

**T.C.
HİTİT ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**YOĞURT ÜRETİM TESİSİNİN ENERJİ / EKSERJİ VE
TERMOEKONOMİK ANALİZİ**

Yüksek Lisans Tezi

Kubilay MANTI

Çorum 2021

**YOĞURT ÜRETİM TESİSİNİN ENERJİ / EKSERJİ VE
TERMOEKONOMİK ANALİZİ**

Kubilay MANTI

**Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı**

Yüksek Lisans Tezi

**TEZ DANIŞMANI
Prof. Dr. Sinan ÇALIŞKAN**

Çorum 2021

Kubilay Mantı tarafından hazırlanan “Yoğurt üretim tesisinin enerji/ekserji ve termoeconomik analizi” adlı tez çalışması 06/05/2021 tarihinde aşığıdaki jüri üyeleri tarafından oy birliğı/oy çokluğu ile Hitit Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Makine Mühendisliğı Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Ali KILIÇARSLAN

Prof. Dr. Sinan ÇALIŞKAN

Doç. Dr. Mevlüt ARSLAN

Hitit Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Yönetim Kurulunun tarihli ve Sayılı kararı ile Kubilay Mantı’ nın Makine Mühendisliğı Anabilim Dalı’nda Yüksek Lisans derecesi alması onanmıştır.

Prof. Dr. Muhammed Asif YOLDAŞ
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürü

TEZ BEYANI

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını beyan ederim.

Kubilay Mantı

YOĞURT ÜRETİM TESİSİNİN ENERJİ / EKSERJİ VE TERMOEKONOMİK ANALİZİ

Kubilay MANTI

HİTİT ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

Mayıs 2021

ÖZET

Süt ve süt türevleri üretim tesisinde enerji, ekserji ve termoeconomik analiz büyük önem taşımaktadır. Türkiye'nin Orta Karadeniz Bölümü'ndeki Çorum ilinde yer alan endüstriyel ölçekli süt ve süt türevleri tesisinde yoğurt üretimini araştırmak için kapsamlı ve detaylı bir enerji, ekserji ve termoeconomik analiz yapılmıştır. Tesisin üretim hattı bir bütün olarak detaylandırılmıştır. Üretim hattındaki her bir cihazın enerji, ekserji ve termoeconomik analizler yapılmıştır ve grafikler üzerinde karşılaştırılmıştır. Elde edilen veriler ışığında, enerji ve ekserji verimliliklerinin en yüksek olduğu aşamalar sırasıyla yenileme aşaması (% 98,15) ve ilk soğutucu aşaması (% 81,07) olmuştur. Ancak, enerji kaybının en yüksek olduğu durum ise yoğurt üretim hattında var olan su tankı aşamasında (41,799 kW) gerçekleşmiştir. Termoeconomik analizde ise, üretim tesisinde her aşamanın ilk kurulum maliyetleri göz önünde bulundurularak hesaplamalar yapılmış ve sonuçlar elde edilmiştir. En yüksek maliyet süt depolama tankı aşamasında ortaya çıkmıştır. Hesaplamalar doğrultusunda malzeme işlemenin süt depolama tankında en pahalı olduğu (% 67,16) ardından sırasıyla, pompalar, süt denge tankı, ısıtma tankı, krem ayırıcı ve eşanjör aşamalarının takip ettiği belirlenmiştir. Toplam işletme ve bakım onarım maliyet analizinde en yüksek değer ilk soğutucu aşamasında bulunmuştur. İlk soğutucu aşamasını eşanjör ve yenileme aşaması takip etmiştir. İlk soğutucu tankı toplam işletme maliyeti, toplam termoeconomik analiz miktarının % 72,99'unu oluşturmuştur. Tesisin ana birimleri içerisinde, yenileme aşaması % 10,78'ini, ısıtma aşaması ise % 4,94'ünü oluşturmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Enerji; Ekserji; Ekserji verimliliği; Ekserji kaybı; Termo-ekonomik



ENERGY / EXERGY AND THERMOECONOMIC ANALYSIS OF YOGURT PRODUCTION FACILITY

Kubilay MANTI

HİTİT UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF EDUCATION INSTITUTE

May 2021

ABSTRACT

Energy, exergy and thermoeconomic analysis are of great importance in the milk and milk derivatives production facility. Detailed comprehensive Energy, Exergy and thermoeconomic analysis is made to investigate the production of yogurt in the milk and milk derivatives facility which is industrial-scale plant located in Çorum province, in the middle of Black Sea Region of Turkey. The whole of the production line of the facility is detailed as step by step. Energy, exergy and thermoeconomic analyzes of each device in the production line were made and also comparative analyzes were made on the graphs. According to provided data, the highest stages of energy and exergy efficiencies were in the renewal (98.15%) and the first cooler (81.07%) respectively. However, the highest energy loss stage in the line of yogurt production was in the water tank(41.799 kW). In the thermoeconomic analysis, considering initial installation cost value of each stage in the production plant, calculations were performed and obtain the results. The highest cost of yogurt production was arisen in the milk storage tank. In the taking the consideration of calculations, it was shown that material processing was the most expensive in the milk storage tank (67.16%), followed by pumps, milk balance tank, heating tank, cream separator and heat exchanger stages in sequence. In the total operating and maintenance cost analysis, the highest value was found in the first cooler stage. Moreover the first cooler stage was followed by the heat exchanger and renewal stage. Total operation cost of first cooler tank was constituted of 72.99% in the thermoeconomic analysis. Among the main units of the facility, the renewal stage constitutes of 10.78% and the heating stage constitutes of 4.94%.

Keywords: Energy; Exergy; Exergy efficiency; Loss of exergy; Thermo-economical

TEŞEKKÜR

Hitit Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü tez danışmanım Sayın Prof. Dr. Sinan ÇALIŞKAN'a, Hitit Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü Başkanı Sayın Prof. Dr. Ali KILIÇARSLAN'a, Bozok Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü öğretim üyesi Doç. Dr. Mevlüt ARSLAN'a ve Dalgıçlar Eren Gıda süt ve süt ürünleri fabrikasına yardımları, emekleri ve sabırları için teşekkürü bir borç bilirim.



İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	vi
TEŞEKKÜR.....	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ	x
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xi
RESİMLER DİZİNİ.....	xii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ	xiii
1. GİRİŞ	1
1.1 Türkiye Süt Sektörü	4
1.1.1. Büyükbaş ve küçükbaş varlığı	4
1.1.2. Sağılan hayvan varlığı ve süt üretimi.....	7
1.2. Süt Sığırcıları İşletmeleri	8
1.3. Süt Ürünleri Üretimi	9
1.3.1. İçme sütü üretimi.....	9
1.3.2. Peynir üretimi.....	11
1.3.3. Tereyağı üretimi	112
1.3.4. Süt tozu	13
1.3.5. Ayran.....	15
1.3.6. Yoğurt	16
2. KURAMSAL TEMELLER VE KAYNAK ARAŞTIRMASI.....	21
3. MATERYAL VE YÖNTEM	38
3.1. Fabrika üretim aşamaları ve kullanılan makinelerin tanıtılması	38
3.1.1. Yoğurt üretim aşamaları.....	38
3.1.2. Üretim tesisindeki yoğurt üretim aşamaları	45
3.2. Kabuller.....	55
3.2.1. Belirsizlik analizi	56
3.3. Termodinamik Analiz	56
3.3.1. Enerji ve ekserji analizi.....	57
3.3.2. Termo-Ekonomik analiz	670
3.3.3. Performans parametreleri	70
4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA	73
4.1. Termodinamik Analiz.....	73
4.1.1. Sonuçlar ve karşılaştırmalı analiz	76
4.2. Termoekonomik Analiz	81
5. SONUÇLAR	88

KAYNAKLAR 92



ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 1.1. Dünya’da üretilen ve sanayiye aktarılan inek ve manda süt üretimi	3
Çizelge 1.2. Yıllara ve türlerine göre çiğ süt üretimi	6
Çizelge 1.3. Sağılan hayvan miktarı, süt miktarı ve hayvan başına ortalama süt verimleri	8
Çizelge 1.4. Yıllara ve ölçeklere göre süt sığırcılığı işletme sayı ve payları	9
Çizelge 1.5. Türkiye tereyağı arzı ve kullanımı	12
Çizelge 1.6. Türkiye süt tozu arzı ve kullanımı	14
Çizelge 1.7. Dünya süt tozu üretimi, tüketimi ve ticareti	15
Çizelge 1.8. Türkiye ayran arz ve kullanımı	16
Çizelge 1.9. Türkiye yoğurt arz ve kullanımı	20
Çizelge 3.1. Ölçülen Büyüklüklerdeki Belirsizlikler	56
Çizelge 3.2. Enerji ve ekserji analizleri kullanılan formüller	59
Çizelge 3.3. Yoğurt üretim tesisi alt birimleri için enerjistik ve ekserjistik formülasyonlar	60
Çizelge 3.4. Termoekonomik analizle ilgili faktörler	71
Çizelge 3.5. Süt ve süt türevlerinin özgül ısı ilişkisi	72
Çizelge 4.1. Yoğurt üretim tesisinin tüm durum noktaları için enerji ve ekserji değerleri	74
Çizelge 4.2. Yoğurt üretim tesisinin tüm bileşenlerinin enerji analizi	75
Çizelge 4.3. Yoğurt üretim tesisinin tüm bileşenlerinin ekserji analizi	76
Çizelge 4.4. İlk sermaye yatırımı ile ilişkili maliyet oranları ve yoğurt üretim tesisinin alt bileşenleri için işletme ve bakım maliyetleri	83

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil	Sayfa
Şekil 1.1. Türkiye'de yıllara göre büyükbaş ve küçükbaş hayvan sayıları	5
Şekil 1.2. Toplam inek sütü üretimi ve entegre süt işletmeleri tarafından toplanan inek sütü miktarı	7
Şekil 1.3. Yıllara göre içme sütü üretimi	10
Şekil 1.4. Yıllara göre peynir üretimi.....	11
Şekil 1.5. Türkiye ayran arzı ve kullanımı.....	16
Şekil 1.6. Türkiye'de yoğurt ve ayran üretimi.....	18
Şekil 1.7. Türkiye yoğurt arz ve kullanımı grafiği.....	20
Şekil 3.1. Dalgıçlar - Eren gıda yoğurt üretim hattı bütün şeması.....	51
Şekil 3.2. Yoğurt üretim hattı 1. aşaması.....	52
Şekil 3.3. Yoğurt üretim hattı 2. aşaması.....	53
Şekil 3.4. Yoğurt üretim hattı 3. aşaması.....	53
Şekil 3.5. Yoğurt üretim hattı 4. aşaması.....	54
Şekil 4.1. Yoğurt üretim tesisinin her bir alt birimi için karşılaştırmalı enerji ve ekserji verimliliği analizi	77
Şekil 4.2. Yoğurt üretim tesisinin her bir birimi için ekserji kaybı ve ekserji yıkımı karşılaştırmalı analizi	79
Şekil 4.3. Yoğurt üretim tesisinin spesifik ekserji tüketimine ısı ve elektrik enerjisi yüzdelik tüketimi karşılaştırılması	80
Şekil 4.4. Yoğurt üretim tesisinin spesifik ekserji tüketimine ısı ve elektrik enerjisi yüzdelik tüketimi dairesel karşılaştırılması	81
Şekil 4.5. Yoğurt üretim tesisinin her bir bileşeni için yüzde göreceli maliyet farkı	84
Şekil 4.6. Yoğurt üretim tesisinin her bir bileşeni için toplam işletme maliyet oranı	85
Şekil 4.7. Yoğurt üretim sürecinin Grassmann Diyagramı.....	86
Şekil 4.8. Yoğurt üretim sürecinin Sankey Diyagramı	87

RESİMLER DİZİNİ

Resim	Sayfa
Resim 3.1. Çiğ süt tankları.....	39
Resim 3.2. Kuru Madde Standardizasyonu Tankı	40
Resim 3.3. Pastörize Hatları.....	41
Resim 3.4. Yoğurt Dolum Tankı.....	42
Resim 3.5. Yoğurt Mayalama Tankı.....	42
Resim 3.6. Yoğurt Dolum Ünitesi	43
Resim 3.7. İnkübasyon Odası.....	43
Resim 3.8. İnkübasyon Sonrası Soğutma Odası	44
Resim 3.9. İlk Soğutucu Eşanjör.....	45
Resim 3.10. Süt Depolama Tankı	444
Resim 3.11. Denge Tankı.....	47
Resim 3.12. Yenileme ve Isı Eşanjörü.....	47
Resim 3.13. Krema Ayırıcı	48
Resim 3.14. Su Tankı.....	49
Resim 3.15. Pompalar	49

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

Simgeler	Açıklama
AC	Alt Birimin Yıllık Maliyeti
\dot{C}	Maliyet Akış Hızı (TL/MJ)
c	Ekserjitik Maliyeti (TL/MJ)
$C_{f,k}$	Birim Ekserjitik Yakıt Maliyeti (TL/MJ)
$C_{p,k}$	Birim Ekserjitik Ürün Maliyeti (TL/MJ)
C_p	Özgül Isı (kJ/kgK)
CRF	Sermaye Kurtarma Faktörü
$D_{D,k}$	Ekserji Yıkımı Maliyet Oranı (TL/H)
\dot{E}	Enerji (kJ /s)
\dot{E}_φ	Enerji Çıkış (kJ / s)
\dot{E}_g	Enerji Giriş (kJ / s)
\dot{E}_k	Enerji Kaybı
\dot{E}_L	Enerji Kaybı Oranı (kW)
$E_{\beta,k}$	Bağlı Enerji Kaybı Oranı (%)
$E_{X\beta,k}$	Bağlı Ekserji Yıkımı Oranı (%)
$E_{f,k}$	Enerjitik Faktör (%)
$E_{Xf,k}$	Ekserjitik Faktör (%)
ex	Özgül Enerji (kJ/kg)
\dot{E}_X	Ekserji Oranı (kW)
\dot{E}_{Xg}	Ekserji Giriş (kW)
$\dot{E}_{X\varphi}$	Ekserji Çıkış (kW)
\dot{E}_{Xb}	Göreceli Tersinmezlik Faktörü
$\dot{E}_{X,yo}$	Ekserji Yok Etme Oranı (kW)
E_{ip}	Enerji İyileştirme Potansiyeli (kW)
E_{Xip}	Ekserji İyileştirme Potansiyeli (kW)
f	Bileşenin Eksergoekonomik Faktörü
F	Yakıt Ekserji Oranı (kW)
h	Özgül Entalpi (kJ/kg)

i	Yıllık Faiz Oranı
H	Saat
I	Faiz Oranı (%)
J	Kurtarma Değeri Oranı
k	Herhangi bir bileşen
k_e	Kinetik Enerji
kWh	Kilowatt Saat
kJ / kg	Kilogram Başına Kilojoule
\dot{m}	Kütle Debisi (kg/s)
n	Tesisin Faaliyette Olduğu Yıl Sayısı
P	Basınç (Bar)
P_0	Dış Basınç (Bar)
p_e	Potansiyel enerji
PE	Fiziksel Enerji
PEC	Satın Alma Ekipman Maliyeti (TL)
PRCD	Yüzde Göreceli Maliyet Farkı
PWF	Mevcut Değer Faktörü
PW	Bileşen Mevcut Değeri
r	Yüzde Göreceli Maliyet Farkı (%)
R	Hindistan Rupisi
s	Spesifik Entropi (kJ/kg K)
S	Entropi (kJ/K)
SI	Sürdürülebilirlik Endeksi
T	Sıcaklık (K)
T_0	Dış Ortam Sıcaklık (K)
TL / MJ	Mega-Joule başına Türk Lirası
TL / H	Türk Lirası / Sabit Değer (11795,55 / R)
TCI	Toplam Yatırım Maliyeti (TL)
TOCR	Toplam İşletme Maliyet Oranı (TL/H)
v	Özgül Hacim (m^3/kg)
W	Çalışma Oranı (kW)
\dot{W}	Elektrik İşi

