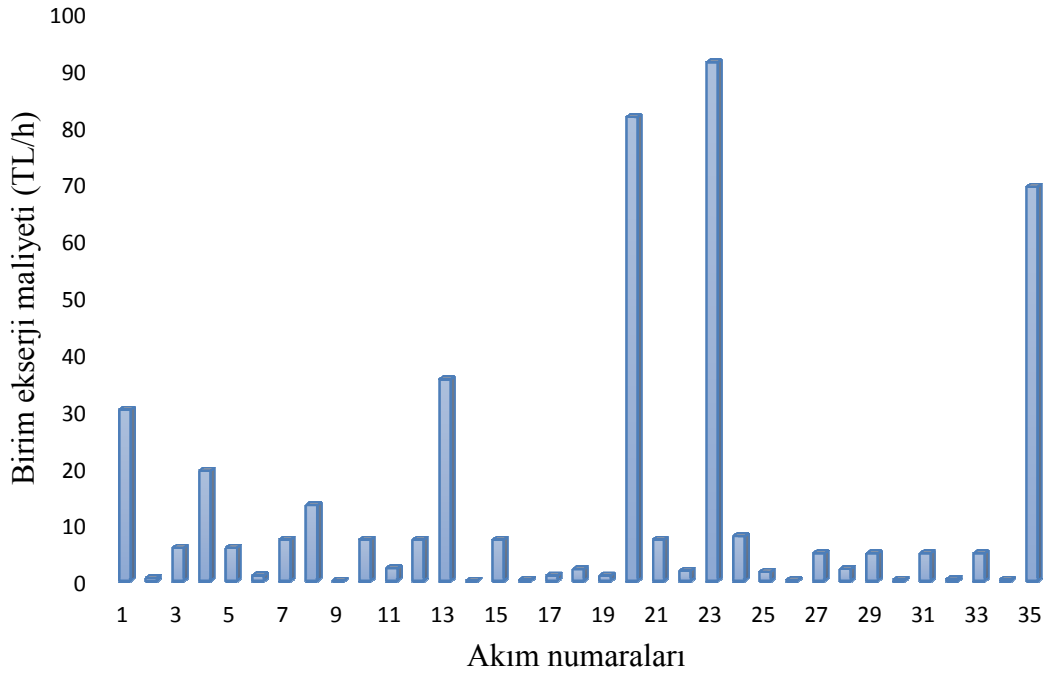
Sisteme buhar girişi sadece blanşörde haşlama işlemi amacıyla olmaktadır. Buharın birim ekserji maliyetinin hesaplanması, buhar üretimi için kazanda kullanılan doğalgazın birim ekserji maliyeti 1.40 TL/m³ alınarak yapılmıştır (Çizelge 4.10). Kabuk soyma makinesinde sistemi terkeden 9 akım numaralı yaprak ile mısır taneleme makinesinden çıkan 14 akım numaralı koçanın ekonomik bir değeri olmadığı için ekserji maliyetleri de sıfır olarak kabul edilmiş ve değerlendirmeye alınmamıştır. Mısırın her bir makineye giriş ve çıkış bölgelerindeki ekserji oranı, birim ekserji maliyeti ve ekserji maliyeti Çizelge 4.11’de özetlenmiştir. Akım numaraları Şekil 3.7’de görülmektedir. Tüm akımlar için ekserji maliyetleri grafik olarak Şekil 4.23’te gösterilmiştir.

Çizelge 4.10. Prosesin akım noktalarında tüketilen buhar enerji girdisi için ekserji maliyeti

Akım numarası	\dot{m} (kg/h)	\dot{m} (m ³ /h)	\dot{C} (TL/h)
22	1200	1.25	1.750
25	1050	1.09	1.526

Çizelge 4.11. Prosesin belirtilen akım noktalarındaki mısır akışı için ekserji maliyetleri

Akım numarası	\dot{E}_x (kJ/h)	\dot{c} (TL/kJ)	\dot{C} (TL/h)
1	2034.89	0.0139	28.2199
4	1308.02	0.0139	18.1397
8	360.85	0.0345	12.4357
13	88.44	0.0996	8.8129
18	14.22	0.1318	1.8748
23	19629.82	0.0046	90.4829
28	9839.16	0.0002	1.8916
32	859.37	0.0003	0.2846
35	8153.47	0.0080	65.5301



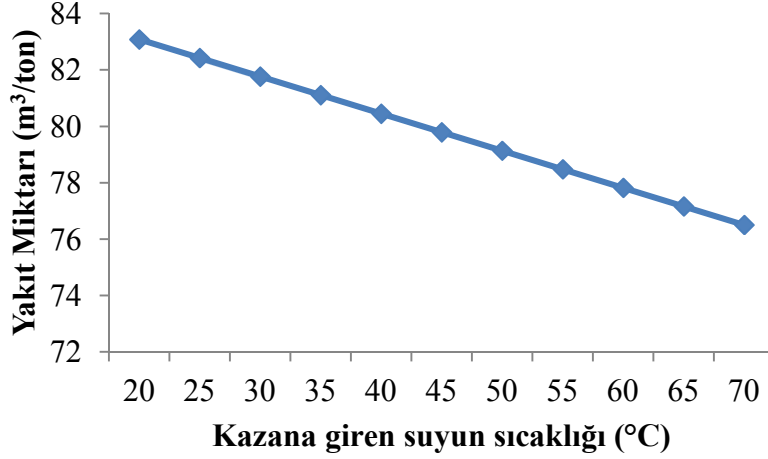
Şekil 4.23. Prosesin tüm akım noktalarındaki ekserji maliyetleri

Ekserji maliyetinde en yüksek değer 90.48 TL/h ile blanşör çıkışındaki haşlanmış tane mısırdır. Bunu blanşördeki toplam enerji girdisi (81.48 TL/h) ve BHD'den çıkan dondurulmuş mısır ürünü (65.53 TL/h) takip etmektedir. Blanşör ve BHD çıkışında ürünün sıcaklığının çevre sıcaklığından farkının yüksek olması nedeniyle ekserji maliyetinin bu noktalarda en yüksek değerleri almış olması beklenen bir sonuçtur. Blanşörün ekserji maliyetinin yüksek çıkmasının sebebi ise bu makinede kullanılan buharın üretiminde kullanılan yakıtın ısıl enerjisinin de hesaba katılmış olmasındandır.

4.1.4. Buhar kazanının termal kamera ile görüntülenmesi

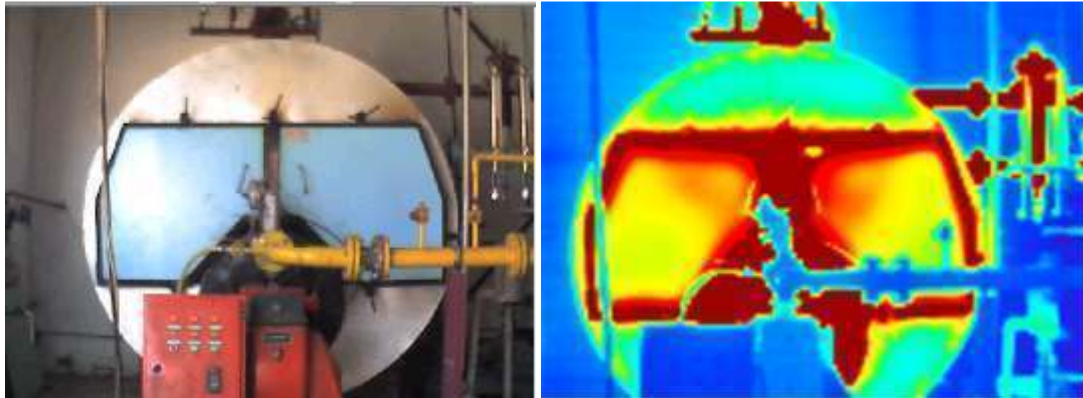
Fabrikada buhar tüketimi iki makinede gerçekleşmektedir; haşlama işleminde kullanılan blanşör ve reçel üretiminde kullanılan Bull adlı makinedir. Blanşör ve Bull'un buhar ihtiyacını karşılamak için 1 500 000 kcal/h (1744 kW) kapasiteli, yüzey alanı 80 m² ve maksimum işletme basıncı 5 bar olan Skoç tipi buhar kazanı kullanılmaktadır. Kullanılan buhar miktarının tespit edilebilmesi için işletme tarafından kazan dairesinde bulunan kondens tankının şebeke su giriş borusuna su sayacı yerleştirilmiştir. Fabrika verileri incelendiğinde 1 ton reçel üretimi için 0.5 ton su, 1 ton dondurulmuş ürün üretimi için yaklaşık 1 ton su tüketimi gerçekleştiği tespit edilmiştir. Son üç yılın (2010, 2011 ve 2012) üretim miktarları incelendiğinde, yılda ortalama 3175 ton dondurulmuş gıda, 725 ton reçel üretilmektedir. Bu demektir ki, dondurulmuş gıda üretimi için 3175 ton, reçel üretimi için 362.5 ton buhar harcanmıştır. Toplam 3537.5 ton buhar üretimi için kazana 20°C su girdiği kabulüyle 293 895.5 m³ yakıt tüketilmiştir. Bunun işletmeye maliyeti 2012 doğalgaz birim fiyatı olan 1.40 TL/m³ alınarak 411 453.7 TL/yıl'dır ve her yıl doğalgaz fiyatları belirli oranda artış göstermektedir.

Kazana 20°C şebeke suyu girmediği, kondens tankında ısınan suyun kazana alındığı düşünülürse, kazana giren suyun sıcaklığının artmasıyla yakıt miktarında ne kadar azalma gerçekleşeceği Şekil 4.24'te görülmektedir. Kazana alınan suyun 70°C olduğu düşünülürse, yakıt tüketimi ile birlikte maliyet de belirli bir miktar düşmektedir.