\dot{Z}_T	Sermaye Yatırımı, İşletme ve Bakım Maliyeti İle İlişkili Seviyelendirilmiş Maliyet Oranı (TL/H)
\dot{Z}_{CI}	Sermaye Yatırımı ile İlişkili Seviyelendirilmiş Maliyet Oranı (TL/H)
\dot{Z}_{OM}	İşletme ve Bakım Maliyetiyle İlişkili Seviyelendirilmiş Maliyet Oranı (TL/H)
Q	Isı Enerjisi
ε	Ekserji Verimliliği (%)
η	Enerji Verimliliği (%)
ρ	Akışkan yoğunluğu
0	Ölü Durum

Kısaltmalar

Ç	Çıkış
ÇSİ	Çiğ Süt İşlenmesi
SDT	Süt Depolama Tankı
DET	Denge Tankı
DPI	Dolum-Paketleme İşlemi
E	Eşanjör
Eİ	Evaporasyon İşlemi
G	Giriş
Hİ	Homojenizasyon İşlemi
I	Isıtma Aşaması
İSE	İlk Soğutucu Eşanjör
KA	Krem Ayırıcı
KDT	Krem Depolama Tankı
P	Pompa
PDİ	Proses Dolum İşlemi
PIE	Plakalı Isıtıcı Eşanjör
PI	Pastorizasyon İşlemi
SDT	Süt Depolama Tankı
SDET	Süt Denge Tankı
SEİ	Sevkiyat İşlemi
SİŞ	Soğutma İşlemi
SKA	Süt Kreması Ayırıcı
ST	Su Tankı
STİ	Standardizasyon İşlemi
TB	Tutma Bobini
Tİ	Termizasyon İşlemi
ÜKİ	Ürün Kontrolü İşlemi
VP	Vidalı Pompa
Y	Yenileme Aşaması
YIE	Yenileme ve Isı Eşanjörler

1. GİRİŞ

Dünya'daki süt ve süt türevlerinden elde edilen ürünler son 40 yılda özellikle 1970'li yılların son bir, iki yılından itibaren gelişme göstermeye başlamıştır. Buna istinaden Dünya'daki tüketimi ve bu ürünler ile yapılan ticareti de artırmıştır. Bu yıllardaki süreçte Dünya'da peynir ve terayağ ticareti yaygın iken günümüzde ise yoğurt, dondurma, süt tozu vb. Dünya ticaretinde önemli bir yer tutmuştur (Terin, 2014).

İnsan gıdası için faydalı olan süt, sağlık açısından elverişli şartlarda elde edilmediği, muhafaza edilmediği, işlenmediği, gerekli deneysel çalışmalar yapılmadığı zaman insan sağlığı açısından zararlı olabilmektedir. Çiğ süt, çok sayıda bakteri içermediği halde dışardan bulaşabilecek çok sayıda bakterilerin etkisi ile çabuk bozulabilmektedir. Bundan ötürü çiğ süt insan için direk gıda maddesi olarak tüketilmeye uygun değildir.

Dünya'da 1990-94 yılları arasında yaklaşık 532,63 milyon ton süt üretilmektedir. Veriler 2010 yılında ise % 35,77'lik yükselme ile 723,14 milyon tona yükselmiştir. Hindistan 2010 121,84 milyon süt üretiminde birinci sırada yer almıştır. Bu sıralamada başı çeken diğer üretici ülkeler ABD, Çin, Pakistan ve Rusya'dır. Yapılan bu araştırma içerisinde en fazla artış gösteren ülke % 420,09 ile Hindistan olmuştur. Artış sıralaması ise % 117,44'lük artışla ABD ve % 104,22'lik artışla Çin öne çıkmıştır. Araştırmalar yapılan süreçte seçilmiş olan Dünya önde gelen ülkeler arasında Hollanda, Ukrayna, İtalya, Meksika, Arjantin ve Kanada süt üretim miktarında azalış gösteren ülkelerdir. Bunların içerisinde üretimindeki payında en fazla azalma gösteren ülke % 39,23 ile Arjantin olmuştur.

Türkiye'de orta, yüksek ve en yüksek gelir grubundaki hanelerin gıda talep sistemlerinde ters Mills oranı, et, balık, süt, peynir, yumurta, hayvansal ve bitkisel yağlar gruplarında pozitif işaretli ve istatistiksel olarak % 5 önem düzeyinde anlamlı hesaplanmıştır. Buradan, orta, yüksek ve en yüksek gelir grubunda yer alan potansiyel tüketici hanelerin, et, balık, süt, peynir, yumurta, hayvansal ve bitkisel yağlar

gruplarının kapsadığı ürünlere yaptıkları harcamayı artırma eğiliminde olacakları sonucu çıkartılabilir. Gelir artışı ile birlikte nicel anlamda yeterli düzeyde gıda tüketen haneler daha sağlıklı ve kaliteli ürünlerin tüketimine yönelirler. Bu bağlamda, yüksek gelir gruplarında hem görece olarak fiyatları yüksek olan, hem de sağlıklı ürünler kategorisinde yer alan et, balık, süt, peynir ile hayvansal ve bitkisel yağlar grubunda yer alan zeytinyağı gibi ürünlerin tüketimlerinin artması beklenilmektedir (Şengül, 2004).

Türkiye'nin ise süt üretim miktarı yıllara göre 1990-1994 yılları ortalamasında 10,22 milyon ton; 1995-1999 yılları ortalamasında 10,29 milyon ton; 2000-2004 yılları ortalamasında 9,79 milyon ton; 2005-2009 yılları ortalamasında 12,03 milyon ton ve 2010 yılında ise 13,60 milyon tondur. Türkiye'nin süt üretim miktarı yıllar içerisinde sürekli bir artış eğilimindedir (Kart; Demircan, 2013).

Dünya'da 2017 yılında inek sütü üretimi % 2,2 artış göstermiştir. Sanayiye aktarılan süt miktarı ise 507 milyon ton artış göstermiştir. Sanayiye aktarılan inek sütü miktarı her ne kadar Dünya genelinde yükseliş gösterse de, aktarılan miktarın üretimdeki yüzdesi her geçen dönemde azalış göstermektedir. Örnek vermek gerekirse sanayiye aktarılan inek sütü miktarında birinci sırada yer alan % 5,2 ile Afrika'da sırasıyla % 4,1 ile Doğu Avrupa ve CIS ülkelerinde ve % 3,1 ile Güney Amerika takip etmiştir (Anonim, 2018).

Ülkelerin 2017 yılı inek ve manda sütü üretimi (Ulusal süt konseyi raporu 2018) milyon ton olarak dağılımı Çizelge 1.1'de verilmiştir.

Çizelge 1.1. Dünya’da Üretilen İnek ve Manda Süt Üretimi

Sıra No	Ülke	İnek Ve Manda Sütü Üretimi (milyon ton)
1	Hindistan	186,4
2	ABD	94,5
3	Pakistan	45,8
4	Brezilya	35,1
5	Almanya	33,4
6	Çin	32,9
7	Fransa	24,9
8	Yeni Zelanda	24,4
9	Türkiye	17,4
10	Rusya Federasyonu	16,9
11	Birleşik Krallık	15,7
12	Hollanda	15,5
13	Polonya	13,7
14	İtalya	12,6
15	Meksika	12,2
16	Avustralya	10
17	Arjantin	9,9
18	İran	9,8
19	Ukrayna	9,7
20	Kanada	9,5
AB-28		168,9

Çizelge 1.1. Sanayiye Aktarılan İnek ve Manda Süt Üretimi (Devamı)

Sıra no	Ülke	Sanayiye aktarılan inek ve manda sütü (milyon ton)
1	Hindistan	94,1
2	ABD	31,9
3	Pakistan	30,6
4	Brezilya	27,2
5	Almanya	24,6
6	Çin	24,5
7	Fransa	24,4
8	Yeni Zelanda	16,9
9	Türkiye	15,3
10	Rusya Federasyonu	15,2
11	Birleşik Krallık	11,6
12	Hollanda	11,2
13	Polonya	9,7
14	İtalya	9,2
15	Meksika	8,8
16	Avustralya	8,5
17	Arjantin	8,4
18	İran	7,7
19	Ukrayna	7,5
20	Kanada	7,2
AB-28		157
DÜNYA		507,3

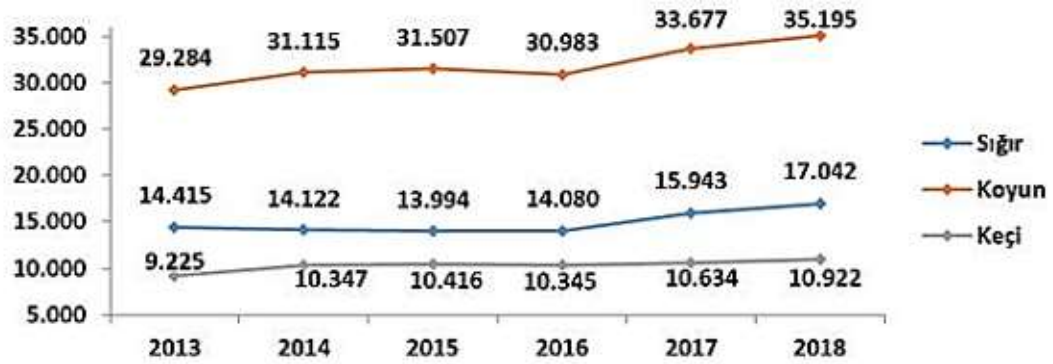
1.1. Türkiye Süt Sektörü

1.1.1. Büyükbaş ve küçükbaş varlığı

1980 yılından 1990 yılına kadar süren bütün hayvan ürünlerindeki yükseliş 1990 yılından itibaren tam tersi bir eğilim göstermiştir. Küçükbaş türünden üretilen süt oranı 20 yıl önce % 17'yi bulmuştur. Keçilerin doğal yaşama verdiği tahribat göz önüne alınarak devlet politikası gereği desteklenmemesi, manda üretiminde ise devletin destekleyici bir yönelim göstermemesi, ülkenin tek mandacılık enstitüsünün kapatılması, Türkiye'de gözle görülür bir keçi ve manda kaybı görülmüştür. Koyunların rakamsal azalma sebepleri de sağlıkta kolesterol artışına sebep olması ve diğer çeşitli nedenler gerekçesi ile üretiminde düşüş göstermiştir. Elde olan diğer hayvan endüstrisindeki damızlık hayvan, canlı hayvan ve karkas et ithatları endüstrisi negatif yönde yönelim göstermiştir (Anonim, 2018).

TÜİK verilerine göre 2011 yılından olmak üzere hayvan popülasyonunda yükseliş gözlemlenmiştir. Son yedi yılda üretime sunulan destekler ile yükselmeler gözlemlenmiştir. Bu yedi yıllık periyod sürecinde sığır popülasyonu % 18,2 yükselerek 17 milyon başın üzerine, koyun popülasyonu % 20 yükselerek 35,1 milyon başa ve keçi popülasyonu da % 18,4 oranında yükselerek 10,9 milyon başa yükselmiştir (Anonim, 2018).

Türkiye’de yıllara göre büyükbaş ve küçükbaş hayvan sayıları (bin baş) Şekil 1.1’de verilmiştir.



Şekil 1.1. Türkiye’de yıllara göre büyükbaş ve küçükbaş hayvan sayıları (Ulusal Süt Konseyi Raporu 2018)

Türkiye’de 2018 yılında sahip olunan türlerin hepsinden alınan toplam süt üretim miktarı 2017 yılına oranla % 6,9 yükselerek 22,12 milyon ton olarak elde edilmiştir. Türlelere göre 2018’de yaklaşık 22,1 milyon ton olan toplam üretimin 20 milyon tonunu (% 90,6) inek sütü, 1,4 milyon tonunu (% 6,5) koyun sütü, 561 bin tonunu (%2,5) keçi sütü ve 75 bin tonunu (% 0,3) manda sütünden elde edilmiştir. Türkiye’de yıllara göre süt ve süt türevlerinden alınan toplam süt miktarının TÜİK vasıtasıyla ay ay ticari süt işletmeleri aracılığı ile elde edilen süt miktarı ile ilgili veriler oluşturularak sunulmuştur. Bu verilere göre, 2018 yılında elde edilen inek sütü miktarı 2017 yılına göre % 10 yükselerek 10,034 milyon ton olarak belirtilmiştir. Bu amaçla Türkiye’de en büyük olan sorun kayıt dışı elde edilen üründür. 2012 yılında inek sütü üretimindeki kayıtlılık oranı % 49,6 iken, 2018 yılında bu oran % 50 olarak hesaplanmıştır. Ülkemizde elde edilen toplam süt baz alınarak ineğin elde edilen toplam süt koyun, keçi ve mandadan elde edilen toplam süt miktarından fazla olmuştur (Anonim, 2018).

Yıllara ve türlerine göre çiğ süt üretimi (Ulusal süt konseyi raporu 2018) Çizelge 1.2'de verilmiştir.

Çizelge 1.2. Yıllara ve Türlerine Göre Çiğ Süt Üretimi

Yıl	Sığır		Manda		Koyun		Keçi		Toplam
	Ton	Pay (%)	Ton	Pay (%)	Ton	Pay (%)	Ton	Pay (%)	
2000	8.732.000	89,19	67.300	0,69	774.400	7,91	216.300	2,21	9.790.000
2009	11.583.313	92,35	32.443	0,26	734.219	5,85	192.210	1,53	12.542.186
2010	12.418.544	91,69	35.487	0,26	816.832	6,03	272.811	2,01	13.543.674
2011	13.802.428	91,7	40.372	0,3	892.822	5,9	320.588	2,1	15.056.211
2012	15.977.838	91,8	46.989	0,3	1.007.007	5,8	369.429	2,1	17.401.262
2013	16.655.009	91,4	51.947	0,3	1.101.013	6,0	415.743	2,3	18.223.712
2014	16.998.850	91,2	54.803	0,3	1.113.937	6,0	463.270	2,5	18.630.859
2015	16.933.520	90,8	62.761	0,3	1.177.228	6,3	481.174	2,6	18.654.682
2016	16.786.263	90,8	63.085	0,3	1.160.413	6,3	479.401	2,6	18.498.161
2017	18.762.319	90,6	69.401	0,3	1.344.779	6,5	523.395	2,5	20.699.894
2018	20.036.716	90,6	75.742	0,3	1.446.271	6,5	561.826	2,5	22.120.716

Toplam inek sütü üretimi ve entegre süt işletmeleri tarafından toplanan inek sütü miktarı (x1000 ton) Şekil 1.2'de verilmiştir.



Şekil 1.2. Toplam inek sütü üretimi ve entegre süt işletmeleri tarafından toplanan inek sütü miktarı (Ulusal Süt Konseyi Raporu 2018)

1.1.2 Sağılan hayvan varlığı ve süt üretimi

Ülkemizde hayvan bakımı ve besleme şartlarının geliştirilmesi ve üreticilerin bilinçlendirilmesi, üreticilerin tecrübe kazanması ile birlikte ülkemizdeki hayvan sayısı ve hayvanlardan elde edilen süt veriminin artması sağlanmıştır. Bu süreçte ve ilerleyen süreçte yapılan çalışmalar, alınan eğitimler ve elde edilen tecrübeler neticesinde en büyük gelişme inek sütünden elde edilmiştir. 1990 yılında 1351 kg olan hayvan başına üretim verimliliği geçtiğimiz son beş yıl içerisinde % 6,4 gelişerek 2018-2019 yılı periyodunda 3161 kg/baş olarak hesaplanmıştır. Ülkemizdeki bu veriler son yıllarda gelişme göstermesine rağmen AB devletlerine göre yine de geride kalmıştır. Nitekim AB verilerine göre elde edilen değerler ülkemizdeki değerlere göre nerdeyse 2 kat oranına yakın olarak gözlemlenmiştir (Anonim, 2018).

Sağılan hayvan miktarı, süt üretim miktarı ve hayvan başına ortalama süt verimleri (Ulusal süt konseyi raporu 2018) Çizelge 1.3'te verilmiştir.

Çizelge 1.3. Sağılan Hayvan Miktarı-Süt Miktarı ve Hayvan Başına Ortalama Süt Verimleri

Yıl	İnek			Koyun			Keçi		
	Sağılan Hayvan (Baş)	Süt Üretimi (Bin Ton)	Süt Verimi (Kg/Baş/Yıl)	Sağılan Hayvan (Baş)	Süt Üretimi (Bin Ton)	Süt Verimi (Kg/Baş/Yıl)	Sağılan Hayvan (Baş)	Süt Üretim (Bin Ton)	Süt Verimi (Kg/Baş/Yıl)
2000	5.279.569	8.732	1.654	15.920.159	774	49	3.792.707	216	57
2010	4.384.130	12.418	2.847	10.583.608	816	77	2.582.539	272	106
2011	4.761.142	13.802	2.899	11.561.144	892	77	3.033.111	320	106
2012	5.431.400	15.977	2.942	13.068.428	1.007	77	3.502.272	369	105
2013	5.607.272	16.655	2.970	14.287.237	1.101	77	3.943.318	415	105
2014	5.609.240	16.998	3.030	14.524.264	1.113	77	4.400.168	463	105
2015	5.535.773	16.933	3.059	15.362.927	1.177	77	4.578.494	481	105
2016	5.431.714	16.786	3.090	15.149.414	1.160	77	4.555.105	479	105
2017	5.969.046	18.762	3.143	17.503.414	1.344	77	4.963.581	523	105
2018	6.337.907	20.036	3.161	18.819.284	1.446	77	5.327.166	561	105

1.2. Süt Sığırcıları İşletmeleri

Ülkemizde bu ilgili işletmeden elde edilen verilere göre süt üretiminde küçük ölçekli aile işletmelerinin sayıları oldukça yüksek olduğu gözlemlenmiştir. Türkiye’de çiğ süt üreten süt sığırcı işletmesi rakamsal değeri farklı ülkelere oranla oldukça yüksek olmasına karşın işletme başına düşen hayvan sayıları oranında baya geride olduğu gözlemlenmiştir. Ülkemizdeki süt işleme tesisleri, kapasiteleri, teknolojileri ve diğer karşılaştırılabilir özellikleri itibariyle oldukça karmaşık bir yapı göstermektedir. Bunlar arasında çok modern imkanlara sahip işletmeler bulunmakla birlikte, çok ilkel koşullarda çalışan mandıra tipi işletmelere de sıkça rastlanmaktadır (Büyükkılıç ve Arpacıoğlu, 1990).

Geçtiğimiz son 10 yılda devlet desteği ile büyük işletmeler açılmasına karşı çiğ süt fiyatlarının belli bir oranı ve standardı yakalayamaması sonucu çoğu kapanmıştır.

Günümüzde Ulusal Süt Konseyi çiğ süt fiyatını 2 lira olarak belirlese de üretici 2 liradan daha düşük fiyatlardan tüketiciye süt verdiği görülmüştür. Bundan dolayı büyük kurumsal işletmeler ayakta kalamadığından dolayı küçük aile işletmeleri ülkemizde daha yoğunlukta olduğu gözlemlenmiştir. Küçük aile işletmeleri ise kriz anında ellerindeki hayvanların belli bir kısmını satarak krizden daha az miktarda etkilenecek kendince çözüm üretmiştir. Oluşan krizler sonucunda Türkiye’deki küçük işletmelerin % 71,5’ini (10 başın altında) oluşturan küçük işletmelerin yaşatılması ülkemizin gıda egemenliğini yitirmemesi manasında yüksek orana sahip olduğu belirlenmiştir. Küçük oranlı işletmelerin ülkemizde tutunabilmesi için kurulacak olan kooperatifler ve birlikler ile mümkün olabilmektedir (Anonim, 2018).

Yıllara ve ölçeklerine göre süt sığırcılığı işletme sayısı ve payları (Ulusal süt konseyi raporu 2018) Çizelge 1.4’te verilmiştir.

Çizelge 1.4. Yıllara ve Ölçeklerine Göre Süt Sığırcılığı İşletme Sayı ve Payları

İşletme Ölçeği (Sığır Varlığı – Baş)	İşletme Sayısı	Pay... (%)
1-5	573.952	51,69
6-9	219.914	19,80
10-19	187.188	16,86
20-49	103.071	9,28
50-99	20.294	1,83
100-199	4.574	0,41
200-500	1.134	0,10
500 +	294	0,03
TOPLAM	1.110.421	100,00

1.3 Süt Ürünleri Üretimi

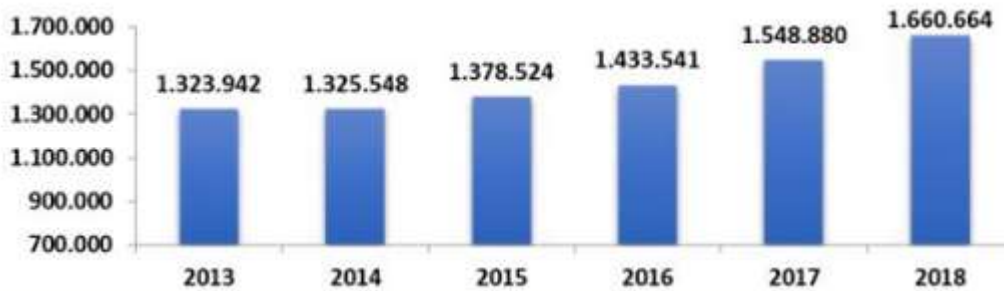
1.3.1 İçme sütü üretimi

Türkiye’de insanların çiğ süttten sonra işlenerek sağlık için önemli bir besin kaynağı olan içme sütü haline getirilmesi için yapılan üretim son beş yılda % 25,4 yükselmiştir. Türkiye’deki ticari işletmelerin elde ettiği inek sütünün çoğunluğu (%16,5) içme sütü amacıyla tüketilmektedir. Çiğ sütte bulunabilecek olası patojenik mikroorganizmaları

yok edebilmek, besin değerini koruyabilmek için uluslar arası normlarda kabul gören ısıt işlemler (pastörizasyon ve UHT gibi teknikler) uygulanmaktadır. Ancak; süt tüketiminin oldukça düşük olduğu Türkiye gibi gelişmekte olan ülkelerde süt genellikle küçük çiftçiler ve/veya bazı araçlar tarafından üretilerek tüketiciye direkt satılmakta ve tüketici tarafından alınan bu sütler ev koşullarında hiç bir standart yaklaşım olmadan, mikrobiyolojik olarak güvenli hale getirmek düşüncesiyle besin öğelerinde kayıplara neden olduğu halde kaynatılmaktadır (Ünal; Besler, 2008).

Süt; bileşimi hayvandan hayvana farklılık gösteren memeli hayvanların yavrusunun ihtiyaç duyduğu bütün besin unsurlarını içeren tek gıda maddesidir (Şimşek ve ark., 2005). Sütün enerji içeriği, çeşidine göre farklılık göstermekle birlikte; enerji içeriğini karbonhidratlar, yağlar ve proteinler oluşturmaktadır. 100 ml sütün içerisinde 65 kal, 4,7 g karbonhidrat, 3,8 g yağ ve 3,3 g protein bulunmaktadır. Yeterli ve dengeli beslenme vücudun büyümesi, yenilenmesi ve çalışması için gerekli olan enerji ve besin öğelerinin her birinin yeterli miktarlarda alınmasıdır (Yıldız, 2009).

Dünya ve Türkiye’de süt sektör istatistikleri yıllara göre içme sütü üretimi Şekil 1.3’te verilmiştir.

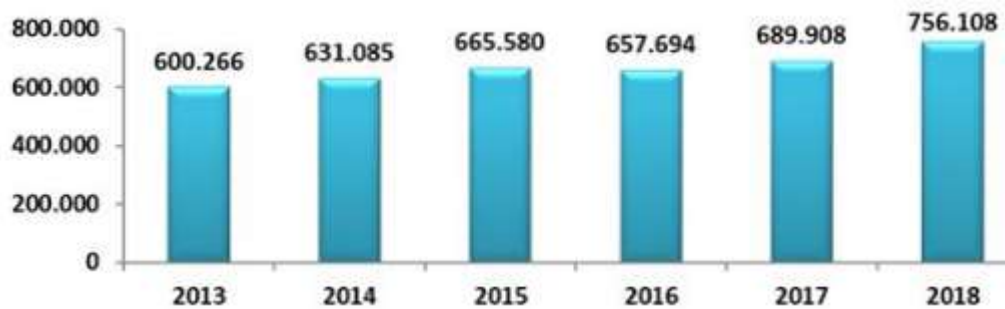


Şekil 1.3. Yıllara göre içme sütü üretimi (Ulusal Süt Konseyi Raporu 2018)

Son yıllarda küçük işletmelerinin satışına sunduğu sütün belli bir kısmı evlerde kaynatılarak içilmektedir. Fakat bunların tam olarak yüzdesi bilinmemektedir (Anonim, 2018).

1.3.2 Peynir üretimi

Ülkemizdeki peynir üretimindeki en büyük pay inek sütünden (% 95,2) elde edilen peynirler olmuştur. Türkiye’de 2018 yılında üretilen peynir miktarı 2017 yılına göre yaklaşık yüzde 9,5 artarak 756 bin ton olmuştur (Anonim, 2018). Türkiye’de peynirin elde edilmesi 2 farklı şekilde yapılmaktadır. İlki günlük üretilen büyük işletmelerde ikincisi ise mevsimlik çalışan küçük işletmeli üretimi içermektedir. Mevsimlik işletmeler peyniri ya inek/koyun/keçi karışımının çeşitli kombinasyonlarını kullanarak ve çiğ süt işlevleri ile üretmektedir. Çiğ süttten üretilenler yasalarda belirlenen olgunlaştırma zamanından önce piyasaya satılmaya sunulduğunda ise insan sağlığı açısından problem teşkil eden brusella ve tüberküloz hastalığına sebep olabilmektedir. Ülkemizde üretimi olan beyaz peynir, kaşar, lor, tulum, mihalliç (kelle), çerkez, dil, otlu peynir, Antep, çeçil ve Urfa peynirleri elde edilmektedir. Ülkemizde insanların en çok tercih ettiği tür beyaz peynirdir. Marmara Bölgesi’nde olduğu kadar, Ege ve Orta Anadolu’da da üretilen beyaz peynirin en ünlülerinden biri Çanakkale’nin Ezine ilçesinde üretilen Ezine peyniridir. Ezine peynirini ünlü yapan da keçi ve koyun sütü karışımından yapılmasıdır. En iyi tanınan peynirlerimizden olan kaşar peyniri, Kars, Erzurum, Muş gibi doğu illerinde ve Kırklareli, Edirne, Tekirdağ gibi batı illerinde çoğunlukla koyun sütünden üretilir. Muş, Bayburt, Tonya kaşarları ülkemizde olan yöresel peynirlerden bazılarıdır. Taze kaşar peyniri ise inek sütünden üretilen ve 75°C’de haşlanarak üretilen bir peynir çeşididir. Sarımsı beyaz sarı, hafif tuzlu bir peynirdir (Ataseven; Gülaç, 2014). Yıllara göre peynir üretimi (ton) Şekil 1.4’de verilmiştir.



Şekil 1.4. Yıllara göre peynir üretimi (Ulusal Süt Konseyi Raporu 2018)

Grafikten de görüldüğü üzere Türkiye'nin peynir üretimi her geçen yıla oranla artmıştır. Artan nüfus ile beraber devlet destekleri ile kurulan işletmelerin Türkiye'deki genel üretim kapasitesini büyük oranda karşıladığı görülmüştür.

1.3.3 Tereyağı üretimi

2012 yılından bir sonraki yıla oranla tereyağı elde edilme miktarı % 9 yükselerek 41,515 ton olarak elde edilmiştir. Tereyağı talebi ise yine bir önceki yıla göre % 13,3 yükselerek 67 bin ton, insanların kullanımı ise % 14,3 yükselerek 60 bin ton olmuştur. Ülkemizin süt ve süt türevleri ithalatında başta gelenler içerisinde olan tereyağının, ülke içindeki elde edilmesindeki yükselmeye göre 2013 yılı ithalatı bir 2012 yılına oranla % 29,4 yükselerek yaklaşık 20 bin ton gelirken, ihracatı % 44 yükselerek sadece 637 bin ton olmuştur (Ataseven; Gülaç, 2014).

Türkiye yıllara göre tereyağı arzı ve kullanımı (Ataseven ve Gülaç, 2014) Çizelge 1.5'te verilmiştir.