Şekil 4.24. Kazanda 1 ton suyu buharlaştırmak için gerekli yakıt miktarı

İşletmenin faturaları incelendiğinde 2012 yılında sadece doğalgaz tüketimine 607 900 TL/yıl harcanmış olduğu ve hesaplanan değerden yaklaşık 1.5 kat fazla olduğu görülmektedir. Aradaki fark, buharın yıl içinde kabul edilen değerlerden daha fazla kullanıldığını göstermekte olup, üretimde ciddi buhar sarfiyatının olduğu anlamına gelmektedir. Blanşör ve Bull'da meydana gelen buhar kaçaklarının azaltılması ve sistemde ısı geri kazanım yöntemlerinin kullanılması ile %60'a varan oranlarda verim artışı ve maliyet azalması gerçekleştirileceği öngörülmektedir. Mevcut blanşör yerine daha az buhar kaybının gerçekleştiği bantlı blanşör alınması durumunda bile yeni teknoloji kendisini 5 ayda amorti edebilecektir. Kazandaki ısı kayıpları tespit etmek amacıyla termal kamera ile görüntüleri çekilmiş olup Şekil 4.25-4.29'da görülmektedir.



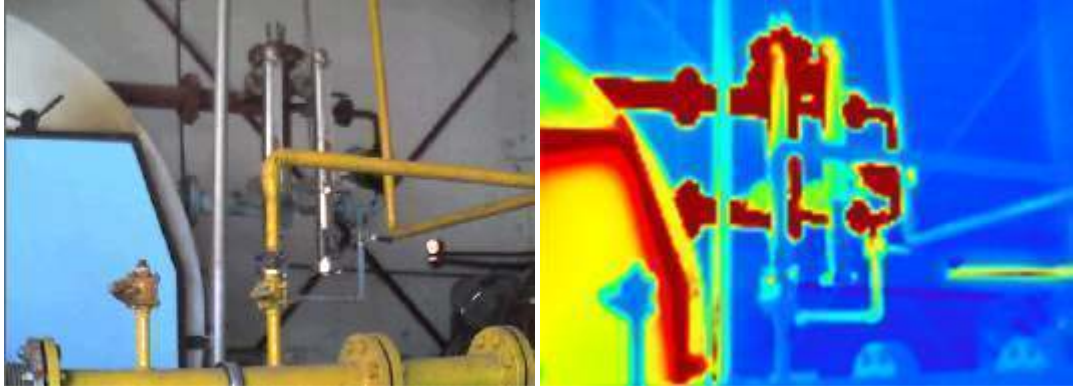
Şekil 4.25. Kazan ön görünüşü ve termal görüntüsü



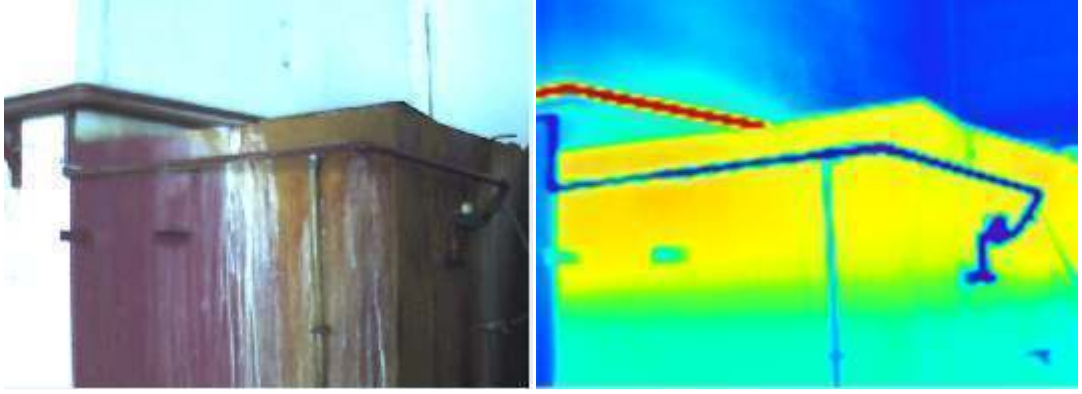
Şekil 4.26. Vanaların termal görüntüsü



Şekil 4.27. Kazanın üstünde bulunan sayaç bağlantılarındaki termal görüntü



Şekil 4.28. Flanşlardaki termal kayıpların görüntüsü



Şekil 4.29. Kondens tankının ve tanka su giriş / çıkış botularının termal görüntüsü

Termal görüntülerde görüldüğü gibi, kazanda ve kazan tesisatında kırmızı ile görülen boru destekleri, flanş ve vanalarda ısı kayıpları söz konusudur. Pratikte yalıtımsız bir flanştaki ısı kaybı; yalıtılmamış 3-4 m uzunluğundaki borudan olan kayıp ısıya eşit kabul edilir (Altınışık 2006). Bu değer vana çapına ve iç akışkan sıcaklığına bağlı olarak değişiklik göstermektedir.

Isı kaybının önlenmesi için ilk aşamada özellikle kazandaki tüm vanaların vana ceketleri ile yalıtımlarının sağlanması önerilmektedir. Ayrıca borular, özellikle kondens tankına dönen sıcak su boru hattının yalıtılması gerekmektedir.

5. SONUÇ

Tez çalışması kapsamında, dondurulmuş gıda üreten bir işletmenin dondurulmuş mısır üretim sürecine literatürde ilk kez enerji, ekserji ve eksergoekonomik analiz yöntemleri uygulanmıştır. Proses; besleme, kabuk soyma, mısır taneleme, haşlama, soğutma, su alma ve dondurma olmak üzere yedi temel aşamaya ayrılarak incelenmiştir. Prosesteki her işlemin gerçekleşmesi için makineler tarafından tüketilen enerji, ürün ve su giriş-çıkış sıcaklıkları gibi ekserji analizi için temel oluşturan parametreler ölçülmüştür.

Enerji ve ekserji analizleri sonucunda, en düşük enerji veriminin BHD'de (%40.17), ekserji veriminin ise mısır taneleme makinesinde (%0.87) olduğu tespit edilmiştir. En yüksek bağıl tersinmezlik ve iyileştirme potansiyeli değerleri sırasıyla blanşör (%82 ve 643.71 MJ/h) ve BHD'de (%11 ve 150.73 MJ/h) görülmüştür.

Eksergoekonomik açıdan incelendiğinde, en yüksek ekserji maliyeti blanşör çıkışındaki haşlanmış tane mısırdaki (90.48 TL/h) belirlenmiştir. Bunu blanşördeki toplam enerji girdisi (81.48 TL/h) ve BHD'den çıkan dondurulmuş mısır ürünü (65.53 TL/h) takip etmiştir. Değerlendirme neticesinde verimlilik artırma çalışmalarına blanşörden başlanması önerilebilir. Bu kapsamda yapılabilecek iyileştirme önerileri aşağıda özetlenmiştir;

- İyileştirme yapılacak makinelerin öncelik sıralamasının, ekserji verimi ve ekserji yokoluşunu birlikte ele alan iyileştirme potansiyel değerlerine göre yapılması önerilmektedir.
- Bu çalışmada enerji ve ekserji analizinde, mısır taneleri, koçan ve kabuk materyallerinin özgül ısı değerleri için literatür bilgilerinden yararlanılmıştır. Yapılacak benzer çalışmalarda, materyallerin özgül ısılarının analiz yoluyla tespit edilmesi önerilmektedir. Mısır materyalinin dondurulması prosesi için tane, koçan ve kabuk dışında haşlama işlemi sonrası tanelerin özgül ısıları da analiz edilerek değerlendirilmelidir.
- Yapılan enerji ve ekserji analizleri neticesinde, sistemde ciddi buhar kayıplarının olduğu görülmüştür. Blanşörde meydana gelen kayıp buharın sisteme geri kazanımının yapılması önerilmektedir. Ancak bu buharın blanşörde tekrar kullanılmasının hijyen açısından uygun olmayacağı işletme yetkilileri tarafından belirtilmiştir. Bu durumda buharın bir eşanşör vasıtasıyla sıcak su eldesinde kullanılarak değerlendirilmesi sağlanabilir. Proses gereğince üretim ortamının ısıtılması istenmemektedir, ancak ofislerin, kazan besleme suyunun veya işletme çevresinde bulunan seraların ısıtılması sağlanabilir. Blanşör teknolojisinin değiştirilmesi halinde ise buhar kayıplarının minimum olduğu, haşlama işleminin kademeli olarak gerçekleştirildiği bantlı blanşörlerin kullanılması daha uygun olacaktır.
- Yalıtımsız boru, vana ve flanşlardan önemli ölçüde enerji kaybı söz konusudur. Blanşörün ve toplam buhar sisteminin optimum yalıtım kalınlığı ile yalıtılması, vana ve flanşlarda yalıtım ceketlerinin kullanılması gerekmektedir.
- BHD giriş ve çıkışının açık olması nedeniyle sistemin verimi düşmektedir ve makinenin ürünü soğutmak için daha fazla enerji harcamasına neden olmaktadır.

Bu kısımların ürün giriş/çıkışını engellemeyecek şekilde azaltılması gerekmektedir.

Ayrıca tüm sistemin toplam verimini artırmak ve enerji maliyetlerini azaltmak için alınabilecek tedbirlerden en yaygın olanlarından biri motor veriminin artırılmasıdır. Bütün motorlar gibi elektrik motorları da kullandıkları enerjinin tamamını mekanik enerjiye çeviremezler. Verimli motorların kullanılmasıyla büyük bir enerji tasarrufu sağlanmaktadır, diğer taraftan motor için yapılan yatırımlar kendilerini oldukça kısa sürede amorti edebilmektedirler. Yanan motorların tekrar sarılması ile motor veriminin %1-4 düşeceği dikkate alınmalıdır. Motorlarda inventör kullanılması da özellikle dinamik kontrollerde performansın iyileştirilmesinde ve hat harmoniklerinin azaltılması açısından önemlidir.

Fabrikada birden fazla ürün söz konusudur ve ürünlerin yıl içindeki üretim süreleri meyve/sebzelerin yıl içindeki hasat zamanlarıyla doğru orantılı olarak sınırlıdır. Bu nedenle spesifik enerji tüketimleri her ürün için her yıl ayrı ayrı ölçülmelidir. Ölçüm yapılan süre arttıkça fabrikanın uzun vadeli tüketim değerleri net bir şekilde ortaya çıkartılabilir. Spesifik enerji tüketim eğrilerinin trendinde herhangi bir değişme görüldüğünde bunun nedenleri araştırılmalı, verimi artırmak için işletme koşullarının iyileştirilmesi yoluna gidilmelidir.