Çizelge 1.5. Türkiye Tereyağı Arzı ve Kullanımı

	2009	2010	2011	2012	2013	2014/a
Bin Ton						
ARZ						
Başlangıç Stokları	235	257	175	213	246	241
Üretim	8.039	8.179	8.584	8.914	9.096	9.284
İthalat	345	302	274	302	332	347
Toplam Arz	8.619	8.738	9.033	9.429	9.674	9.872
KULLANIM						
Yurtiçi Kullanım	7.549	7.827	8.097	8.419	8.651	8.831
İhracat	813	735	723	764	782	803
Toplam Kullanım	8.362	8.562	8.820	9.183	9.433	9.634
Bitiş Stokları	257	176	213	246	241	238

Dünya'da en çok tereyağı tüketen ülke (9,2 kg/kişi başı) ile Yeni Zelanda olmuştur. Bu sıralama 7,6 kg ile Fransa, 6 kg ile İsviçre, 5,80 kg ile Almanya devam etmiştir. Ülkemizde iste tereyağı tüketimi ise Dünya ortalaması olan 1,3 kg'ın üzerinde olmasına rağmen çoğu Avrupa ülkesinin gerisinde 2,2 kg olmuştur. Bu ülkeler arasında en çok tüketim artışı 1,61 katlık artışla Makedonya olmuştur. Yeni Zelanda,

Fransa, İsviçre, Almanya, Polonya, Finlandiya, İsveç gibi çoğu ülkenin ise yüksek oranlarda tüketmelerine karşın son yirmi yılda tüketimlerini azalttıkları görülmüştür. Ülkemizin ise tereyağı tüketimi son yirmi yılda % 5,17'lik bir azalış göstermiştir. Ülkemizde yapılan çalışmalara göre aylık ortalama olarak kahvaltılık tereyağı tüketimi kişi başına 590,29 g, yemeklik tereyağı tüketimi 864,89 g ve kaymak tüketimi 437,50 g'dır. Van şehrinde ailelerin ortalama olarak aylık 1,28 kg tereyağı tükettiği belirlenmiştir (Kart and Demircan, 2013).

1.3.4 Süt tozu

Süt tozu pastacılıkta, bisküvide, şekerlemelerde ve dondurma yapımlarında ürünlere katılır. Bu sektördeki üreticilerin büyük bir yüzdesi çiğ süt ve süt tozu da üretmektedir. Süt tozu üretiminin desteklenmesi ile üretimde yükselme sağlanmıştır. Süt tozu üretimi 2013 yılında 2012 yılına oranla % 4,1 seviyesinde azalarak 78878 ton üretilmiştir. İnsanların talebi ise % 3,4 azalarak 98064 ton, toplam kullanım % 9,7 azalarak 79201 ton, stoklar ise % 0,9 yükselerek 18863 ton olmuştur. Ülkemizde en fazla ithalatı yapılan süt ve türevleri arasında olan süt tozunun ithalat 2011 yılında % 76 oranında azalarak 3133 tona kadar azalmıştır. 2013 yılında ise bir önceki yıla göre % 51 oranında azalarak 484 ton olmuştur. Süt tozu ithalatı büyük çoğunluğu AB üyesi ülkeler olmak üzere, Ukrayna, ABD, Avustralya, Moldova ve İsviçre'den yapılmaktadır (<http://apps.fas.usda.gov>). İthal edilen süt tozu yurt içerisinde farklı ürünlerin (çikolata, bisküvi vb.) imalatında kullanıldıktan sonra yurt içinde kullanılmakla birlikte ihraç edilmektedir. 2013 yılında ülkemizde süt tozu ihracatı 2012 ye oranla % 28 yükselerek 15030 ton olarak gerçekleşmiştir (Ataseven; Gülaç, 2014).

Türkiye süt tozu arzı ve kullanımı (Ataseven ve Gülaç, 2014) Çizelge 1.6'da verilmiştir

Çizelge 1.6. Türkiye Süt Tozu Arzı ve Kullanımı

	2009	2010	2011	2012	2013	2014/a
ARZ						
	Ton					
Başlangıç Stokları	26.475	25.145	25.240	25.539	25.614	25.697
Üretim	1.097.309	1.090.605	1.164.748	1.250.168	1.298.059	1.347.785
İthalat	-	-	-	45	-	20
Toplam Arz	1.123.784	1.115.750	1.189.988	1.275.752	1.323.673	1.373.502
KULLANIM						
Toplam Yurtiçi Kullanım	1.145.018	1.137.546	1.212.028	1.297.766	1.345.521	1.395.122
İhracat	3.912	3.444	3.500	3.600	3.849	4.115
Toplam kullanım	1.148.930	1.140.990	1.215.528	1.301.366	1.349.370	1.399.237
Bitiş Stokları	25.145	25.240	25.539	25.614	25.697	25.735

Dünya’da 2008’de 3,3 milyon ton olan yağsız süt tozu üretimi 2013 yılında 3,9 milyon tona kadar artmıştır. Dünya’da üretim olarak sıralama AB, ABD, Hindistan, Yeni Zelanda ve Avustralya olarak devam etmektedir. AB tek başına Dünya’daki üretimin 1,21 milyon ton yağsız süt tozu üretimi % 30,79’unu temin etmektedir. ABD, Hindistan, Yeni Zelanda ve Avustralya’nın ise sırası ile payları % 24,91, %12,22, % 9,93 ve % 5,73’tür. Dünya’da yağsız süt tozundaki ihracatı sürekli bir yükselme eğilimindedir. 2008 yılındaki ihracat oranı 5 yıl içerisinde % 57,5 yükselme sağlayarak 1,09 milyon ton olan ihracat 2013 yılında 1,7 milyon tona ulaşmıştır. 2008 yılında yağsız süt tozu üretiminin % 32,80’ni ihraç edilirken, 2013 yılında % 43,57’ye ulaşmıştır. 2008-2013 yılları arasında üretimdeki yükselme % 18,56 olmasına karşın ihracattaki yükselme % 57,50 tir. Bu sonuca göre elde bulunan yağsız süt oranı gittikçe düşüş olduğunu belirtmiştir. Dünya yağsız süt tozu ihracat piyasasında AB uzun yıllar ilk sırada yer almasına karşın 2013 yılında ABD, 560 bin ton yağsız süt tozu ihracatı ile ilk sırada yer almıştır. 2013 yılında ABD’nin yağsız süt tozu ihracatı % 18 yükselirken, AB’nin yağsız süt tozu ihracatı % 31 düşmüştür ve ABD birinci sıraya geçmiştir. Dünya yağsız süt tozu ithalat piyasasında en önemli aktörler Endonezya, Çin, Meksika, Rusya, Cezayir ve Filipinler’dir. 2013 yılı itibariyle bu ülkelerin payları sırası ile % 19,91, % 19,03, % 17,70, % 11,50, % 11,06 ve % 9,73’tür (USDA, 2014). 2012 yılına göre 2013 yılında Çin’in yağsız süt tozu ticaret hacmi % 68, Endonezya’nın % 13 ve Filipinler’in % 10 artarken Meksika ve Cezayir’in yağsız süt tozu ticaret hacmi sırası ile % 15 ve % 19 oranında azalmıştır (Terin, 2014).

Dünya yağsız süt tozu üretimi, tüketimi ve ticareti (Ataseven ve Gülaç, 2014) Çizelge 1.7’de verilmiştir.

Çizelge 1.7. Dünya Süt Tozu Üretimi-Tüketimi ve Ticareti

Yıllar	Üretim	İhracat	İthalat	Toplam Tüketim	Kişi Başına Tüketim (Kg)
2008	3.314	1.087	846	3.013	0.45
2009	3.452	1.140	830	2.920	0.43
2010	3.398	1.316	869	3.005	0.44
2011	3.675	1.528	996	3.192	0.46
2012	3.983	1.630	1070	3.446	0.49
2013	3.929	1.712	1130	3.423	0.48
2014*	4.097	1.747	1182	3.531	0.49

1.3.5 Ayrın

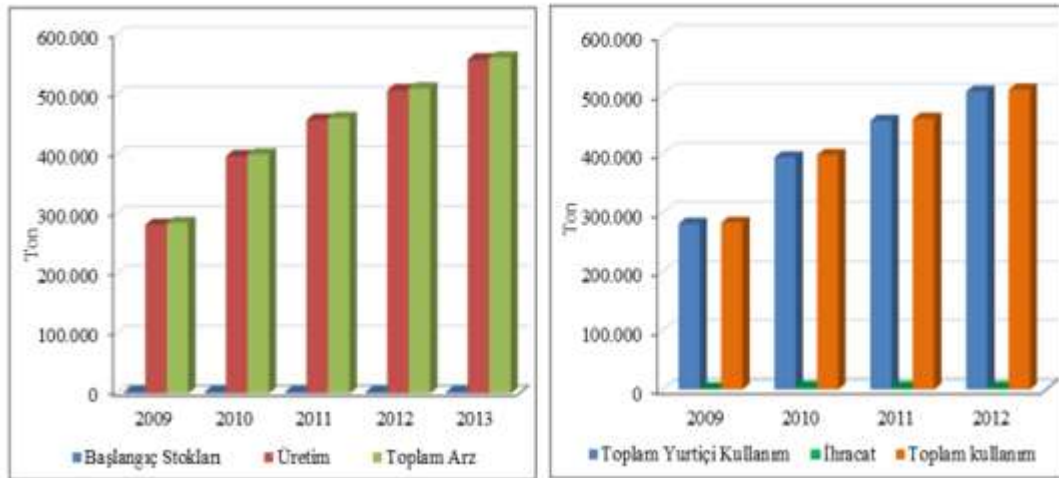
Ülkemiz üretimde 2012 yılına göre 2013 yılında % 10 üretimi yükselterek 560101 ton ayrın elde etmiştir. 2012 yılına oranla 2013’de talepte % 10 ve toplam kullanımda % 10 yükselme görülmüştür. 2013 yılında talepte 563228 ton ve toplam kullanım 559952 ton olarak gerçekleşmiştir. 2012-2013 yılları arasında ayrın ithalatı olmamakla beraber, 2013 yılında 2012’ye göre ayrın ihracatı % 41 yükselerek 4493 ton olarak kayda geçmiştir (Ataseven; Gülaç, 2014).

Türkiye ayrın arz ve kullanımı (Ataseven ve Gülaç, 2014) Çizelge 1.8’de verilmiştir.

Çizelge 1.8. Türkiye Ayran Arz ve Kullanımı

	2009	2010	2011	2012	2013	2014/a
ARZ						
	Ton					
Başlangıç Stokları	2.897	3.063	3.161	3.058	3.127	3.276
Üretim	283.195	397.935	459.075	508.444	560.101	617.006
İthalat						
Toplam Arz	286.092	400.997	462.236	511.503	563.228	620.282
KULLANIM						
Toplam Yurtiçi Kullanım	281.248	393.681	455.818	505.191	555.459	610.589
İhracat	1782	4155	3.360	3.185	4.493	6.338
Toplam kullanım	283.030	397.836	459.178	508.376	559.952	616.927
Bitiş Stokları	3.063	3.161	3.058	3.127	3.276	3.355

Türkiye ayran arzı ve kullanımı Şekil 1.5'te verilmiştir.



Şekil 1.5. Türkiye ayran arzı ve kullanımı (Ataseven; Gülaç, 2014)

1.3.6 Yoğurt

Fermente bir süt ürünü olan yoğurdun kökeni; Mezopotamya'da Babillere ve Sümerlere, Kuzey Afrika'da Firavunlara kadar ulaştığını gösteren arkeolojik veriler olduğu ileri sürülmekle birlikte, yoğurdun orjini ile ilgili yazılı veri bulunmamaktadır. En geçerli kabul edilen bilgi, ilk yoğurdun Orta Asya'da göçebe olarak yaşayan

insanların hayvan derilerinde sakladığı sütün doğal olarak pıhtılaşması ile tesadüfen oluştuğuna inanılmaktadır. Birçok uygarlığa ev sahipliği yapan Orta Asya, yoğurt yapımının anavatanı olarak bilinir. Göçebe hayatı yaşayan Türklerle bu kültür 16. yüzyılda Avrupa'ya taşınmıştır (Kurt, 1980; Akın, 2006 ve Yurdakök, 2015).

Halk dilinde maya olarak da bilinen starter kültür, belli bir ürünü üretebilmek için bünyesinde sadece gerekli mikroorganizmaları saf olarak içermektedir. Starter kültür; sıvı, dondurulmuş veya liyofilize olarak üretilmektedir. Starter kültürler kontrollü üretilir ve patojen mikroorganizmaları içermezler (Halkman ve Korkmaz, 2000).

Kökeni Türklere ait olan yoğurt mayasının ticari olarak üretimi, yabancı ülkelere ait olup ülkemizde satılan yoğurtların hemen hemen hepsi ithal kültürle mayalanmaktadır. Türkiye'deki yoğurt starter kültür satan küçük işletmeler Amerika, Hollanda, Fransa ve İngiltere gibi asıl kültür üreten ülkelerin distribütörü olarak çalışmaktadır (Yılmaz, 2006).

1990 yılından 2010 yılına kadar ki beş yıllık sürelerde yoğurt üretimi sürekli bir artış eğiliminde olduğu görülmüştür. 18 bin tondan başlayıp 88 bin tona kadar çıkacak bir şekilde artış sağlanmıştır. Bu otuz yıllık sürede üretim 3,2 - 4 kat aralığında artmıştır. Ülkemizin elde etmiş olduğu ürün ise 1990-1994 yılları aralığında 1640 ton, 1995-1999 yılları aralığında 1848 ton, 2000-2004 yılları aralığında 1842 ton, 2005-2009 yılları aralığında 2935 ton ve 2010 yılında ise 3637 ton olarak elde edilmiştir. Ülkemizin bu otuz yıllık bandındaki üretimdeki artışı 148-150 kat civarındadır. Bütün üretimde ilk sırada yaklaşık % 62 ile birinci sırada Suudi Arabistan yer alırken ikinci sırada yaklaşık % 14 ile Türkiye ve ardından da yaklaşık % 13,5 ile Suriye gelmektedir (Kart; Demircan, 2013).

Probiyotik bir elde olan yoğurt; inek, koyun, keçi ve manda sütü veya karışımlarının pastörize edilmesi veya pastörize sütün, gerektiğinde süttozu eklenmesi ile homojenize edilip veya edilmeden *Lactobacillus bulgaricus* ve *Streptococcus thermophilus* bakterilerinin laktik asit fermantasyonu ile oluşan fermente bir süt ürünüdür. Türkiye'de çok tüketildiğinden dolayı yoğurt tüketimi her yıl artış göstermektedir. Yoğurt üretimi 2018 yılında % 2,2 yükselerek 1,19 milyon ton olarak kayda girmiştir

(Anonim, 2018). Türkiye’de yoğurt ve ayran üretimi (milyon ton) Şekil 1.6’da verilmiştir.