Enerji tüketiminin yenilenebilir enerji kaynaklarından özellikle güneş enerji sistemlerinden karşılanması teşvik edilmelidir. Genel olarak sanayi tesislerinde yüksek verimli motor kullanımı, basınçlı hava sistemindeki kaçakların önlenmesi, kompresör emiş havasının dış ortamdan alınması, yakma havasının ısıtılması, kirlenmiş akışkandan ısı geri kazanımı, kondensatın kazana yollanarak geri kazanımı, sıcak ve soğuk yüzeylerin izolasyonu, iç ve dış yalıtım kaplamalarının yaygınlaştırılması, boşta çalışma süresinin azaltılması, tahrik motorlarının, fan ve pompaların frekans kontrolü ile hız ayarı, kazan yüzeyinden olan ısı kayıplarının azaltılması, buhar sistemlerinin iyileştirilmesi, buhar boru sistemlerinin izolasyonları, fırınlara yönelik iyileştirmeler, tesislerde elektrik güç faktörünün düzeltilmesi, fazla havanın kontrolü, kazanlarda blöf miktarının azaltılması, blöften ısı geri kazanımı gibi konular, enerji verimliliği uygulamalarında öne çıkan tedbirler olarak göze çarpmaktadır.

Türkiye'nin en düşük ve en istikrarlı enerji yoğunluğuna sahip sanayi sektörlerinden biri olan gıda sanayiinin bir alt dalı olan gıda maddeleri sanayiindeki enerji verimliliğinin ürün bazında (şeker, et, süt, yağ, vb. üretimi) incelenerek enerji-yoğun üretim kalemlerinin belirlenmesi ve buna yönelik tedbirler geliştirilmesi gerekmektedir. Aynı ürünlerin üretim proseslerinin farklı işletmelerde ekserji ve eksergoekonomik analiz yapılarak incelenmesi ve verim karşılaştırmalarının yapılması bu tip çalışmalarda uygun bir yaklaşım olacaktır. Bu çalışmanın benzer çalışmalarda diğer araştırmacılara yol gösterici olması ümit edilmektedir.

6. KAYNAKLAR

- ABUSOGLU, A. ve KANOGLU, M. 2009. Exergoeconomic analysis and optimization of combined heat and power production: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 13(9): 2295-2308.
- AGHBASHLO, M., KIANMEHR, M.H. ve ARABHOSSEINI, A. 2008. Energy and exergy analyses of thin-layer drying of potato slices in a semi-industrial continuous band dryer. *Drying Technology*, 26(12): 1501-1508.
- AGHBASHLO, M., KIANMEHR, M.H. ve ARABHOSSEINI, A. 2009. Performance analysis of drying of carrot slices in a semi-industrial continuous band dryer. *Journal of Food Engineering*, 91(1): 99-108.
- AKÇAKAYA, C.A. 2009. Bira üretimindeki ekserji kayıplarının analizi. Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 77 s.
- AKPINAR, E., MIDILLI, A. ve BICER, Y. 2005. Thermodynamic analysis of the apple drying process. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part E: Journal of Process Mechanical Engineering*, 219(1): 1-14.
- AKPINAR, E.K. 2004. Energy and exergy analyses of drying of red pepper slices in a convective type dryer. *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 31(8): 1165-1176.
- AKPINAR, E.K., MIDILLI, A. ve BICER, Y. 2006. The first and second law analyses of thermodynamic of pumpkin drying process. *Journal of food engineering*, 72(4): 320-331.
- AKSOY, S., ÇALIKOĞLU, E., ARAS, H. ve KARAKOÇ, N. 2013. Enerji Yönetimi ve Politikaları. Anadolu Üniversitesi, Eskişehir, 193 s.
- ANONİM. 2008. Conr, Sweet. World Food Logistics Organization (WFLO) Commodity Storage Manual.
- ANONİM 2012. Türkiye Enerji Verileri 2012. Dünya Enerji Konseyi Türk Milli Komitesi, Ankara, 2 s.
- ANONİM 2013a. 2013 Yılı Destekleme Kararı Verilen VAP'lar. Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü, Ankara, 3 s.
- ANONİM 2013b. Doğalgaz tüketimi yüzde 5 artacak. <http://www.ntvmsnbc.com/id/25417842/> (Erişim tarihi: 27.03.2014).
- ANONİM 2013c. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı ile Bağlı, İlgili ve İlişkili Kuruluşların Amaç ve Faaliyetleri. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, Ankara, 263 s.

- ANONİM 2013d. Gıda ve İçecek Sektörü Raporu. Bilim, Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı, 2013/1, Ankara, 26 s.
- ANONİM 2014a. 2012 Yılı Genel Enerji Dengesi. http://www.enerji.gov.tr/EKLENTI_VIEW/index.php/raporlar/raporVeriGir/72884/2 (Erişim tarihi: 21.03.2014).
- ANONİM 2014b. 2030'a kadar Türkiye'nin enerji ithalat faturasının 1.4 trilyon dolara ulaşması bekleniyor. <http://enerjiinstitusu.com/2014/02/20/2030a-kadar-turkiyenin-enerji-ithalat-faturasinin-1-4-trilyon-dolara-ulasmasi-bekleniyor> (Erişim tarihi: 21.03.2014).
- ANONİM 2014c. Elektrik. <http://www.enerji.gov.tr/index.php?sf=webpages&b=elektrik&bn=219&hn=219&nm=384&id=386> (Erişim tarihi: 21.03.2014).
- ANONİM 2014d. Enerji. <http://www.enerji.gov.tr/index.php?dil=tr&sf=webpages&b=enerji&bn=215&hn=12&nm=384&id=384> (Erişim tarihi: 21.03.2014).
- ANONİM 2014e. Enerji Hanım ve Enerji Çocuğun Ardından Enerji Verimli Sanayi Projesi. http://www.enerjigazetesi.com/enerji-hanim-ve-enerji-cocukun-ardindan-enerji-verimli-sanayi-projesi/?utm_source=feedburner&utm_medium=email&utm_campaign=Feed%3A+EnerjiHaberleriEnerjiHaberleriEnerjiVeVerimliliGazetesi+%28Enerji+Gazetesi+-+G%C3%BCncel+Haber+B%C3%BClteni%29 (Erişim tarihi: 01.04.2014).
- ANONİM. 2014f. Kamu Bankalarınca Mevduatlara Fiilen Uygulanan Azami Faiz Oranları, 1 Yıla kadar vadeli (TL).
- APAK, E. 2007. Bir seramik fabrikasında enerji ve ekserji analizi. Yüksek Lisans Tezi, Dumlupınar Üniversitesi, 126 s.
- ATMACA, A. ve KANOĞLU, M. 2012. Reducing energy consumption of a raw mill in cement industry. *Exergy*, 42: 261-269.
- BAYRAK, M., MIDILLI, A. ve NURVEREN, K. 2003. Energy and exergy analyses of sugar production stages. *International Journal of Energy Research*, 27(11): 989-1001.
- BEKTAŞ, G. 2009. Toz deterjan üretim tesisinde enerji ve ekserji analizi. Doktora Tezi, Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 206 s.
- BILGINOĞLU, M.A. ve DUMRUL, C. 2012. Türk Ekonomisinin Enerji Bağımlılığı Üzerine Bir Eş-Bütünleşme Analizi. *Journal of Yasar University*, 26(7): 4392-4414.

- BOYAR, S. 2006. Karma yem sanayinde enerji verimliliğinin belirlenmesi ve iyileştirilme olanakları üzerine bir araştırma (iki fabrika örneğinde). Doktora Tezi, Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 460 s.
- BOZOĞLAN, E. 2008. Bir zeytinyağı rafinerasyon tesisinin enerji ve ekserji analiz yöntemleri kullanılarak performansının değerlendirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 116 s.
- BP 2014. BP Energy Outlook 2035. London, United Kingdom, 96 s.
- CEMEROĞLU, B. 2004. Meyve ve Sebze İşleme Teknolojisi 2. Cilt. Gıda Teknolojisi Derneği Yayınları, Ankara, 628s.
- CIVANER, E.Ç. 2007. Dondurulmuş Meyve ve Sebze. Başbakanlık Dış Ticaret Müsteşarlığı İhracatı Geliştirme Etüd Merkezi, Ankara, 10s.
- COLAK, N. ve HEPBASLI, A. 2007. Performance analysis of drying of green olive in a tray dryer. *Journal of food engineering*, 80(4): 1188-1193.
- COLAK, N., KUZGUNKAYA, E. ve HEPBASLI, A. 2008. Exergetic assessment of drying of mint leaves in a heat pump dryer. *Journal of food process engineering*, 31(3): 281-298.
- CORZO, O., BRACHO, N., VÁSQUEZ, A. ve PEREIRA, A. 2008. Energy and exergy analyses of thin layer drying of coroba slices. *Journal of food engineering*, 86(2): 151-161.
- COSTA, M.M., SCHAEFFER, R. ve WORRELL, E. 2001. Exergy accounting of energy and materials flows in steel production systems. *Energy*, 26: 363-384.
- ÇAKAL, E. 2006. Tarım makinaları imalatında enerji yönetimi üzerine bir araştırma. Yüksek Lisans Tezi, Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 51 s.
- ÇAY, A. 2009. Tekstil terbiye işlemlerinin enerji, ekserji ve eksergoekonomik analiz yöntemlerinin uygulanmasıyla performansının belirlenmesi. Doktora Tezi, Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 209 s.
- ÇAY, A., TARAKÇIOĞLU, I. ve HEPBAŞLI, A. 2009. Assessment of finishing processes by exhaustion principle for textile fabrics: An exergetic approach. *Applied Thermal Engineering*, 29: 2554-2561.
- ÇENGEL, Y.A. ve BOLES, M.A. 2008. Termodinamik, Mühendislik Yaklaşımıyla. İzmir Güven Kitabevi, İzmir, 946.
- ÇINAR, T. 2008. Tekstil Sanayisinde Enerji Yönetimi ve Enerji Verimlilik Analizi. Yüksek Lisans Tezi, Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 119 s.