Şekil 1.6. Türkiye’de yoğurt ve ayran üretimi (Anonim 2018)

Ülkemizde farklı şehir ve farklı çevrelerde yürütülen çalışmalara göre yoğurt tüketimi 15-72 kg aralığındadır. Bir ailenin yıllık yoğurt tüketimi ise yaklaşık 181 kg’dır. Ülkemiz yoğurt tüketimi 23,17 kg / yıl olup Türkiye ortalamasının (34 kg / yıl) altındadır. İnsan beslenmesindeki bu önemli yerine rağmen kişi başına yıllık yoğurt tüketimi Finlandiya’da 40, Bulgaristan’da 35, Yunanistan’da 89 ve ABD’de 113 kg iken ülkemizde bu değer 20 kg’dır (Kart; Demircan, 2013).

Bütün coğrafyada ihraç edilen yoğurt son 30 yılda 20 kattan fazla artmış olup 80 bin tonun üzerine çıkmıştır. Ülkemizin ise 30 yıl önceki ihracat rakamı 87 ton gibi çok küçük bir değer olmasına karşın 2010’da bu rakam 80 bin tona yükselmiştir. (Bütün coğrafyada 2010 yılı yoğurt ihracatında miktar açısından Suudi Arabistan % 47,31 ile birinci sırada yer alırken Suudi Arabistan’ı % 26,29 ile Suriye ve % 14,31 ile Türkiye takip etmektedir (Kart; Demircan, 2013).

Dünya’da ihracat değeri son 30 yılda ortalama 20 kat yükseliş göstererek 85 milyon doların üzerindedir. Ülkemizin ise ihracat miktarı son 30 yılda 176 kat yükseliş göstererek 11,5 milyon dolara çıkmıştır (Kart; Demircan, 2013).

Dünya 2010 yılı yoğurt ihracatında miktar olarak Suudi Arabistan % 50,64 ile birinci sıradayken Suudi Arabistan’ı % 17,81 ile Suriye ve % 13,34 ile Türkiye takip

etmektedir. Ülkemizin 2010 yılında ihracat miktarı 11,5 bin tonluk yoğurt ihracatının ülkelere göre sıralaması aşağıdaki tabloda gösterilmiştir. Yapılmış ihracatın % 67,64'ü Irak'a, % 12,51'i Suriye'ye ve % 13,67'si Kıbrıs'a gerçekleşmiştir. Miktar olarak ise yoğurt ihracatının dağılımı analiz edildiğinde değeriyle benzer şekilde Irak % 66,84'lük payla birinci sırada yer almakta ve ondan sonra Suriye ve Kıbrıs gelmektedir (Kart; Demircan, 2013).

Dünya yoğurt ithalat değerleri yıllara göre analiz edilmiştir. 1990-1994 yılları arasında 4274 ton olan yoğurt ithalatı 2010 yılında ise 10 kat yükselerek 43 bin tonun üzerinde değer göstermiştir. Analiz edilen ülkeler arasında yoğurt ithalat değeri en fazla artış gösteren ülke 242 katlık yükselme ile Suriye'de gerçekleşmiştir. Katar 2010 yılı yoğurt ithalatında % 42,89 ile birinci sırada yer almakta onu Birleşik Arap Emirlikleri, Suriye, Filistin takip etmiştir (Kart; Demircan, 2013).

Dünya yoğurt ithalat değerleri yıllara göre analiz edilmiştir. 1990-1994 yılları arasında 5,7 milyon dolar olan yoğurt ithalatı 2010 yılı gelindiğinde ise 16 kat yükselerek 92 milyon doların üzerinde değer göstermiştir. Analiz edilen ülkeler içinde yoğurt ithalat değeri en fazla yükselen ülke 81 katlık yükseliş ile Suriye'de gerçekleşmiştir (Kart; Demircan, 2013).

Yoğurt elde edimi 2013 yılında bir önceki yıla göre % 2,7 oranında yükselerek 1,081 milyon ton olarak kayda geçilmiştir. 2013 yılında ise 2012'ye göre toplam arz ve toplam yurt içi kullanımı benzer şekilde yaklaşık % 2,8 oranında artmıştır. 2013 yılında toplam arz 1,090 milyon ton, toplam yurt içi kullanım 1,076 milyon ton olarak elde edilmiştir. Bitiş stokları ise % 8,6 oranında artarak 9993 ton olarak gerçekleşmiştir. 2013 yılı ihracatı 2012'e göre % 18,4 oranında düşüş göstererek 4435 ton olarak kayda geçmiştir (Ataseven; Gülaç, 2014). Türkiye'de yoğurt arz ve kullanımı (Ataseven ve Gülaç, 2014) Çizelge 1.9'da verilmiştir.

2. KURAMSAL TEMELLER VE KAYNAK ARAŞTIRMASI

Türközü ve ark. (2008) Çumra şeker fabrikasında ekserji analizi yaparken bütün aşamaları tek tek diğer aşamaya olan madde, enerji ve ekserji akışları hedef alınmıştır. Endüstriyel üretimin sahip olduğu şeker kurutma ve soğutma aşamasındaki tersinmezlikler üretimin hepsine bakınca çok az olmasından sebep rafineri bölümü dâhilinde sayılmıştır. Üretimdeki en fazla tersinmezlik, enerji üretim bölgesinde oluşmuştur. Enerji üretiminin en fazla oluş nedeni yanma reaksiyonu anında meydana gelen tersinmezliktir. Giren ve çıkan ürünlerin ekserji hesaplamaları kullanılarak Grassman denklemi çizilmiştir. Çumra şeker fabrikasında enerji harcama değerinin fazla oluşundan sebep enerji harcanması daha ekonomik ve ekolojik dengeye daha az zarar vermesi için enerji tüketimi yönünden nasıl tasarruf edilir çalışmaları yapmıştır.

Tekin ve ark. (1995) Erzurum şeker fabrikasındaki incelemesinde, termodinamiğin birinci ve ikinci yasadını kullanarak ekserji analizini tespit etmiştir. Ekserji analizi hesaplanırken, ham maddenin performans katsayısı işlemleri gerçekleştirilerek tespit etmiş ve ekserji yıkımlarının olduğu noktalar belirlenmiştir. İşletmenin hesaplamalarında CDP değeriyle çalışma yapılmış olup, üretim verimliliğinin artması için CDP değerinin artırılması ile olacağı sonucuna varmıştır.

Nurveren ve ark. (2001) Bor şeker fabrikası buharlaştırma sistemlerinin ekserji analizi üzerinde dururken, üretim şematiğindeki üretim aşamalarının enerji ve ekserji analizi için pancarın şeker üretiminde rol oynayan ana ve alt aşamalar tespit edilmiştir. Açık sistem modeline göre termodinamik analizleri yapılmıştır. Fabrikada yapılan çalışmada süreçlere giren ve çıkan doymuş su, doymuş buhar ve kızgın buhar gibi maddelerin aranan sıcaklık ve basınçtaki termodinamik özelliklerinin belirlenmesinde bilgisayar destekli programdan yararlanılmıştır. Programdan alınan veriler denklem de uygulanarak verilen özelliklerdeki doymuş su, doymuş buhar ve kızgın buharın entalpi ve ekserji değerleri bu şekilde hesaplanmıştır. Diğer süreçler için ise algoritmik fonksiyonlardan yararlanılmıştır.

Çam ve ark. (2011) Kazım Taşkent şeker fabrikasına ait çalışmada, taze şeker pancarının kıyımından kristal şekeri olarak üretilmesine kadar aşamaları tespit edilmiştir. Hesaplamalarda tersinmezlik değerleri tespit edilmiş, sistemlerin birinci kanun verimleri ve ikinci kanun verimleri tespit edilmiştir. Buradaki tersinmezlik oranları sistemlerin tersinmezlik miktarlarının toplam tersinmezliğine oranlanarak hesaplanmıştır. Hesaplamalar uygulandığında en fazla tersinmezliğin ve en az tersinmezliğin olduğu üniteler belirlenmiştir.

Kaplan ve ark. (2012) Ereğli şeker fabrikasının ekserji ve enerji verimliliğinin incelenmesi adlı çalışmasında, şeker üretim süreçleri için termodinamiğin birinci ve ikinci kanun analizleri yapılmıştır. Analiz sonuçları şeker üretim aşamalarının birinci ve ikinci kanun verimleri ile hesaplanmıştır. Yapılan analiz çalışmaları sonucu olarak fabrikaya enerji verimliliğini artırmak, atık enerjisinin geri kazandırılmasını sağlamak ve yeni teknolojilerin gelişmesine yön vermek amacıyla fabrikaya bazı önerilerde bulunulmuştur.

Çakmak ve ark. (2012) Uşak şeker fabrikasının şeker üretim sürecinde termodinamiğin birinci ve ikinci kanununa göre analiz çalışmaları yapılmıştır. Fabrikadaki öncelikle şeker üretiminde kullanılan ana ve alt sistemler tespit edilmiş ve açık sistem modeline göre termodinamik analiz çalışması yapılmıştır. Çalışmanın sonunda elde edilen veriler ile ilgili çizelgeler oluşturulmuştur. Değerler sonucunda ise birinci ve ikinci kanunların karşılaştırılması yapılmış ve bunlara bağlı olarak verimin düşük olduğu süreçler belirlenmiş, yapılması gereken aktif ve pasif iyileştirme önerileri sunulmuştur.

Ünal ve ark. (2013) bir içecek endüstri fabrikasında gerçekleştirilen çalışmada, ilk olarak kütle analizi uygulanmıştır. Temel kütle denkliği kullanılarak, soğutucu akışkan debileri tespit edilmiştir. Tespitler doğrultusunda kontrol hacimleri için temel enerji denkliği kullanılarak kontrol hacimlerine giren veya kontrol hacimlerinden çıkan ısı veya iş miktarlarının sonucuna ulaşılmıştır. Bununla birlikte enerji vasıtasıyla çevrimin COPR değerleri tespit edilmiştir. COPR değerlerinin saptanmasıyla beraber soğutucu akışkan debisi, evaporatör sıcaklığı ve sürece göre değişimleri gözlenmiştir. Elde edilen veriler doğrultusunda grafikler halinde gösterilmiştir. Sistemin düşük

kapasitede çalıştırıldığı süreçlerde kayıpların arttığı, enerji ve ekserji verimlerinin ise düştüğü tespit edilmiştir. Uygulamaların sonucunda ekserji veriminin düşük olduğu açık ara kompresör sistemlerinde gerçekleşmesi göz önünde bulundurulduğu takdirde optimizasyon seçenekleri ele alınarak saptamalar yapılmıştır.

Şahin ve ark. (2014) meyve suyu fabrikasında gerçekleştirilen çalışmada, 2010 yılındaki verileri kullanılarak meyve suyu ve marmelat üretim süreçlerini gözlemlemiştir. Tesisteki her sistemin çevre sıcaklığı 20 derece ve atmosfer basıncı 101,325 kPa göre enerji, ekserji, ekserji yok oluş, enerji ve ekserji verimleri EES programını kullanılarak hesaplamıştır. Ayrıca tesisteki tüm sistem için ekserji ve ekserji yok oluş değerleri için Grassman diyagramı çizilmiştir. Veriler doğrultusunda ise birinci ve ikinci kanun verimleri tespit edilmiş ve böylelikle elde edilen sonuçları değerlendirerek birinci ve ikinci kanun verimlerini iyileştirmek için önerilerde bulunulmuştur.

Keleşoğlu ve ark. (2014) Araklı çay fabrikasında gerçekleştirilen çalışmada, üretim aşamasında kullanılan buhar kazanları, kurutma fırınları ve buhar iletim hatları üzerinde incelemeler yapılmıştır. Buhar kazanları ve fırınlarda meydana gelen aşırı enerji tüketimi ve enerji kayıplarının meydana gelmesi sonucunda iyileştirme çalışmaları yapılarak enerji üretimi en az seviyeye indirgenmiştir. Özellikle buhar kazanlarında meydana gelen fazla hava oranının ideal değerlere getirilmesi ve bacalardaki atık ısının bir ekonomizer sistemiyle geri kazandırılması sonucunda büyük oranda enerji tasarrufu sağlandığı gözlemlenmiştir. Araştırmada elde edilen verilerin sonucu grafikler ve tablolar halinde verilmiştir.

Singh ve ark. (2020) çalışmalarında Hindistan'da pastörize yağsız süt, pastörize tam yağlı süt, pastörize krema ve berrak tereyağı (Ghee) gibi ürünler üreten kapsamlı süt ürünleri işleme tesisi ile ilgili olmuştur. Çalışmadaki amaç doğrultusunda tesisin maksimum verimli mimarisinin geliştirilmesi için kapsamlı süt işletmesindeki ve tersinmezliklerin termodinamik işlemlerin değerlendirmesi elde edilmiştir.

Taner ve Sivrioglu (2014) Türkiye'deki referans aldığı bir şeker fabrikasındaki şeker üretimi aşamasındaki termodinamiğin birinci ve ikinci kanununu kullanıp enerji ekserji kayıplarını azaltarak enerji tasarrufu sağlayarak gıda üretimindeki en iyi kütle ve enerji dengeliliği ile türbin güç proses enerji ve ekserji verimliliğini belirlemeyi amaçlamıştır.

Sorgüven ve ark. (2012) çalışmalarındaki çilek aromalı yoğurt üretiminde enerji ekserji analizi ve karbondioksit emisyonunu termodinamik olarak incelenmiştir. Yapılan işlemlere göre enerji kayıplarını azaltmak önümüzdeki 10 yıl için daha reel bir hedef olmuştur.

Waheed ve ark. (2008) Nijerya'da bir portakal suyu üretim fabrikasında enerji tüketim modelini ve enerji optimizasyon modelini belirlemek için enerji ve ekserji termodinamik çalışmasını yapmıştır. Elektrik ve buhar enerjisinin enerji analizinde kullanılması gereken başlıca enerji kaynağı olarak elde edilmiştir. Pastörizasyonun da çok fazla ekserji yıkımına sebep olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Dowlati ve ark. (2017) Tahran'da bir dondurma üretimi tesisindeki verileri alarak termodinamik olarak oluşan verimsizlikleri tespit etmek amacı ile fabrikanın hepsini oluşturan bir enerji ve ekserji analizi yapmıştır. Sonucunda ise buhar jeneratörünün ekserji yok olunmasında en yüksek payı aldığını ve tersinmezliğin % 37 den fazlasını oluşturduğu tespit edilmiştir.

Soufiyan ve ark. (2017) çalışmalarındaki üretim aşamasındaki reel verileri kullanarak yoğurt-içecek fabrikasının detaylı ekserji analizini içermektedir. Elde edilen termodinamik hesaplamalara göre ise buhar jeneratörü ekserji yok edilmesinde en yüksek payı almıştır. Sonuca göre ise bu üretim çalışmasından elde edilen tersinmezlikleri ve kayıplar doğrultusunda oldukça etkili bir çalışma olduğu belirlenmiştir.