- ÇOLAK, N. ve HEPBAŞLI, A. Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Gıda Üretim Sistemlerinde Kullanımı. http://www.emo.org.tr/ekler/e185cc0ad0a719c_ek.pdf (Erişim tarihi: 26.03.2014).
- ÇURKAN, A., TAMER, C.E. ve ÇOPUR, Ö.U. 2012. Dondurulmuş Meyve-Sebze İhracatının Analizi. *Journal of Agricultural Faculty of Uludag University*, 26(1): 73-82.
- DINCER, İ. ve SAHİN, A. 2004. A new model for thermodynamic analysis of a drying process. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 47(4): 645-652.
- DİNÇER, İ. ve ROSEN, M.A. 2007. EXERGY: Energy, Environment and Sustainable Development. Elsevier, London, 454 p.
- DPT 2001. Gıda Sanayii Özel Hissas Komisyonu Raporu- Dondurulmuş Gıda Sanayii Alt Komisyon Raporu. Devlet Planlama Teşkilatı, DPT: 2637 - ÖİK: 645, Ankara, 84s.
- DURSUN, B. 2013. Türkiye’de Enerji Sektörü Mevcut Durum ve Gelecek Vizyonu. KESAM-Kırklareli Üniv. Ekonomik ve Sosyal Araştırmalar Merkezi, 2013-01, Kırklareli, 16 s.
- EİE 2014. Kaynakların Alt Isıl Değerleri ve Petrol Eşdeğerine Çevrim Katsayıları. www.eie.gov.tr/duyurular_haberler/document/SENVER_14_Ek4.doc (Erişim tarihi: 01.11.2014)
- EL-SAYED, Y. ve EVANS, R. 1970. Thermoeconomics and the design of heat systems. *Journal for Engineering for Power*, 92(1): 27-35.
- ENSINAS, A., MODESTO, M., NEBRA, S. ve SERRA, L. 2009. Reduction of irreversibility generation in sugar and ethanol production from sugarcane. *Energy*, 34(5): 680-688.
- ENSINAS, A.V., NEBRA, S.A., LOZANO, M.A. ve SERRA, L. 2006. Optimization of thermal energy consumption in sugar cane factories. *Proceedings of ECOS*: 569-576.
- ENVE 2014. EİE Destekleri. http://www.enve.com.tr/enerji_verimliliği_hibe.html (Erişim tarihi: 01.04.2014).
- ENVERDER ve TEVEM 2010. Türkiye Enerji ve Enerji Verimliliği Çalışmaları Raporu-Yeşil Ekonomiye Geçiş. Ankara, 190 s.
- EPDK 2012. Elektrik Piyasası Sektör Raporu 2011. Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu Ankara, 55 s.

- ERBAY, Z., ICIER, F. ve HEPBASLI, A. 2010. Exergetic performance assessment of a pilot-scale heat pump belt conveyor dryer. *International Journal of Energy Research*, 34(3): 249-264.
- ERBAY, Z. ve KOCA, N. 2012. Energetic, exergetic, and exergoeconomic analyses of spray-drying process during white cheese powder production. *Drying Technology*, 30(4): 435-444.
- ERDAL, Ş. ve PAMUKÇU, M. 2005. Tatlı Mısır (Zea mays saccharata Sturt.). Batı Akdeniz Tarımsal Araştırma Enstitüsü, Antalya, 7.
- ERYENER, D. 2003. Türbülanslı cebri konveksiyonla ısı geçişi sağlayan ısı sistemlerin ekserji ekonomik analizi. Doktora Tezi, Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 147s.
- EVANS, R.B. ve TRIBUS, M. 1965. Thermo-economics of saline water conversion. *Industrial & Engineering Chemistry Process Design and Development*, 4(2): 195-206.
- FADARE, D., BAMIRO, O. ve ONI, A. 2010a. Energy and cost analysis of organic fertilizer production in Nigeria. *Energy*, 35(1): 332-340.
- FADARE, D., NKUPBRE, D., ONI, A., FALANA, A., WAHEED, M. ve BAMIRO, O. 2010b. Energy and exergy analyses of malt drink production in Nigeria. *Energy*, 35(12): 5336-5346.
- FORCINITI, D., ROTSTEIN, E. ve URBICAIN, M. 1985. Heat Recovery and Exergy Balance in a Tomato Paste Plant. *Journal of Food Science*, 50(4): 934-939.
- FRANGOPOULOS, C.A. 1987. Thermo-economic functional analysis and optimization. *Energy*, 12(7): 563-571.
- FRANGOPOULOS, C.A. 1994. Application of the thermoeconomic functional approach to the CGAM problem. *Energy*, 19(3): 323-342.
- GUNGOR, A., ERBAY, Z. ve HEPBASLI, A. 2011. Exergoeconomic analyses of a gas engine driven heat pump drier and food drying process. *Applied Energy*, 88(8): 2677-2684.
- GYARMATI, I., GYARMATI, E. ve HEINZ, W.F. 1970. Non-equilibrium thermodynamics. Springer.
- HANCIOGLU, E., HEPBASLI, A., ICIER, F. ve ERBAY, Z. 2010. Performance investigation of the drying of parsley in a tray dryer system. *International Journal of Exergy*, 7(2): 193-210.

- HEKIMOĞLU, B. ve ALTINDEĞER, M. 2012. Samsun'da Dondurulmuş Gıda Sektör Potansiyeli (Dünya'da ve Türkiye'de Genel Durum). Tarımsal Strateji Geliştirme Birimi, Samsun, 35 s.
- HEPBASLI, A., COLAK, N., HANCIOGLU, E., ICIER, F. ve ERBAY, Z. 2010. Exergoeconomic analysis of plum drying in a heat pump conveyor dryer. *Drying Technology*, 28(12): 1385-1395.
- HEPBAŞLI, A. 2008. Endüstriyel İşletmelerde Ekserji Yönetim Sisteminin Kurulması Gerekli Mi?. *Termodinamik*, 190.
- HEPBAŞLI, A. 2010. Enerji Verimliliği ve Yönetim Sistemi: Yaklaşımlar ve Uygulamalar. Esen Offset, İstanbul, 960.
- ICIER, F., COLAK, N., ERBAY, Z., KUZGUNKAYA, E.H. ve HEPBASLI, A. 2010. A comparative study on exergetic performance assessment for drying of broccoli florets in three different drying systems. *Drying Technology*, 28(2): 193-204.
- IEA 2013. "World Energy Outlook" Türkiye Tanıtımı. Uluslararası Enerji Ajansı, TÜSİAD-T/2013/12/544, İstanbul, 20 s.
- JEKAYINFA, S. ve BAMGBOYE, A. 2006. Estimating energy requirement in cashew (*Anacardium occidentale* L.) nut processing operations. *Energy*, 31(8): 1305-1320.
- JEKAYINFA, S. ve BAMGBOYE, A. 2007. Development of equations for estimating energy requirements in palm-kernel oil processing operations. *Journal of food engineering*, 79(1): 322-329.
- JEKAYINFA, S. ve OLAJIDE, J. 2007. Analysis of energy usage in the production of three selected cassava-based foods in Nigeria. *Journal of food engineering*, 82(2): 217-226.
- KARAKOÇ, T.H., KARAKOÇ, N., ERBAY, B. ve ARAS, H. 2012. Enerji Analizi. Anadolu Üniversitesi, Eskişehir.
- KAVAK AKPINAR, E., MIDILLI, A. ve BICER, Y. 2005. Energy and exergy of potato drying process via cyclone type dryer. *Energy Conversion and Management*, 46(15): 2530-2552.
- KAYA, D. ve GÜNGÖR, C. 2002. Sanayide Enerji Tasarruf Potansiyeli-I. *Mühendis ve Makina*, 514: 20-30.
- KEENAN, J.H. 1932. A steam chart for second law analysis. *Mech Eng*, 54: 195-204.
- KIM, S.-M., KWON, Y.-H. ve KWAK, H.-Y. 1998. Exergoeconomic analysis of thermal systems. *Energy*, 23(5): 393-406.

- KOÇ, E. ve ŞENEL, M.C. 2013. Dünyada ve Türkiye’de Enerji Durumu - Genel Değerlendirme. *Mühendis ve Makina*, 54(639): 32-44.
- KUZGUNKAYA, E.H. ve HEPBASLI, A. 2007. Exergetic evaluation of drying of laurel leaves in a vertical ground-source heat pump drying cabinet. *International Journal of Energy Research*, 31(3): 245-258.
- LAZZARETTO, A. ve TSATSARONIS, G. 2001. Comparison between SPECO and functional exergoeconomic approaches. Proceedings of the ASME international mechanical engineering congress and exposition-IMECE-23656, November, Conference, Location, 11-16.
- LAZZARETTO, A. ve TSATSARONIS, G. 2006. SPECO: a systematic and general methodology for calculating efficiencies and costs in thermal systems. *Energy*, 31(8): 1257-1289.
- LOZANO, M. ve VALERO, A. 1993. Theory of the exergetic cost. *Energy*, 18(9): 939-960.
- MICHAELIS, P., JACKSON, T. ve CLIFT, R. 1998. Exergy analysis of the life cycle of steel. *Energy*, 23(3): 213-220.
- MIDILLI, A. ve KUCUK, H. 2003. Energy and exergy analyses of solar drying process of pistachio. *Energy*, 28(6): 539-556.
- MORRIS, D.R., STEWARD, F.R. ve GILMORE, C.A. 2000. Comparative analysis of the consumption of energy of two wood pulping processes. *Energy Conversion and Management*, 41: 1557-1568.
- MOZES, E., CORNELISSEN, R., HIRS, G. ve BOOM, R. 1998. Exergy analysis of the conventional textile washing process. *Energy Conversion and Management*, 39(16): 1835-1843.
- NARIN, M. 2006. Farklı İşyeri Büyüklüğündeki İmalat Sanayii Alt Sektörlerinde Enerji Yoğunluğu. *Ekonomik Yaklaşım*, 17(58): 59-87.
- NURVEREN, K. 2001. Bor şeker fabrikası buharlaştırma sistemlerinin ekserji analizi. Yüksek Lisans Tezi, Niğde Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 76 s.
- OLGUN, B., KURTULUŞ, O., GÜLTEK, S. ve HEPERKAN, H.A. 2009. Enerji Verimliliği ve Türkiye'deki Mevzuat. IX. Ulusal Tesisat Mühendisleri Kongresi, Conference, Location, 397-408.
- OZGENER, L. 2007. Exergoeconomic analysis of small industrial pasta drying systems. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part A: Journal of Power and Energy*, 221(7): 899-906.