Zisopoulos ve ark. (2017) bir süt üretim sürecinin ekserjik olarak çalışmasının elde edilmesi sürecinde yapısının kullanılmasını incelemiştir. Doğal kaynakların

tüketiminin sıcak noktalarını belirlemek ekserji analizinin yapıldığı ekonomik saptamalarına ulaşmayı amaçlamıştır. Verimlilikteki kaynak kullanımını enerji analizini ekserji yıkımının değişiminin daha verimli olduğunun sonucuna varılmıştır.

Kool ve ark. (2018) Ontario’da bir süt çiftliğinde 250 ile 6000 inek kullanılarak yapılan çalışmada soğutma ve elektrik ihtiyaçlarını karşılamak için geri kazandırılan atık ısı ile çalıştırılmıştır. Ekserji analizleri her aşamada uygulanır ve verimlilik çalışmaları yapılmıştır. Sistemin ekserji tahribatının %79’unda mikro gaz türbinindeki tahribat katkıda bulunmuştur. Elde edilen sonuçlara göre soğutma ve elektrik ihtiyaçlarının karşılandığı görülmüştür.

Dadak ve ark. (2016) Tahran kentinde bulunan çift etkili buharlaştırıcıya sahip bir salça fabrikasında alınan veriler ile termodinamiğin birinci ve ikinci kanunlarını kullanarak termodinamik verimsizlik, enerji analizi ile ekserji yıkımındaki verimliliği araştırmıştır. Ulaşılan sonuca göre tüm sistemin ekserji yıkım oranının % 82’den fazlasının kazan da oluştuğu saptanmıştır.

Genç ve ark. (2017) bir şarap üretim hattının ekserji analizini sistemin sürdürülebilir performansını incelemiştir. Üretim hattı 4 aşamadan oluşmuştur. Genel sistemin en çok enerji yıkım oranı açık fermantör aşamasında gerçekleşmiştir. Sistemin ısı verimi % 57,2 iken ekserji verimi % 41,8 sonucuna ulaşılmıştır.

Ağbaşlo ve ark. (2008) çalışmalarında patates dilimlerinin sürekli konveksiyonla kurutulmasının enerji ve ekserji analizleri ile ilgilenmiştir. Tam olmayan fabrikasyon sürekli bir bant eşliğinde kurutma ekipmanı hazırlanmıştır. 2 metre uzunluğunda bir kurutma bölgesi için 50, 60, 70 dereceler seçilmiştir. Bu deneyler sonucunda ısıtıcı tarafından sağlanan enerjinin minimal bir kısmının kurutma tarafından kullanıldığı tespit edilmiştir. Ayrıca kurumuş havanın hızı ve sıcaklığının enerji ve ekserji kullanımı üzerinde etkili olduğu sonucuna varılmıştır.

Adeboye ve ark. (2017) Nijerya’da kuru çimento üretiminin termoekonomik ve çevresel değerlendirme yapılmıştır enerji verimliliği değerlendirilmesi ve iyileştirme

için çalışmıştır. On temel aşamada gerçekleşmiştir. Fazlası ile enerji yoğunluğuna sahip aşama ön ısıtma işlemi olmuştur. Fakat ekonomik bakımından en yıkıcı aşama ise patlayıcı yükleme ünitesi olmuştur. Çalışmadan çıkarılacak en geniş kapsamlı sonuç ise her bir aşama için enerji maliyetinin düşürülmesi olgunluğu olmuştur.

Jokandan ve ark. (2015) Batı Azerbaycan ilinde bulunan endüstriyel pastörize yoğurt üretimi yapan bir tesiste ekserji analizi yapmıştır. Tesis 4 ana bölmeye ayrılarak her bir bölme için ayrıntılı verimlilik ve enerji yıkım oranı hesaplanmıştır. Buhar jeneratörünün en yüksek ekserji yıkımına sahip olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Ayrıca bu çalışma süt işleme tesisinin veriminin artırılması için termodinamik analizin önemini ortaya koymuştur.

Saidur ve ark. (2012) Güneş enerjisi sistemlerinin çeşitlerinin ekserji analizi üzerine kapsamlı bir literatür çalışması yapmıştır. İncelenen sistemler güneş enerjili klima ve buzdolabı, güneş kurutma işlemi vb. güneş enerji verimi olmuştur. Çalışmanın sonucuna göre ısı veriminin istenilen verime erişemediği ve en fazla enerji yıkımının güneş enerjili ısıtma cihazlarında görüldüğü verisi elde edilmiştir.

Ahamed ve ark. (2010) çalışmalarında kazan sistemindeki enerji ve ekserji verimleri belirlenmiştir. Bir baca gazından çıkan ısının 150-250 derece arasında değiştiği ve bu da ısı enerjisinin en fazla % 10-30 arasına denk geldiği görülmüştür. Termodinamiğin birinci ve ikinci yasaları kullanılarak elde edilen verilere göre yanma odasının ekserji yıkımında en büyük paya sahip olduğu görülmüştür.

Miranda ve ark. (2017) çalışmalarında ekserji analizinin metodolojisi ve en uygun olan ekserjik göstergeleri incelemiştir. Sistemde oluşan aşamalarının başlangıç ve bitiş değerleri tespit edilerek etraf şartlarının hedef alınarak diagramları belirleyerek en verimli ekserji değerler kullanılarak termodinamik işlemler ile en son veriler elde edilmiştir. Bu da endüstriyel üretimlerde ekserji analizlerinin kullanılacağı sonucunun olumlu olduğu tespitini göstermiştir.

Şahin ve ark. (2007) Kayseri şeker fabrikası 2002-2003 yılları verilerini kullanarak şeker üretimi için enerji ve ekserji değerlerinin hesaplaması çalışmasını yapmıştır. Çalışmalarında elde edilen amaç enerji verimliliğini sağlamak ve atık enerjinin geri dönüşümünü sağlamak olmuştur. Sistemi açık olarak ele alınan çalışmada her bir aşama için girdi ve çıktı verileri ile beraber hesaplama çalışması yapılmıştır. Sonuç olarak eşanjördeki kayıplar azaltılarak verimin arttırılacağı sıcaklığın üretimin bazı aşamalarında azaltılarak verimin arttırılacağı ve diğer bir aşamada elektrik enerjisinin düşürülerek verimin arttırılacağı gibi sonuçlar ortaya çıkmıştır.

Kordon B ve ark. (2013) bir fırın ocağının ekserji analizini yapmıştır. Farklı tarzlarda unlu ürünlerin ortaya konmasında oluşturulan dört bölmeli siklometrik ocakta pişirme olayı esnasında iç ve dış ekserji yıkımlarının gözden geçirilmesi sağlanmıştır. Elde edilen sonuçlara göre iç ve dış enerji yıkımlarının sağlanan ekserjinin sırasıyla % 41,04 ve % 58,89 olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Elde edilen sonuçlar başka enerji çevrilebilen, ısıtma amacıyla kullanılabilen enerji kalitesinin bir ölçüsü olmuştur.

Yıldız ve ark. (2017) Çorum şeker fabrikasında yaptığı enerji ve ekserji analizi çalışmasında; türbin ve rafineri sisteminde kullanılan buhar ısısının, ekserji ve enerji verimliliği analizini tespit etmeye çalışmıştır. Yapılan bu çalışmada fabrikanın genel üretiminde kullanılan buhar sisteminin enerji verimi % 84, ekserji verimi ise % 51 olarak saptanmıştır. Bu veriler sonucunda en yüksek tersinmezlik oranı kazan ve türbin kısmında % 67 oranında tespit edilmiştir. Genel olarak buharlaştırıcılarda oluşan toplam tersinmezlik oranı ise % 24 olarak gerçekleşmiş ve fabrikanın genel tersinmezlik oranı % 49 olduğu hesaplanmıştır. Hesaplamalar termodinamik kurallarına göre yapılmıştır. Kazan ve türbin için oluşturulan Grassman diyagramında tersinmezlik oranları gösterilmiştir.

Aydemir ve ark. (2017) Elazığ şeker fabrikasında yapılan ekserji ve enerji analizinde, şeker üretiminin ana esasları göz önünde bulundurulmuş ve tersinmezlik değerleri tespit edilerek sistemlerin birinci kanun ve ikinci kanun verimlilikleri tespit edilmiştir. Genel olarak fabrikaya bakıldığında en yüksek tersinmezlik buharlaştırma ünitesinde meydana gelmiştir. Buradaki tersinmezlik oranı % 62 olarak hesaplanmıştır.

Buharlaştırma ünitesindeki tersinmezlik oranının azaltılabilmesi için gereksiz üretilen brüde miktarlarının ortadan kaldırılması gerektiği sonucuna ulaşılmıştır. Araştırmanın gerekliliği için çalışmaya başlanılmadan önce fabrikaya yapılan genel hesaplamalar sonucunda oranın yüksek çıktığı görülmüştür. Bunun doğrultusunda tersinmezlik oranlarının yüksek çıkmasının nedeni olarak sonlu sıcaklık farklarının oldukça yüksek çıktığı görülmüştür. Fabrikadaki şeker üretiminin verimliliğini artırabilmek için ise bu değerlerin düşürülmesi gerektiği sonucuna ulaşılmıştır. Araştırma sonucunda ise fabrikaya sunulan öneri şu olmuştur; birleşik ısı güç sistemleri uygulamalarına daha çok ağırlık verilmesi gerektiği ve atık ısılardan maksimum seviyede faydalanılması gerektiği önerisinde bulunulmuştur.

Çetinkaya ve ark. (2019) gazlı içecek üretim tesisinin buhar kazanı ve soğutma sistemi üzerinde ekserji ve enerji hesaplamalarını yapmaktadır. Hesaplamalarda termodinamiğin birinci ve ikinci kanunu kullanılmıştır ve buhar kazanının enerji ve ekserji değerleri ölçülmüştür. Yapılan ölçümler sonucunda buhar kazanının enerji verimi % 92,5, ekserji veriminin ise % 48,81 olduğu saptanmıştır. Ayrıca buhar kazanının ekonomik analizi ile yıllık harcadığı yakıt tüketimi değerleri hesaplanmıştır. Buhar kazanı ile baca arasında bir ekonomizer sisteminin kullanılmasıyla yakıt tasarrufu oranının düşeceği tespit edilmiştir. Elde edilen hesaplamalar sonucunda ise baca gazının sıcaklığının düşürülmesiyle beraber atmosfere salınan CO₂ miktarının yıl içerisinde 279,49 ton azaltılabileceği tespit edilmiştir. Sera gazının atmosfere atılmasının azaltılması küresel ısınmayı azaltmakta ve iklimlerin değişmesini önlemektedir.

Kahraman ve ark. (2018) endüstriyel mısır fabrikasında ekserji ve enerji üretimi analizini tespit etmiştir. Endüstrilerde yapılan bu çalışmada kurutma havasının ısıtılmasında yakıt olarak LNG, LPG ve kömür kullanılan dört farklı mısır kurutma tesisinde maliyet, enerji ve ekserji analizlerini yapmıştır. Endüstriyel mısır kurutma süreçlerinde mısır şu aşamalardan geçmektedir: öncelik olarak yüksek nemdeki mısır, saklama nemi olan % 15 nem içeriğinin altında bir değere indirilmiştir. Daha sonra ise kurutma tesisine; sabit hava debisine farklı koşullarda kurutma havası gönderilerek ürün kurutma işleminin yapılması hedeflenmiştir. Kurutma sürecinde yapılan

ölçümlerde sıcaklık, bağıl nem ve hava gibi termodinamik özellikleri tespit edilmiştir. Bu tespitler sonucunda ise giriş hava havası sıcaklığının yükselmesi ısıtıcı randımanı ve ekserji randımanını düşürdüğü, kurutma değerini ve yakıt giderlerini artırdığı tespit edilmiştir.

Taner ve Sivrioğlu (2015) şeker fabrikalarındaki buhar enerji güç santrallerine termoeconomik analiz yönteminin kullanılmasını hedeflemişlerdir. Çumra Şeker Fabrikası'ndan hareketle termoeconomik yöntem uygulanmakta ve termoeconomik usulü olarak ise eşitlik metodu uygulanmıştır. Fabrikadaki buhar enerji güç santralindeki ekserji analizleri göz önünde bulundurularak senaryolar üretilmiştir. Çalışmanın amacı; fabrikada kullanılan enerji ve üretilen enerjiden faydalanarak kar oranını artırmak olmuştur. Fabrikadaki buhar enerji veriminin artırılması hedeflenmekle beraber ekserji maliyetinin düşürülmesi gerektiğini belirtmişlerdir. Elde edilen analizler sonucunda ise; buhar enerji güç santrali için 8 [MW] farklı güçlerde senaryolar üretilmişlerdir. Buhar enerji güç santrali için 14 [MW]'lik senaryo revize edildiğinde tespit edilen sistem içerisindeki buhar enerji güç santraline göre ekserji maliyetinin $1,370 \times 10^{-5}$ [€/kJ]'e düştüğünü tespit etmişlerdir.

Bayrak ve ark. (2003) çalışmalarında Türkiye Bor şeker fabrikasında şeker üretim aşamalarının enerji ve ekserji analizlerini operasyonel verileri ele alınmıştır. Şeker üretiminde termodinamiğin birinci ve ikinci kanunları kullanılarak verilere ulaşılmıştır. Birinci ve ikinci kanuna göre elde edilen verilerde üretim aşamalarında ekserji kaybının değeri hesaplanmıştır. Hesaplamaların sonucunda en yüksek ekserji kaybının şeker üretim aşamasında olduğu tespit edilmiştir. Elde edilen verilere göre tersinmezliğin çoğunlukla üretimdeki sonlu sıcaklık farklarından kaynaklandığı saptanmıştır. Şeker üretiminin daha verimli hale getirilebilmesi için geçirdiği süreçteki aşamalarının azaltılması gerek görülmüştür.

Çam ve Erbay (2011) Kazım Taşkent şeker fabrikasının enerji ve ekserji analizi adlı çalışmalarında endüstriyel alanda en fazla enerji tüketiminin şeker fabrikalarında meydana geldiği gözlenmiştir. Buradan hareketle şeker fabrikasında meydana gelen yüksek enerji tüketimini düşürebilmek için hesaplamalarda bulunulmuştur. Şeker

fabrikasında öncelik olarak enerji verimliliğinin artırılması gerektiğini ve sistemlerdeki verimsizliklerin tespit edilmesi gerektiği sonucuna ulaşılmıştır. Fabrikada şeker üretimi için gerçekleştirilen bütün süreçler ele alınmıştır. Fabrikadaki aşamalarda kullanılan metot sürekli akışlı açık sistemler olarak ele alınmıştır. Gerçekleştirilen aşamalarda enerji ve ekserji verimliliğinin artırılmasına yönelik çalışmalar yapılmıştır. Hesaplarda en düşük enerji verimine sahip ve en yüksek enerji verimine ait üniteler % 74 ve % 95 değerlerindeki buharlaştırıcı ve ham şerbet üniteleri olmuştur. Termodinamiğin ikinci kanunun kullanılmasıyla elde edilen verilere dayanarak en yüksek tersinmezliğin buharlaştırıcı ünitesinde meydana geldiği tespit edilmiştir.

Bilgili ve ark. (2015) Çukurova bölgesi sulu koşullarda yapılan soya yetiştiriciliğine ait tarımsal faaliyetler, ürün verimi gibi etmenler dikkate alınarak enerji tüketiminin saptanması hedeflenmiştir. Çalışmada örnek olarak gösterilen iller; Adana, Mersin ve Osmaniye illerinde gerçekleştirilen anket çalışması ile veriler toplanmıştır. Ayrıca 96 soya üreticisi ile yüz yüze görüşme sağlanmıştır. Soya tarımında kullanılan girdiler ve enerji eşdeğerleri göz önünde bulundurularak, gerçekleştirilen tarımsal faaliyetler ve enerji kaynaklarının kullanımına göre enerji tüketimi değerleri hesaplanmıştır. Elde edilen veri hesaplamalarına göre ana ve ikinci ürün soya yetiştiriciliğinde toplam enerji kullanımı $18785,2 \text{ MJ} \cdot (\text{kg}^{-1})$ ve $19380,5 \text{ MJ} \cdot (\text{kg}^{-1})$ 'dir. Soya yetiştiriciliğinde en fazla girdi gübre kullanımı sırasında gerçekleşen enerji tüketiminden kaynaklanmıştır. En az enerji kullanımının tespit edildiği noktaysa insan işgücünde (% 0,6-0,7) olduğu saptanmıştır. Enerji değerinin ve birim ürüne düşen enerji tüketimi verileri sırasıyla 3,3 - 2,8 ve 4,52 -5,27 $\text{MJ} \cdot (\text{kg}^{-1})$ olarak hesaplanmıştır.

Kaushik ve ark. (2011) kömür ve gazla uyarılan termik santrallerin enerji ve ekserji analizlerinin karşılaştırılmasını ele almıştır. Termik santraller için yıllar içinde yapılan değişik türden çalışmaların detaylı bir incelemesi yapılmıştır. Çalışma doğrultusunda, mevcut termik santrallerde iyileştirme için daha fazla araştırma ve tavsiyenin kapsamına da ışık tutmuştur. Termik santrallerin performansı, elektrik gücü ve termal verimlilik dâhil her aşama termodinamiğin birinci yasasına dayanan enerjilik performans kriterleri ile değerlendirilmiştir. Son yıllarda, termodinamiğin ikinci

yasasına dayanan dışsal performans, termik santrallerin tasarımında, değerlendirilmesinde, optimizasyonunda ve iyileştirilmesinde faydalı bir yöntem olarak bulunmuştur. Ekserjik performans bitki bileşenlerin verimliliğinin daha anlamlı bir boyut kazanmasını sağlar. Sonuç olarak % 100 işletme yük verimliliğine sahip bir tesisin % 50 olan verim kapasitesini ekserji analizi sonucunda % 70-80 bandına çekmiştir.

Atmaca ve Yumrutaş (2014) çimento fabrikasının enerji, ekserji ve ekstroekonomik analizi iki kısımda incelenmiştir. Çimento endüstrisinin enerji yüzdesi endüstriyel üretimin dünya üzerinde yüzde 5'ini oluşturmaktadır. Tüm ana bölümleri ile birlikte bir çimento fabrikası ele alınmıştır. Enerji ve ekserji analizlerine ve performans değerlendirme parametrelerine bağlı termodinamiğin birinci ve ikinci kanunu uygulanmıştır. Çimentonun optimum fiyat elde edilmesi ve tüm tesisin spesifik enerji tüketiminin hesaplanması yapılmıştır. Sonucunda ise, enerji / ekserji verimliliği, nispi enerji / ekserji tüketimi, yakıt enerjisi / ekserji tükenme oranı, verimlilik eksikliği oranı, enerjik ve ekserji iyileştirme potansiyeli, enerji / ekserji kayıplarının toplam sermaye yatırım maliyetine oranı, her bir ünite ve çimento fabrikasının tamamı için enerjik ve enerjik performans parametreleri elde etmek için tanımlanmıştır.

Utlu ve Söğüt (2006) Türkiye'de bir çimento fabrikasındaki farin değirmenin ve hammadde hazırlama ünitesinin enerji ve ekserji analizlerini yapmışlardır. Farin değirmeni (RM) saatte 82,9 ton malzeme kapasitesine sahiptir. Tesis performans analizi ve iyileştirme için RM'nin hem enerji hem de ekserji verimleri incelenerek sırasıyla % 84,3 ve % 25,2 olarak belirlenmiştir. Mevcut teknik, enerji ve ekserji kullanımının analizinde, enerji politikalarının geliştirilmesinde ve enerji tasarrufu önlemlerinin sağlanması yararlı bir araç olarak önerilmektedir. RM'de ekserji kullanımını iyileştirmek için incelenen tesis içinde bir enerji yönetimi yapısı oluşturmaya yönelik bilinçli ve planlı bir çabaya ihtiyaç olduğu açıktır. Benzer sektörlerde enerji verimli teknolojilerin varlığı düşünöldüğünde, en büyük sorun bu teknolojilerin tüketicilere ulaştırılması veya başka bir deyişle etkili enerji verimliliği sağlama mekanizmalarının kullanılması olmuştur.

Çamdalı ve Erişen (2004) Türkiye’de bir fabrikada çimento üretiminde ön kalsinasyonlu döner brülör de ekserji ve enerji analizi çalışması yapmışlardır. Bunun için fabrikanın gerçek verilerini kullanmışlardır. Termodinamiğin birinci ve ikinci kanununu kullanmışlardır. Sonuç olarak kaybedilen ekserji yüzdesi toplam enerjinin yüzde 35,6’sıdır. Bu oran baca gazlarının enerji yüzdesinden sonraki en yüksek orandır. Enerji verimliliği yaklaşık % 97 olmasına rağmen ekserji verimliliği % 64,5’tir.

Icier ve ark. (2010) brokolinin 3 farklı kurutma sistemindeki ekserji analizi ve değerlendirilmesi üzerinedir. Kurutma havası sıcaklığının kurutma işleminin ekserji tahribatı, ekserji verimliliği ve ekserjik iyileştirme potansiyeli üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Kurutma odası için ekserji yok etme oranı, hem tepside hem de ısı pompalı kurutucuda 1.5 m / s'deki kurutma havası sıcaklığının yükselmesiyle artmıştır. En yüksek ekserji verimlilik değeri diğer iki kurutma sistemine göre akışkan yataklı kurutucuda % 90,86 olarak elde edilmiş ve iyileştirme potansiyeli oranı 45°C kurutma havası sıcaklığında brokoli kurutması sırasında ısı pompalı kurutucuda en yüksek olmuştur (1.0 m / s kurutma havası hızı).

Özilgen ve ark. (2011) bitkisel yağ üretiminde enerji ve ekserji kullanımı ve karbondioksit emisyonu üzerine bir çalışma yapmıştır. Soya fasulyesi, ayçiçeği ve zeytinyağı üretiminde enerji ve ekserji kullanımı ve karbondioksit salınımı değerlendirilmiştir. Her durumda, tarım en enerji ve ekserji yoğun süreçtir ve karbondioksitin çoğunu yayar. Soya fasulyesi, zeytin ve ayçiçek yağı için kümülatif mükemmellik derecesi sırasıyla 0,92, 0,98 ve 2,36'dır. Sonuç olarak Tarımda ayçiçeği üretmek için en az ekserji tüketilir; yani 3425,7 MJ / ton ayçiçeği. Soya tarımı için 6092.9 MJ / ton ekserji tüketimi ve zeytin tarımı 7904.7 MJ / ton gerektirmiştir.

Song ve ark. (2019) enerji ve kaynak muhasebesini içeren termal süreci ve ekserji ölçütleriyle dönüşüm sürecini analiz etmeyi amaçlamıştır. Kaynak ekserji dönüşüm verimliliği, ekserji kaybı oranı ve geri dönüşüm oranı hesaplanmıştır ve çimento üretim zincirinin her bir bölümü dikkate alınarak karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak ise, öğütme aşamasının en yüksek dönüştürme verimliliğine sahip olduğunu ve bunu

klinker kalsinasyonlarının izlediğini, hammadde hazırlama ve pülverize kömür hazırlama işlemlerinin ise çok daha düşük olduğunu göstermiştir.

Bühler ve ark. (2018) bir süt tozu üretim tesisini analiz etmek için enerji, ekserji ve ileri ekserji yöntemleri kullanmışlardır. Bu analizde tüm üretim hattının (süt işleme, buharlaştırıcılar ve kurutucular) ve yardımcı sistemlerin modellendiği fabrika verilerine dayanıyordu. Elde edilen sonuçlara göre optimizasyon potansiyelini ve farklı yöntemlerin süt endüstrisine uygulanabilirliğinin bir karşılaştırmasını göstermiştir. Sıkıştırma analizi ve enerji haritalaması, ısı entegrasyonu potansiyelinin küçük olduğunu göstermiştir.

Silva ve ark. (2021) Brezilya'da mısır tanelerinin kurutulmasının enerji ve ekserji analizi üzerine bir çalışma yapmıştır. Brezilya'da bahar ekinoksunda karma kabinli bir güneş kurutucu tasarlanmış ve test edilmiştir. Mevcut tasarımın en önemli avantajı, elektriksiz yerlerde bile çalışabilme yeteneğidir. Termodinamiğin birinci ve ikinci yasalarına göre analiz yapmışlardır. Ortalama güneş radyasyonu ve 710 W arasında, ortam sıcaklığı için m^2 ve $30\text{ }^\circ\text{C}$ 'de, elde edilen ortalama termal verimlilik % 21 ve ekserji verimliliği % 23 ortalama değerle % 10 ile % 66 arasında değişmiştir. Hava akış sıcaklığında ortalama $14\text{ }^\circ\text{C}$ artış sağlayarak maksimum $27\text{ }^\circ\text{C}$ 'ye ulaşmıştır.

Fudholi ve ark. (2014) kırmızı biber için güneş kurutma sisteminin performans analizi ile ilgili çalışmıştır. Kırmızı biber sistem kullanılarak 33 saatte % 80 wb'den % 10 wb nihai nem içeriğine kurutulmuştur. Çalışmada kırmızı biber için güneşte kurutma işleminin enerji ve ekserji analizleri yapılmıştır. Termodinamiğin birinci yasasını kullanarak, kolektörlerden elde edilen faydalı enerjiyi tahmin etmek için enerji analizi yapılmıştır. Ayrıca güneş kurutma işlemi sırasında ekserji analizi, termodinamiğin ikinci yasası uygulanarak tahmin edilmiştir. Elde edilen sonuçlar ise Özgül enerji tüketimi (SEC) $5,26\text{ kW h/kg}$ dır. Buharlaşma kapasitesi ve iyileştirme potansiyeli değerleri $0,13\text{ kg/s}$ ila $2,36\text{ kg /s}$ ve 0 W - 135 W aralığındadır. Sırasıyla W Solar toplayıcı, kurutma sisteminin verimliliği, pick-up ve ekserji 420 arasında bir ortalama güneş radyasyonu, sırasıyla % 28, % 13, % 45 ve % 57 idi W / m^2 ve $0,07$ 'lik bir kütle akış oranı kg / s .

Benzaoui ve ark. (2011) nanenin güneşle kurutma işleminin enerji ve ekserji analizi üzerine bir çalışma yapmışlardır. Deney yaz sezonunda Bouzareah'ta Cezayir tepelerinde gerçekleşmiştir. Optimizasyon ve tasarım, mümkün olan minimum enerji kullanımı için ürünlerin kuruma süresini azaltma eğilimi göstermiştir. Bu durumlardan önce genellikle titiz enerji ve ekserji kurutma işlemi analizi gelişmiştir ve çalışmadaki amaç olmuştur. Termodinamiğin birinci ve ikinci prensiplerini kullanarak, ısıtıcı tarafından alınan ve kurutma sırasında gerçekten kullanılan faydalı enerjiyi tahmin edebilmiştir. Enerji analizi, güneş enerjili ısıtıcı tarafından alınan ve kurutma için mevcut olan güneş enerjisini ölçmemizi sağlamıştır. Ekserji analizi, kurutma işlemi sırasında enerji kayıplarını tahmin etmemizi sağlamıştır.

Ferreira ve ark. (2017) Brezilya'nın Belo Horizonte şehrinde ufak tipte prototip bir güneş yükseltme kulesi dahilinde muzların kurutulmasının termodinamik bir analizini yapmışlardır. Deneysel olarak oluşturulan ortam koşulları ve hava akışı parametreleri elde edilip kullanılarak termodinamiğin birinci ve ikinci yasaları ile geliştirilmiştir. Ekserji değerleri belirlenmiştir ve şöyle bir sonuca varılmıştır. Gelen güneş ışınları muz kurutma süreci üzerinde önemli bir rol, daha yüksek güneş radyasyonu, yüksek ekserji oranları oynamıştır. Ekserji verimi güneş yukarı yönlü kule içinde ürünleri olmadan elde edilene kıyasla ve bu ekserjistik verimliliği yük % 20 ile % 27 arasında bulunmuştur.

Ramirez ve ark. (2006) dört Avrupa ülkesinde süt ürünleri endüstrisi için ülke çapında enerji tüketimi ve enerji verimliliği analizi gerçekleştirmiştir. Enerji verimliliğindeki değişiklikler iki farklı şekilde izlenmiştir. Bunun bir yolu, mandıralar tarafından işlenen ton sütün enerji kullanımına bakmışlardır. Diğer bir yol, gerçek enerji kullanımını, enerji verimliliğinde herhangi bir değişiklik olmayacak olsaydı kullanılacak olan enerjiyle karşılaştırmışlardır. Ürün karışımındaki değişiklikler dikkate alındığında sonuçlarımız Fransa, Almanya, Hollanda ve Birleşik Krallık'ın değerlerini düşürdüğünü göstermiştir. Yılda sırasıyla % 0,4, % 2,1, % 1,2 ve % 3,8. Sonuçlar ayrıca; İngiliz, Alman ve Hollanda süt endüstrilerinin enerji verimliliği göstergelerinde benzer (daha düşük) değerlere yaklaştığını ve Fransız süt endüstrisinin

benzer değerlere yakınsarsa % 30 tasarruf edeceğini göstermiştir. Almanya veya Birleşik Krallık için elde edilenler olarak.