- ÖNÖZ, E. 2008. Tekstil sanayinde enerji verimliliği ve enerji verimli motor sistemleri. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Enerji Enstitüsü, 135 s.
- ÖZILGEN, M. ve SORGÜVEN, E. 2011. Energy and exergy utilization, and carbon dioxide emission in vegetable oil production. *Energy*, 36(10): 5954-5967.
- PETELA, R., HUTNY, W. ve PRICE, J. 2002. Energy and exergy consumption and CO₂ emissions in an ironmaking process. *Advances in Environmental Research*, 6(2): 157-170.
- ROSEN, M. ve DINCER, I. 2003. Exergy–cost–energy–mass analysis of thermal systems and processes. *Energy Conversion and Management*, 44(10): 1633-1651.
- SGK. 2012. 5510 Sayılı Kanununun 4-1/a Maddesi Kapsamındaki İşyeri ve Zorunlu Sigortalı Sayılarının Faaliyet Gruplarına ve İllere Göre Dağılımı.
- SORGÜVEN, E. ve ÖZILGEN, M. 2012. Energy utilization, carbon dioxide emission, and exergy loss in flavored yogurt production process. *Energy*, 40(1): 214-225.
- SÖĞÜT, Z. 2009. Çimento Sektöründe Döner Fırın Prosesinin Eksergoekonomik Optimizasyonu. Doktora Tezi, Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 240 s.
- SÖĞÜT, Z., ILTEN, N. ve OKTAY, Z. 2010. Energetic and exergetic performance evaluation of the quadruple-effect evaporator unit in tomato paste production. *Energy*, 35: 3821-3826.
- SÖĞÜT, Z. ve OKTAY, Z. 2006. Sanayi Sektöründe Enerji Taramasının Enerji Verimliliğine Etkisi ve Bir Uygulama. *Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, 10: 151-162.
- SYAHRUL, S., HAMDULLAHPUR, F. ve DINCER, I. 2002. Energy analysis in fluidized-bed drying of large wet particles. *International Journal of Energy Research*, 26(6): 507-525.
- SZARGUT, J. 1980. International progress in second law analysis. *Energy*, 5(8): 709-718.
- ŞAHİN, H.M., ACIR, A., BAYSAL, E. ve KOÇYIĞIT, E. 2007. Enerji ve ekserji analiz metoduyla Kayseri şeker fabrikasında enerji verimliliğinin değerlendirilmesi. *Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der.*, 22(1): 111-119.
- ŞAHİN, İ.K. 2008. Bir otomotiv fabrikasında enerji tasarruf çalışması. Yüksek Lisans Tezi, Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 115 s.
- TANER, T. ve SIVRIOĞLU, M. 2013. Sugar Factories' Analysis of Energy and Exergy Methods. *Engineer & the Machinery Magazine*, 637.

- TAŞDAN, K. 2012. Mısır, Durum ve Tahmin 2013/2014. Tarımsal Ekonomi ve Politika Geliştirme Enstitüsü, TEPGE 222, Ankara, 65 s.
- TEKİN, T. ve BAYRAMOĞLU, M. 1998. Exergy analysis of the sugar production process from sugar beets. *Int. J. Energy Res.*, 22: 591-601.
- TEKİN, T. ve BAYRAMOĞLU, M. 2001. Exergy and structural analysis of raw juice production and stream-power units of sugar production plant. *Energy*, 26: 287-297.
- TEZCAN, A. 2006. Bir likoriş üretim tesisinin termoekonomik analizi. Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 136 s.
- TIWARI, G., DAS, T., CHEN, C. ve BARNWAL, P. 2009. Energy and exergy analyses of greenhouse fish drying. *International Journal of Exergy*, 6(5): 620-636.
- TMMOB 2012a. Türkiye'nin Enerji Görünümü. TMMOB Makine Mühendisleri Odası, MMO/588, Ankara, 242 s.
- TMMOB 2012b. Dünya'da ve Türkiye'de Enerji Verimliliği. Makine Mühendisleri Odası, MMO/589, Ankara, 132s.
- TSATSARONIS, G., LIN, L. ve PISA, J. 1993. Exergy costing in exergoeconomics. *Journal of energy resources technology*, 115(1): 9-16.
- TSATSARONIS, G. ve MORAN, M.J. 1997. Exergy-aided cost minimization. *Energy Conversion and Management*, 38(15): 1535-1542.
- TSATSARONIS, G. ve PISA, J. 1994. Exergoeconomic evaluation and optimization of energy systems—application to the CGAM problem. *Energy*, 19(3): 287-321.
- TSATSARONIS, G. ve WINHOLD, M. 1985. Exergoeconomic analysis and evaluation of energy-conversion plants—II. Analysis of a coal-fired steam power plant. *Energy*, 10(1): 81-94.
- TÜİK. 2012. Net Elektrik Tüketiminin Sektörlere Göre Dağılımı.
- TÜİK 2013. Elektrik ve Doğalgaz Fiyatları, I.Dönem: Ocak-Haziran, 2013. <http://www.tuik.gov.tr/PreHaberBultenleri.do?id=15883> (Erişim tarihi: 26.03.2014).
- TÜİK. 2012. Kullanım yerlerine göre elektrik tüketimi.
- TÜİK. 2014a. Ekonomik Faaliyetler göre (USSS Rev.3) İhracat / İthalat.
- TÜİK. 2014b. Uluslararası Standart Sanayi Sınıflamasına (USSS, Rev.3) Göre ihracat/İthalat.

- TÜRKAY, M., YILMAZ, Ş., AKÇA, B.Ş., ARAS, B., DENK, A., M.T., K., A.G., K., ÖREN, Y.C. ve YARDIMCI, A. 2012. Türkiye'nin Enerji Verimliliği Haritası ve Hedefler. Koç Üniversitesi, İstanbul, 177 s.
- TÜRKÖZÜ, B. 2008. Çumra şeker fabrikası ekserji analizi. Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 102 s.
- UTLU, Z. ve HEPBAŞLI, A. 2007. A review and assessment of the energy utilization efficiency in the Turkish industrial sector using energy and exergy analysis method. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 11: 1438-1459.
- ÜNAL, F. 2009. Bir Termik Santralin Ekserji Analizi. Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 101 s.
- ÜNLÜ, N. 2010. Sanayi Sektörü Mevcut Durum Değerlendirmesi Raporu. Türkiye'nin İklim Değişikliği Ulusal Eylem Planı'nın Geliştirilmesi Projesi, Ankara, 85 s.
- VALERO, A., SERRA, L. ve LOZANO, M. 1993. Structural theory of thermoeconomics. *ASME, NEW YORK, NY,(USA)*. 30: 189-198.
- WAHEED, M., JEKAYINFA, S., OJEDİRAN, J. ve IMEOKPARIA, O. 2008. Energetic analysis of fruit juice processing operations in Nigeria. *Energy*, 33(1): 35-45.
- WEPFER, W., GAGGIOLI, R. ve OBERT, E. 1979. Economic sizing of steam piping and insulation. *Journal of Engineering for Industry*, 101(4): 427-433.
- XU, T., FLAPPER, J. ve KRAMER, K.J. 2009. Characterization of energy and performance of global cheese processing. *Energy*, 34: 1993-2000.
- YALÇIN, S.E. 2006. Buhar Kazanlarının Eksergoekonomik Çözümlemesi. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 73 s.
- YALKI, İ. 2013. Türkiye'nin Enerji Politikasında Enerji Verimliliğinin Yeri ve Önemi. *Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 3: 225-237.
- YOĞUNLU, A., YÜZEROĞLU, M., HOPOĞLU, S. ve GÜRAVŞAR GÖKÇE, S. 2013. Dondurulmuş Meyve-Sebze Sektör Analizi ve Ön Fizibilitesi. Fırat Kalkınma Ajansı, Malatya, 61s.
- YURTMAN, A. 2003. Dondurulmuş Gıda Sektör Raporu. İstanbul Ticaret Odası Etüt ve Araştırma Şubesi İstanbul, 15s.
- YÜNCÜ, H. 2010. Ekserji Analizi (İkinci Kanun Verimi & Termoekonomi). ODTÜ Basım İşliği, Ankara, 403.

ZHANG, Y., GHALY, A. ve LI, B. 2012. Physical properties of corn residues. *American Journal of Biochemistry & Biotechnology*, 8(2).

7. EKLER

Ek 1: Bazı Ülkelerde Enerji Göstergeleri (Nüfus, GSYİH, Kişi Başına GSYİH, Enerji Üretimi, Toplam Birincil Enerji Arzı) (Anonim 2014d)

Ülke	Nüfus (milyon)	GSYİH (Milyar Dolar)	Kişi Başına GSYİH (Dolar)	Enerji Üretimi (MTEP)	Toplam Birincil Enerji Arzı (MTEP)
Dünya	6825	50942	7464	12789	12717
ABD	310.11	13017.00	41975	1724.51	2216.32
Kanada	34.11	1203.89	35294	397.83	251.84
Meksika	108.29	920.02	8495	226.36	178.11
Arjantin	40.41	253.74	6279	78.85	74.63
Brezilya	194.95	1092.73	5605	246.37	265.62
Şili	17.09	138.70	8115	9.21	30.92
Almanya	81.76	2945.78	36029	131.35	327.37
Belçika	10.88	399.92	36757	16.04	60.86
Danimarka	5.55	256.13	46149	23.33	19.25
Fransa	64.85	2208.62	34057	135.57	262.29
İngiltere	62.18	2337.59	37593	148.77	202.51
İspanya	46.07	1181.89	25654	34.24	127.74
İsviçre	7.79	411.66	52844	12.64	26.21
İtalya	60.48	1765.29	29187	29.79	170.24
Lüksemburg	0.51	41.30	80980	0.13	4.23
Norveç	4.89	316.69	64762	205.51	32.45
TÜRKİYE	72.85	564.32	7746	32.23	105.13
Yunanistan	11.31	243.23	21505	9.45	27.62
Bulgaristan	7.45	32.95	4370	10.57	17.86
Macaristan	10.00	109.27	10927	11.05	25.67
Rusya	141.75	905.23	6386	1293.05	701.52
Ukrayna	48.87	90.58	1853	76.00	130.50
Azerbaycan	9.05	28.33	3130	65.44	11.84
Kazakistan	16.32	77.25	4733	156.75	75.01
B.A.Emirlikleri	7.55	211.22	27976	176.29	62.13
İran	73.97	230.67	3118	349.12	208.37
Mısır	81.12	121.04	1492	88.33	73.26
Suriye	21.45	36.61	1706	27.67	21.73
Etyopya	82.95	20.15	242	31.43	33.20
Kenya	40.51	23.45	578	15.78	19.56
Vietnam	86.94	74.29	854	65.87	59.23
Japonya	127.38	4578.55	35944	96.79	496.85
Hindistan	1174.94	1246.73	1061	518.67	692.69
Avustralya	22.55	874.48	38779	310.62	124.73
Çin	1338.30	3837.73	2867	2208.96	2417.13

Ek 2: Bazı Ülkelerde Enerji Göstergeleri (Elektrik Tüketimi, CO₂ Emisyonu, Kişi Başına Enerji Tüketimi, Kişi Başına Elektrik Tüketimi, Kişi Başına CO₂) (Koç ve Şenel 2013)

Ülke	Elektrik Tüketimi (TWh)	CO ₂ Emisyonu (milyon ton)	Kişi Başına Enerji Tüketimi (TEP)	Kişi Başına Elektrik Tüketimi (kWh)	Kişi Başına CO ₂ (ton)
Dünya	19738	30326	1.86	2892	4.44
ABD	4143.40	5368.63	7.15	13361	17.31
Kanada	516.59	536.63	7.38	15145	15.73
Meksika	225.76	416.91	1.64	2085	3.85
Arjantin	117.38	170.24	1.85	2904	4.21
Brezilya	464.70	387.66	1.36	2384	1.99
Şili	56.43	69.71	1.81	3301	4.08
Almanya	590.06	761.58	4.00	7217	9.32
Belçika	91.39	106.43	5.59	8397	9.78
Danimarka	35.10	47.02	3.47	6329	8.48
Fransa	502.94	357.81	4.04	7756	5.52
İngiltere	356.96	483.52	3.26	5741	7.78
İspanya	283.56	268.32	2.77	6155	5.82
İsviçre	63.97	43.83	3.37	8216	5.63
İtalya	325.65	398.47	2.81	5384	6.59
Lüksemburg	8.53	10.61	8.36	16866	20.98
Norveç	123.09	39.17	6.64	25177	8.01
TÜRKİYE	180.21	265.88	1.44	2474	3.65
Yunanistan	59.32	84.28	2.44	5245	7.45
Bulgaristan	33.73	43.83	2.37	4471	5.81
Macaristan	38.77	48.95	2.57	3877	4.89
Rusya	915.65	1581.37	4.95	6460	11.16
Ukrayna	162.83	266.59	2.84	3550	5.81
Azerbaycan	14.52	25.67	1.31	1605	2.73
Kazakistan	77.17	232.12	4.60	4730	14.23
B.A.Emirlikleri	82.96	154.00	8.27	11044	20.50
İran	196.20	509.00	2.82	2652	6.88
Mısır	130.44	177.60	0.90	1608	2.19
Suriye	38.96	57.76	1.06	1905	2.82
Etyopya	4.50	5.37	0.40	54	0.06
Kenya	6.32	10.89	0.48	156	0.27
Vietnam	89.94	130.46	0.68	1035	1.50
Japonya	1069.84	1143.07	3.90	8399	8.97
Hindistan	754.61	1625.79	0.59	644	1.39
Avustralya	226.96	383.48	5.53	10063	17.00
Çin	3937.92	7269.85	1.81	2942	5.43

Ek 3: 2007 Yılından İtibaren Yürürlüğe Konulan Enerji Verimliliği Mevzuatı (Aksoy vd 2013)

Mevzuat Adı	Sorumlu Bakanlık/Kurum	Yayın Tarihi
1. 18/4/2007 tarihli ve 5627 sayılı Enerji Verimliliği Kanunu	Bakanlar Kurulu	02/05/2007
2. Tanıtma ve Kullanma Klavuzu Uygulama Esaslarına Dair Yönetmelikte Değişiklik Yapılması Hakkında Yönetmelik	Bilim, Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı	18/10/2007
3. Genelge-2008/2	Başbakanlık	15/02/2008
4. Küçük ve Orta Ölçekli Sanayi Geliştirme ve Destekleme İdaresi Başkanlığı (KOSGEB) Destekleri Yönetmeliğinde Değişiklik Yapılmasına Dair Yönetmelik	Küçük ve Orta Ölçekli Sanayi Geliştirme ve Destekleme İdaresi Başkanlığı	18/10/2008
5. Merkezi Isıtma ve Sıhhi Sıcak Su Sistemlerinde Isıtma ve Sıhhi Sıcak Su Giderlerinin Paylaştırılmasına İlişkin Yönetmelik	Çevre ve Şehircilik Bakanlığı	14/04/2008
6. Ulaşımında Enerji Verimliliğinin Artırılmasına İlişkin Usul ve Esaslar Hakkında Yönetmelik	Ulaştırma, Denizcilik ve Haberleşme Bakanlığı	09/06/2008
7. Genelge-2008/55	İçişleri Bakanlığı	05/08/2008
8. Genelge-2008/1	Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı	13/08/2008
9. Genelge-2008/19	Başbakanlık	13/08/2008
10. Binalarda Enerji Performansı Yönetmeliği	Çevre ve Şehircilik Bakanlığı	05/12/2008
11. Milli Eğitim Bakanlığına Bağlı Okullarda Enerji Yöneticisi Görevlendirilmesine İlişkin Usul ve Esaslar Hakkında Yönetmelik	Milli Eğitim Bakanlığı	17/04/2009
12. Elektrik İşleri Etüt İdaresi Genel Müdürlüğünce Düzenlenen Hizmet İçi Eğitim, Kurs ve Seminerlerde Ücretle Okutulacak Ders Saati Sayısı, Ders Görevi Alacakların Nitelikleri ve Diğer Hususların Tespitine İlişkin Esaslar Hakkında Bakanlar Kurulu Kararı	Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı	19/10/2009
13. Ev Tipi Buzdolapları, Derin Dondurucular, Buzdolabı Derin Dondurucular ve Bunların Bileşimlerinin Enerji Etiketlemesine Dair Yönetmelik	Bilim, Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı	30/01/2010
14. Genelge-2008/18	Milli Eğitim Bakanlığı	01/03/2010
15. Enerji Kimlik Belgesi Uzmanlarına ve Eğitici Kuruluşlara Verilecek Eğitimlere Dair Tebliğ (Tebliğ No: YIG-16/2010-01)	Çevre ve Şehircilik Bakanlığı	10/06/2010
16. TS EN 16001 Enerji Yönetimi Sistemleri-Kullanım Kılavuzu ve Şartlar Standardı	Türk Standartları Enstitüsü	Temmuz 2009 19/01/2010 13/07/2010

Ek 3: 2007 Yılından İtibaren Yürürlüğe Konulan Enerji Verimliliği Mevzuatı (Devamı)
(Aksoy vd 2013)

17. Enerji İle İlgili Ürünlerin Çevre Duyarlı Tasarımına İlişkin Yönetmelik	Bakanlar Kurulu	07/10/2010
18. Elektrik Piyasasında Lisanssız Elektrik Üretimine İlişkin Yönetmelik	Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu	03/12/2010
19. Binalarda Enerji Performansı Ulusal Hesaplama Yöntemine Dair Tebliğ (Tebliğ No: YIG: 2010-02)	Çevre ve Şehircilik Bakanlığı	07/12/2010
20. TS ISO 50001 Enerji Yönetimi Sistemleri-Kullanım Kılavuzu ve Şartlar Standardı	Türk Standartları Enstitüsü	Ekim 2011 13/12/2011 Mayıs 2012
21. Ev ve Büro Tipi Elektrikli ve Elektronik Cihazların Hazır Bekleme ve Kapalı Moddaki Elektrik Enerjisi Tüketimleri ile İlgili Çevreye Duyarlı Tasarım Gereklere Dair Tebliğ (SGM-2011/7)	Bilim, Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı	27/08/2011
22. Basit Set Üstü Sinyal Dönüştürücülerin Çevreye Duyarlı Tasarım Gereklere Dair Tebliğ (SGM-2011/8)	Bilim, Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı	27/08/2011
23. Doğrusal Olmayan Ev Tipi Lambalar ile İlgili Çevreye Duyarlı Tasarım Gereklere Dair Tebliğ (SGM-2011/9)	Bilim, Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı	27/08/2011
24. Entegre Balastsız Flüoresan Lambalar, Yüksek Yoğunluklu Boşalmalı Lambalar ve Bu Lambaları Çalıştırabilen Balastlar ve Aydınlatma Armatürleri ile İlgili Çevreye Duyarlı Tasarım Gereklere Dair Tebliğ (SGM-2011/10)	Bilim, Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı	27/08/2011
25. Harici Güç Kaynaklarının Yüksüz Durumdaki Enerji Tüketimi ve Ortalama Aktif Verimi ile İlgili Çevreye Duyarlı Tasarım Gereklere Dair Tebliğ (SGM-2011/11)	Bilim, Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı	27/08/2011
26. Bağımsız ve ürünlere Entegre Salmastrasız Devirdaim Pompaları ile İlgili Çevreye Duyarlı Tasarım Gereklere Dair Tebliğ (SGM-2011/15)	Bilim, Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı	23/09/2011
27. Televizyonlar ile İlgili Çevreye Duyarlı Tasarım Gereklere Dair Tebliğ (SGM-2011/16)	Bilim, Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı	23/09/2011
28. Ev Tipi Soğutma Cihazları ile İlgili Çevreye Duyarlı Tasarım Gereklere Dair Tebliğ (SGM-2011/17)	Bilim, Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı	23/09/2011
29. Ev Tipi Çamaşır Makineleri ile İlgili Çevreye Duyarlı Tasarım Gereklere Dair Tebliğ (SGM-2011/18)	Bilim, Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı	23/09/2011
30. Ev Tipi Bulaşık Makineleri ile İlgili Çevreye Duyarlı Tasarım Gereklere Dair Tebliğ (SGM-2011/19)	Bilim, Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı	23/09/2011
31. Enerji Kaynaklarının ve Enerjinin Kullanımında Verimliliğinin Artırılmasına Dair Yönetmelik	Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı	27/10/2011
32. Ürünlerin Enerji ve diğer Kaynak Tüketimlerinin Etiketleme ve Standart Ürün Bilgileri Yoluyla Gösterilmesi Hakkında Yönetmelik	Bakanlar Kurulu	02/12/2011
33. Elektrik Motorları ile İlgili Çevreye Duyarlı Tasarım Gereklere Dair Tebliğ (SGM-2012/2)	Bilim, Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı	07/02/2012

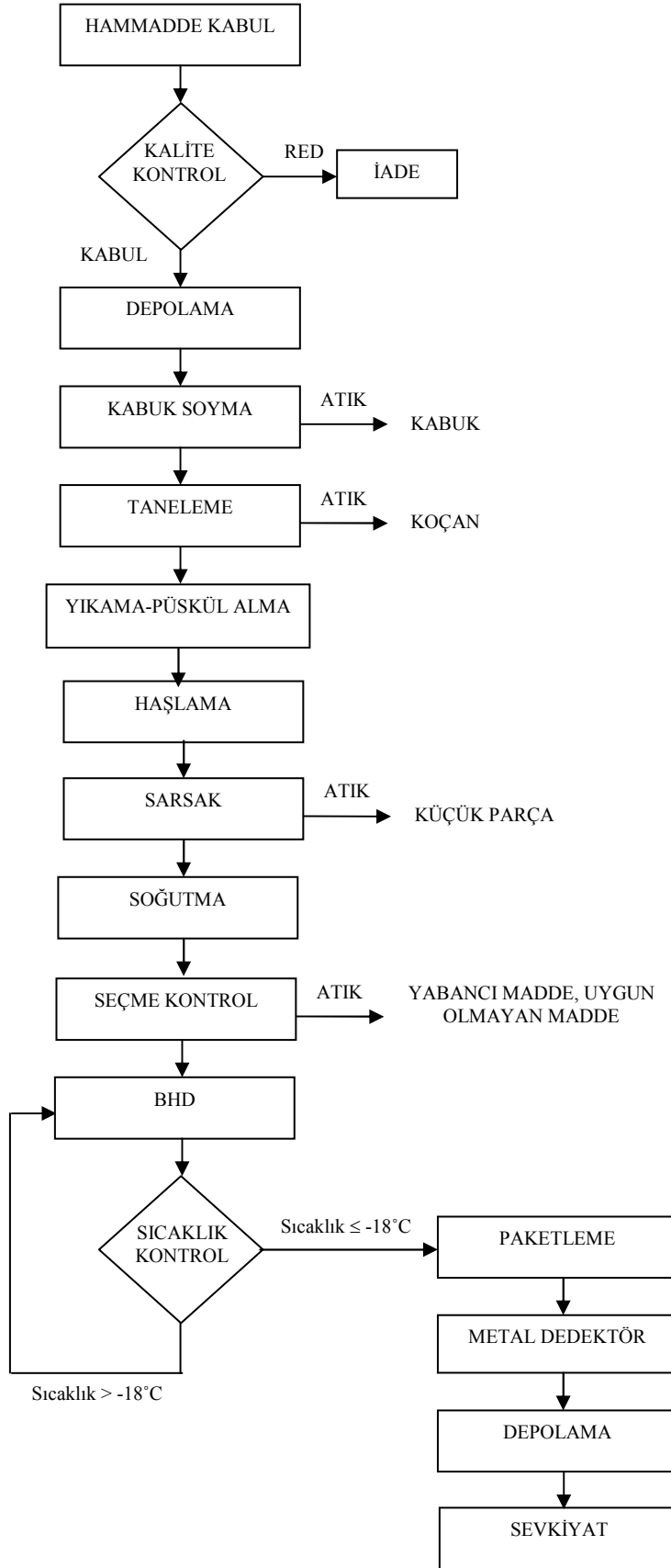
Ek 4: 2013 Yılı Desteklenmesine Karar Verilen Verimlilik Artırıcı Projeler (Anonim 2013a)

Sıra No	VAP Adı	Endüstriyel İşletme Adı	Projede Öngörülen Enerji Kazancı	
			kWh	TEP
1	Seramik Pişirme ve Kurutma Fırınlarındaki Isıların Geri Kazanılması	Altın Çini ve Seramik Sanayi Anonim Şirketi	26 791 663.00	2 304.08
2	Seramik Pişirme Fırınlarındaki Atık Isıların Geri Kazanılması	Umpaş Seramik Sanayii ve Ticaret Anonim Şirketi	28 632 533.81	2 462.40
3	Aydınlatma Enerji Verimliliği	Coşkunöz Radyatör ve Isı Sanayi ve Ticaret Anonim Şirketi	227 285.60	19.55
4	Mekanik Chiller Yerine Atık Isı Kullanan Absorbsiyonlu Chiller Kurulumu	Kastamonu Entegre Ağaç Sanayii ve Ticaret Anonim Şirketi Balıkesir Şubesi	1 893 773.00	162.86
5	Kompresörlerde Temizlik ve Enstrüman Hava Hatları Ayrımı ve Sürücü Uygulamaları	Kastamonu Entegre Ağaç Sanayii ve Ticaret Anonim Şirketi Balıkesir Şubesi	146 669.30	12.61
6	Printpan Üretim Hattı ve Depodaki Metal Halide Aydınlatma Armatürlerinin Sensörlü Yüksek Tavan Floresan Armatürü ile Değişimi	Kastamonu Entegre Ağaç Sanayii ve Ticaret Anonim Şirketi Balıkesir Şubesi	187 579.63	16.13
7	Elektrik Motorlarında Verimliliğin Artırılması	Şişecam Paşabahçe Cam Sanayi Anonim Şirketi Mersin Fabrikası	272 874.00	23.47
8	Elektrik Motorlarında Verimliliğin Artırılması	Şişecam Soda Sanayi Anonim Şirketi Kromsan Krom Bileşikleri Fabrikası	1 666 400.00	143.31
9	Sirkülasyon Pompalarının Yenilenmesi	Şişecam Soda Sanayi Anonim Şirketi Kromsan Krom Bileşikleri Fabrikası	4 536 267.00	390.12
10	Buhar Basınç Düşürme İstasyonunda Yerinden Üretim ile Verimliliğin Artırılması	Şişecam Soda Sanayi Anonim Şirketi Kromsan Krom Bileşikleri Fabrikası	5 257 000.00	452.10
11	2, 5, 9, 10 ve 25 Nolu Plantlarda Hatların İzolasyonu Değişimi	Türkiye Petrol Rafinerileri Anonim Şirketi İzmit Rafinerisi	9 567 250.11	822.78
12	Mevcut Elektrikli Pompa Motorlarının Verimli Elektrik Motorları ile Değiştirilmesi	Türkiye Petrol Rafinerileri Anonim Şirketi İzmit Rafinerisi	201 849.04	17.36
13	İzmit Kaferteryası Güneş Enerjisi ile Sıcak Su Temini	Türkiye Petrol Rafinerileri Anonim Şirketi İzmit Rafinerisi	163 841.20	14.09
14	F-1101A, F-1101B ve F-1201 Fırınlarında Yakıt ve Elektrik Tasarrufu Verimliliğin Artırılması Projesi	Türkiye Petrol Rafinerileri Anonim Şirketi Kırıkkale Rafinerisi	14 665 048.00	1 261.19
15	Gt-910 Gaz Türbini Giriş Havaasının Soğutulması Verimlilik Artırıcı Proje	Türkiye Petrol Rafinerileri Anonim Şirketi İzmir Rafinerisi	4 989 600.00	429.11
16	Aydınlatma Sistemlerinde Verimliliğin Artırılması	Modern Karton Sanayi ve Ticaret Anonim Şirketi	768 128.00	66.06
17	Elektrik Motorlarında Verimliliğin Artırılması	Şişecam Paşabahçe Cam Sanayi Anonim Şirketi Mersin Fabrikası	456 489.00	39.26

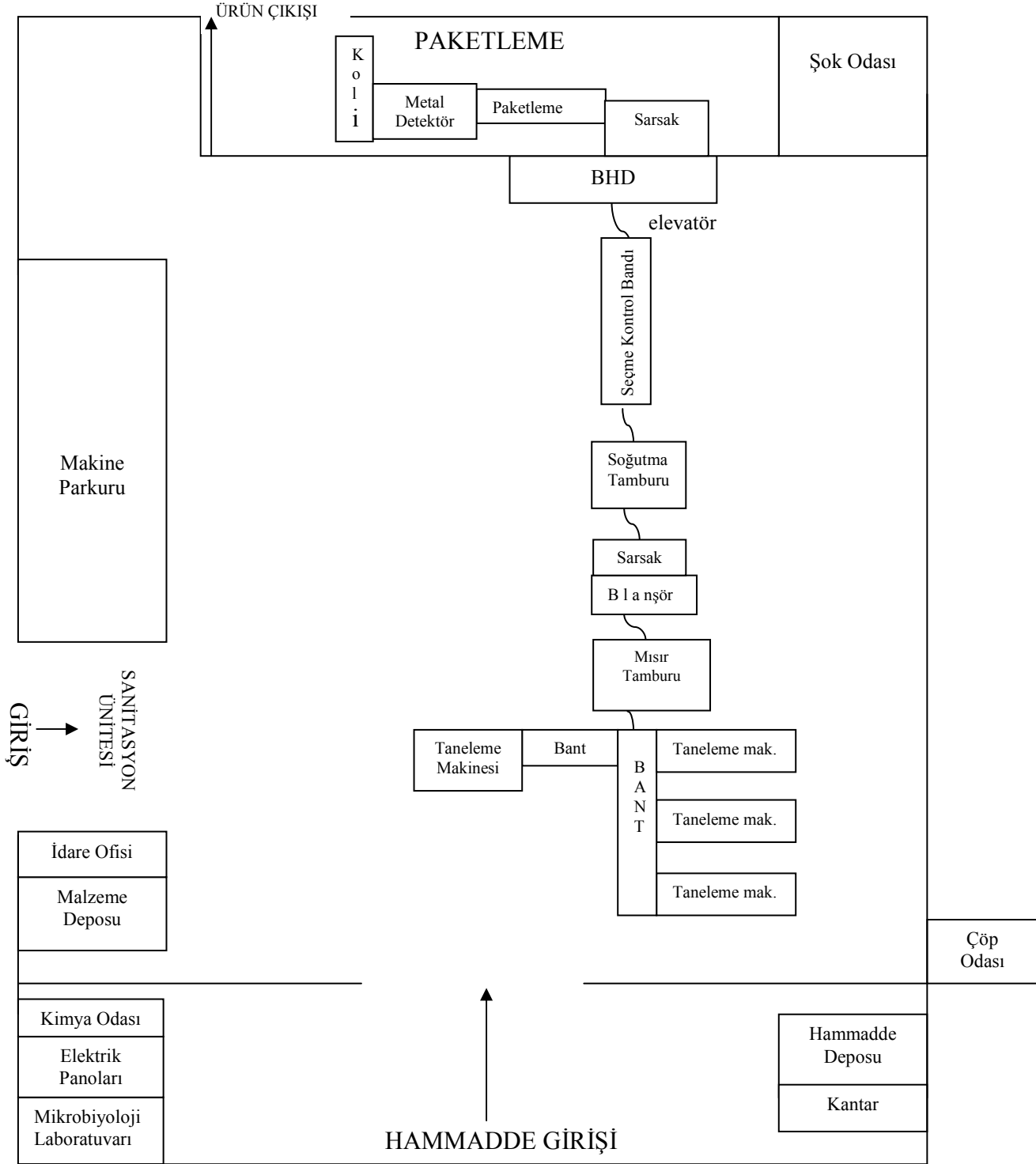
Ek 5: Kaynakların Alt Isıl Değerleri ve Petrol Eşdeğerine Çevrim Katsayıları (EIE 2014)

Miktar	Enerji Kaynağı	Yoğunluk	Isıl değer	Birim	Çevrim Katsayısı (TEP)
1 ton	Taşkömürü		6100	kcal/kg	0.610
1 ton	Kok Kömürü		7200	kcal/kg	0.720
1 ton	Briket		5000	kcal/kg	0.500
1 ton	Linyit teshin ve sanayi		3000	kcal/kg	0.300
1 ton	Linyit santral		2000	kcal/kg	0.200
1 ton	Elbistan Linyiti		1100	kcal/kg	0.110
1 ton	Petrokok		7600	kcal/kg	0.760
1 ton	Prina		4300	kcal/kg	0.430
1 ton	Talaş		3000	kcal/kg	0.300
1 ton	Kabuk		2250	kcal/kg	0.225
1 ton	Grafit		8000	kcal/kg	0.800
1 ton	Kok tozu		6000	kcal/kg	0.600
1 ton	Maden		5500	kcal/kg	0.550
1 ton	Elbistan Linyiti		1100	kcal/kg	0.110
1 ton	Asfaltit		4300	kcal/kg	0.430
1 ton	Odun		3000	kcal/kg	0.300
1 ton	Hayvan ve Bitki Artığı		2300	kcal/kg	0.230
1 ton	Ham Petrol		10500	kcal/kg	1.050
1 ton	Fuel Oil No: 4		9600	kcal/kg	0.960
1 ton	Fuel Oil No: 5	0.920 Kg/lt	10025	kcal/kg	1.003
1 ton	Fuel Oil No: 6	0.940 Kg/lt	9860	kcal/kg	0.986
1 ton	Motorin	0.830 Kg/lt	10200	kcal/kg	1.020
1 ton	Benzin	0.735 Kg/lt	10400	kcal/kg	1.040
1 ton	Gazyağı	0.780 Kg/lt	8290	kcal/kg	0.829
1 ton	Siyah Likör		3000	kcal/kg	0.300
1 ton	Nafta		10400	kcal/kg	1.040
bin m ³	Doğal Gaz	0.670 Kg/m ³	8250	kcal/m ³	0.825
1 ton	Kok Gazı		8220	kcal/kg	0.820
bin m ³	Kok Gazı	0.490 Kg/m ³	4028	kcal/m ³	0.403
1 ton	Yüksek Fırın Gazı		791	kcal/kg	0.080
bin m ³	Yüksek Fırın Gazı	1.290 Kg/m ³	1019	kcal/m ³	0.102
bin m ³	Rafineri Gazı		8783	kcal/m ³	0.878
bin m ³	Asetilen		14230	kcal/m ³	1.423
bin m ³	Propan		10200	kcal/m ³	1.020
1 ton	LPG		10900	kcal/kg	1.090
bin m ³	LPG	2.477 Kg/m ³	27000	kcal/m ³	2.700
bin kWh	Elektrik		860	kcal/kWh	0.086
bin kWh	Hidrolik		860	kcal/kWh	0.086
bin kWh	Jeotermal		8600	kcal/kWh	0.860

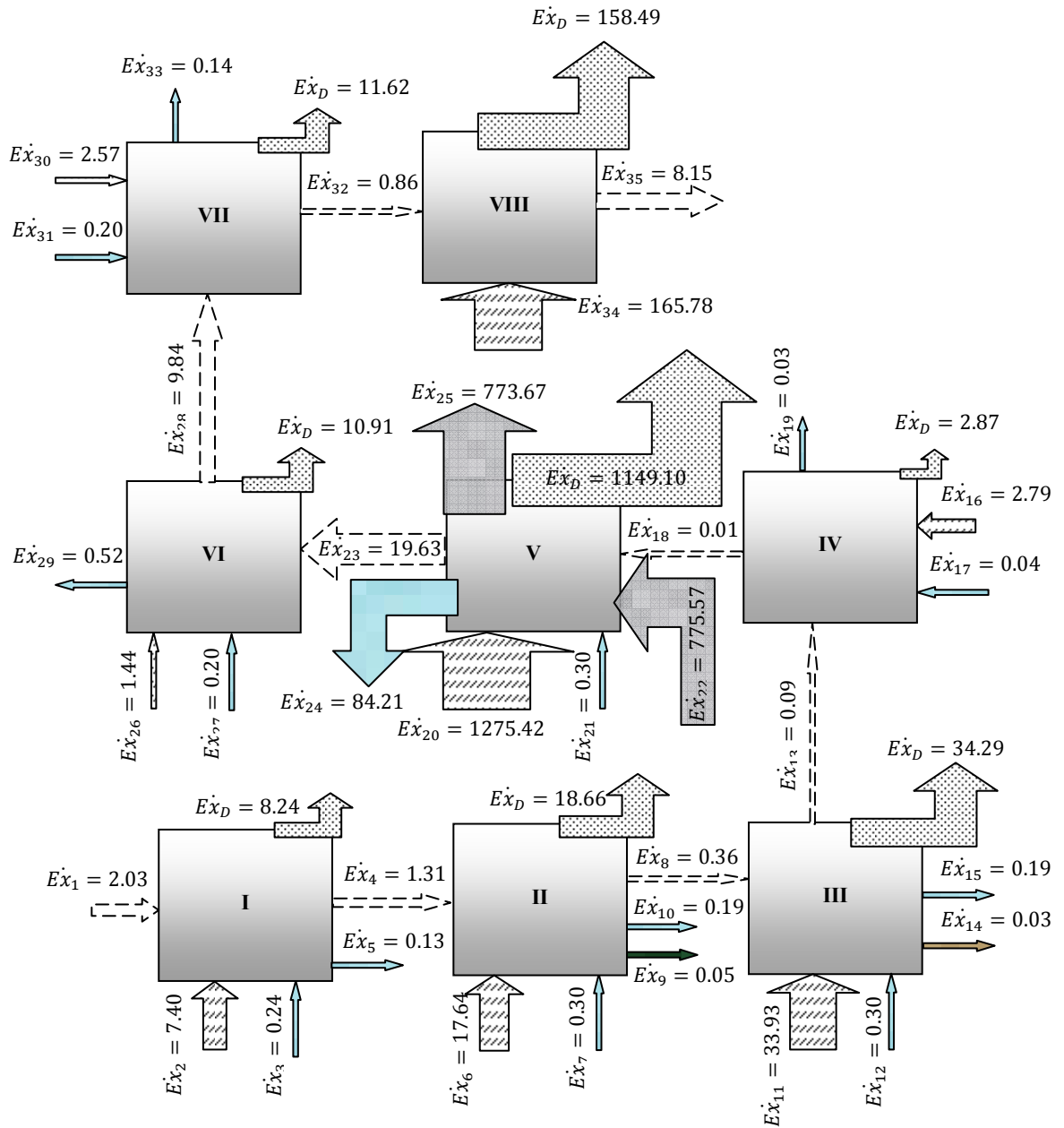
Ek 6: Dondurulmuş Mısır Üretim Prosesi Akış Şeması



Ek 7: Tesis Yerleşim Planı



Ek 8: Tüm üretim hattı için Grassmann Diyagramı (MJ/h)



ÖZGEÇMİŞ



Zeliha Deniz Alta 1981 yılında Antalya’da doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini Antalya’da tamamladı. 1999 yılında girdiği Uludağ Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Bölümü’nden 2003 yılında Endüstri Mühendisi olarak mezun oldu. 2003-2007 yılları arasında Akdeniz Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı’nda Yüksek Lisans öğrenimini tamamladı. 2008 yılında Akdeniz Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tarım Makinaları Anabilim Dalı’nda doktora öğrenimine başladı. 2003-2007 tarihleri arasında Akdeniz Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı’nda, 2008-2015 tarihleri arasında Akdeniz Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tarım Makinaları Anabilim Dalı’nda Araştırma Görevlisi olarak görev yaptı. Bir kitap yazarlığı, uluslar arası hakemli dergilerde ve kongrelerde çok sayıda makale ve bildirisi bulunmaktadır. Antalya Konyaaltı Belediyesi’nde Plan ve Proje Müdürlüğü’nde mühendis olarak çalışmaktadır.