Bhler ve ark. (2016) Danimarka sanayi sektörünün enerji ve ekserji analizini yapmışlardır. Sanayi sektörünün toplam birincil enerji kullanımının yaklaşık % 80'ini temsil eden en fazla enerji yoğun 22 proses endüstrisi için, ayrıntılı son kullanım modelleri oluşturulmuştur ve 2006-2012 yıllarına ait verilerle analiz edilmiştir. Sektörel enerji ve ekserji kayıpları yanı sıra ekserji tahribatı, aksi takdirde kaybedilen ısıyı geri kazanma ve değerlendirme potansiyelini ölçmek için daha da belirlenmiştir. Her bir proses endüstrisi için ekserji verimlilikleri 2012 yılında % 12-56 aralığında bulunmuştur. Bununla birlikte, bireysel proses endüstrileri için sektörler içinde verimliliklerde farklılıklar meydana gelir, detaylı analizlere duyulan ihtiyacın altını çiziyor. Ekserji kayıpları 3800 oldu. Bununla birlikte, merkezi ısı ve gc üretimi de dahil olmak üzere tam ekserji kayıpları 8700 TJ'yi aşmıştır. Analiz, amacı ve sonucu olarak sektör kayıplarını ve ekserji tahribatını belirleyerek endüstriyel sektörlerde atık ısı geri kazanım potansiyellerinin nasıl bulunduğunu Danimarka vaka çalışması için göstermiştir. Ek olarak, elektrik ve bölgesel ısıtma kullanımını için saha verimliliklerini düzelten bir sistem analizi uygulamanın önemi gösterilmiştir. 22 endüstrinin kullanımı, aynı sektöre ait endüstriler arasındaki farklılıkları daha da vurgulanmıştır.

Dai ve Chen (2011) eko-merkezli bir ölçü olarak genişletilmiş ekserjiye dayalı olarak 2000-2007 yılları arasında Çin'e doğal kaynak girdisinin değişimini analiz etmeyi amaçlamıştır. Ekolojik muhasebe açısından ikinci yasa ölüsüne dayanan ekserji sayacı ile ölçülen malzemeler, emek, sermaye ve çevresel yenileme ile genişletilmiş ekserjinin bileşimi ve oranı, Çin'deki topluma mevcut enerji girdisinin tüm durumunu açıkça ortaya koymuştur. Ayrıca, ekonomik olanlardan dört farklı üretim faktörünün katkısını göstermek için iki endeks, yani doğal kaynakların genişletilmiş ekserji tkretim yoğunluğu ve genişletilmiş ekserji verimliliği önerilmiştir. Sırasıyla sosyal ve çevresel yönlerden. Dahası Çin toplumunun genişletilmiş ekserji temelli analizi, uzun vadeli kaynak tükenmesinin ortaya çıkarılmasına ve sosyal-ekonomik-çevresel sistemdeki kaynak dönüşümünün etkinliğinin teşvik edilmesine yardımcı olabilir,

böylece karar vericiler için bütüncül yöntem ve sistematik bir bakış açısı sağlayabilir çevre yönetimine saygı sağlayabilmiştir.

Tagnamas ve ark. (2021) amacı keçiboynuzu küspesi (*Ceratonia Siliqua*L.) bir konvektif güneş kurutucu kullanarak güneş enerjisiyle kurutmak olmuştur. Ayrıca farklı sıcaklıklarda (50 °C, 60 °C, 70 °C, 80 °C) ve farklı kurutma hava hızlarında kurutma kinetiğini anlamak ve karakteristik kurutma eğrisini elde etmek olmuştur. Sonuç olarak, kurutma sıcaklığının artması, kuruma süresinin azalmasına neden olmuştur. Ayrıca difüzyon katsayısının değişiminin $1,56 \times 10^{-9}$ ile $6,98 \times 10^{-9}$ arasında değiştiği ve ayrıca kurutma sıcaklığındaki artıştan etkilendiği bulunmuştur. Ayrıca üzerinde çalışılan güneş kurutucusunun performansını değerlendirmek için bir enerji-ekserji analizi yapılmıştır. Konvektif kurutucunun enerji ve ekserji verimleri sırasıyla % 4,23 – 7,25 ve % 30,12 – 80,5 aralığında değişmektedir.

Barnwal ve ark. (2019) Hindistan'da süt ve yağ üretimi yapan fabrikadaki makinelerin enerji, ekserji ve termoekonomik analizi yapılmıştır. Hindistan Dünya çapında süt ve süt ürünlerinde kullanılmak üzere Ghee üretiminde önemli bir yere sahip olmuştur. Hindistan'da yağ tüketimi % 44, süt tüketimi % 28'lik bir paya sahip olmuştur. Evrensel ekserji verimliliği ve belirli ekserji yok olma oranı değeri sırasıyla % 34.21 ve 438.61 kJ / kg olarak bulunmuştur. Fabrikadaki üretim tesisi için ekserji yok etme maliyet oranı 3270.68 R / H olarak hesaplanmıştır. Bunun % 39' u yağ üretimi için kazandan (yağ kazanı) katkıda bulunmuştur. Yüzde göreceli maliyet farkının en yüksek değeri, tereyağı eritici (% 97,29) ve ardından tereyağı çırpıcı (% 96,73) ile ilişkilendirilmiştir. Termo-ekonomik faktör tereyağı çırpıcı (% 8) ve yağ kazanı (% 1,09) sermaye yatırımının etkisinin eskiden daha etkili olduğunu ortaya koyarken, aşırı bozunma ikincisinde daha belirgin olarak görülmüştür.

Literatürdeki çalışmalardan görüldüğü gibi endüstrideki işletmelerin enerji harcamaları, enerji ihtiyaçları ve enerjinin daha verimli bir şekilde kullanılması gibi konularda işletmeye yeni çözümler ve olumlu katkılar sağlamaktadır. Literatürdeki çalışmalara bakıldığında enerji analizi, ekserji analizi, termo-ekonomik analiz bir

bütün olarak yapılmamıştır. Bu çalışmada, enerji, ekserji ve termoekonomik analiz bir bütün olarak yapılarak sistemin enerji, ekserji ve termo-ekonomik analizi yapılmıştır. Bu çalışmada, Dalgıçlar Eren Gıda süt ve türevleri tesisinde yoğurt üretim aşamasının bir bütün olarak veya parça parça olacak şekilde ısı geri kazanımı, üretimin ne şekilde arttırılacağı, üretimin devamlılığının nasıl arttırılarak sağlanacağı, üretimdeki yeniliklerin neleri içerdiği, bütün bunların maddi olarak yararını sağlamak amacıyla çalışmalar yapılmıştır. Ayrıca, sistemdeki tüm bileşenlerin, enerji-ekserji verimliliği, maliyet oranı, ekserji yıkımı gibi termodinamik ve termoekonomik hesaplamaları yapılmıştır. Yüzde göreceli maliyet farkı, termoekonomik faktör, toplam işletme maliyeti oranı, termoekonomik hesaplamalarının verimlerinin işletme yararı için analizleri yapılmıştır.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

Çorum ili organize sanayi bölgesi süt ve süt ürünleri üretimi yapan Dalgıçlar-Eren Gıda fabrikasında yoğurt üretim noktasındaki enerji-ekserji-termoekonomik analizi yapılmıştır. Analiz çalışmasından elde edilen üretim şemasında yapılan enerji, ekserji ve termoekonomik hesaplamalar, ölçülen sıcaklık değerleri ile kullanılan geçerli termodinamik tabloları baz alınarak elde edilen veriler detaylı olarak anlatılmıştır.

3.1. Fabrika üretim aşamaları ve kullanılan makinelerin tanıtılması

Dalgıçlar-Eren Gıda süt ve süt ürünleri fabrikasındaki yoğurt üretim bölümündeki makinelerin ve gerçekleşen işlem analizlerinin enerji-ekserji ve termoekonomik hesaplamaları aşağıdaki şekilde ifade edilmiştir.

3.1.1 Yoğurt üretim aşamaları

Yoğurt üretim aşamalarının isimleri ve kısaltmaları aşağıda verilmiştir:

- a) Çiğ süt işlenmesi (ÇSİ)
- b) Standardizasyon işlemi (STİ)
- c) Termizasyon işlemi (Tİ)
- d) Evaporasyon işlemi (Eİ)
- e) Homojenizasyon işlemi (Hİ)
- f) Pastorizasyon işlemi (Pİ)
- g) Proses dolum işlemi (PDİ)
- h) Dolum-paketleme işlemi (DPİ)
- I) Soğutma işlemi (SİŞ)
- i) Ürün kontrolü işlemi (ÜKİ)
- j) Sevkiyat işlemi (SEİ)

Bu aşamalar aşağıda detaylı bir şekilde ifade edilmiştir.

a) Çiğ süt işlenmesi (ÇSİ)

Çiftliklerden 4-12°C arası sıcak veya soğuk süt tankerlerine alınan sütler süt işleme merkezine getirilmiştir. Süt tankları büyük çoğunluğu paslanmaz çelikten üretilmiş kolayca temizlenebilir cinsten imal edilmiştir. Süt işleme merkezine gelen sütlerden örnek alınarak kalite ve insan sağlığına uygunluğu için analizler yapılmıştır. Analizler; yağ oranı, antibiyotik tayini, bakteri oranı, pH değeri analizleridir.

Fabrikadaki çiğ süt tankları Resim 3.1’de verilmiştir.



Resim 3.1. Çiğ süt tankları

b) Standardizasyon işlemi (STİ)

Sütün içeriğindeki protein, yağ, su yüzdesi (protein, yağ, su) sütü alan hayvanın cinsine, yetiştirme yerine, tarzına, yıl içerisindeki periyoda ve birçok etkene göre değişmiştir. Bu yüzden fabrikada sütün yağ oranı, su oranı, içindeki madde oranları belli bir standardizasyona getirilmesi gerekmektedir. Bunun için ise separatör yardımı ile sütün kreması ayrıştırılmıştır ve belli bir oranda yağsız süt ve süt kreması elde edilmiştir. Yağsız süt ve süt kreması tekrardan karıştırılarak istenilen miktarda ve yağ oranında süt elde edilmiştir. Bu şekilde istenilen tarzda yoğurt (light, yarım yağlı, tam yağlı vb.) elde edilmiştir.

Kuru madde standardizasyon tankı Resim 3.2’de verilmiştir.



Resim 3.2. Kuru Madde Standardizasyonu Tankı

c) Termizasyon işlemi (Tİ)

Süte yapılmış olan işlemlerden üçüncüsü termizasyon işlemi olmuştur. Çiğ sütün işleninceye kadar bozulmadan beklemesi için sınırlı bir bakteri içermesi amacıyla pastörizasyon uygulamasına kadar belirli bir ısı işlem gerçekleştirme aşamasıdır.

d) Evaporasyon işlemi (Eİ)

Evaporasyon işlemi için evaporatörler kullanılmıştır. Kızgın buhar içeren bir ısıtma sistemi vardır. Sistem 2 giriş ve 3 çıkışa sahiptir. Kızgın buhar olarak sistemi giriş yapan buhar sistemden yoğunlaşmış buhar olarak çıkar. Başka bir girişten seyreltik çiğ süt sisteme girer, suyunun bir kısmını buhar olarak bırakır ve konsantre süt olarak sistemden evaporatörden çıkar.

e) Homojenizasyon işlemi (Hİ)

Homejenizatör makinesi ile sütün sahip olduğu yağ moleküllerinin küçültüldüğü bölümdür. Homejenizatör; motor, krank kutusu, şasi, pistonlu pompa, bir veya birkaç homojenizatör kafası kumanda ve kontrol sisteminden oluşur. Elektrikle hareketlenen güçlü motor ve krank mili vasıtasıyla pompanın piston kolları gidip gelme hareketi yapar. Piston kollarının ucunda bulunan piston kafası gövde ve dış çemberden oluşur. Gövde ve dış çember arasında sütün geçebilmesine izin veren özel bir yarık bulunur.

Bu yarıktaki sıkışan sütün hızı artar. Bu arada yağ globülleri homojenizatörün kafasından geçerken güçlü bir kuvvetin etkisinde kalarak bölünür ve küçük globüller haline alır. Bu sayede homojenize süt elde edilmiştir.

f) Pastörizasyon işlemi (Pİ)

Fiziksel olarak temizlenen, konsantre hale getirilen ve homojenize edilen süt; mayalama (kültür ilavesi) yapılmadan önce mikrobiyolojik olarak da temiz hale getirilmesi ve patojen mikroorganizmalardan da arındırılması gerekmiştir. Bunu yapabilmek için pastörizasyon adını verdiğimiz işlem uygulanmıştır. Mikroorganizmaların aktivitesini engellemek amacı ile uygulanmıştır. Pastörizasyon işlemi için geliştirilmiş makinelere pastörizatör denir. Pastörizatörün bir tarafından belirli sıcaklıktaki su geçerken diğer girişten ısıtılmak üzere süt girer. Su ve süt birbirine karışmadan ısıtıcı bloklarda karşılaşır. Süt ısınır ve sıcak su ısı kaybeder. Bu sırada süt ile su hiçbir şekilde karışmaz. Sadece ısı geçişi olur. Isıl işlemin süresi pastörizatördeki boru uzunluğu, boru çapı, plaka sayısı, sütün ve sıcak suyun akış hızına göre ayarlanır.

Pastörizasyon hatları Resim 3.3'de verilmiştir.



Resim 3.3. Pastörizasyon Hatları

g) Proses dolum işlemi (PDİ)

Proses tanka dolum işlemi ve sonraki işlemlerde temizlik açısından daha fazla dikkat edilmiştir. Çünkü pastörizasyon işleminden sonraki işlemlerde herhangi bir mikroorganizmanın yok edilmesine yönelik bir işlem uygulanmamıştır. Elde edilmiş olan yoğurt kültürünün tankta homojen bir şekilde dağılması için proses tankın içinde mayalanmış süt dolum yapılarına kadar sürekli karıştırılmıştır.

Yoğurt dolum tankı Resim 3.4’de verilmiştir.



Resim 3.4. Yoğurt Dolum Tankı

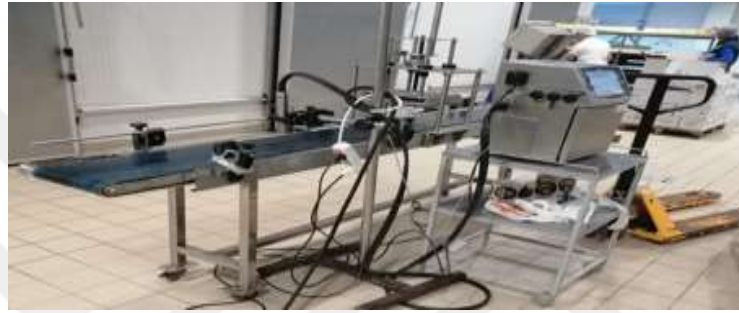
Yoğurt mayalama tankı Resim 3.5’de verilmiştir.



Resim 3.5. Yoğurt Mayalama Tankı

h) Dolum-paketleme işlemi (DPI)

Dolum işlemi makineler ile kovalara veya kaselere yapılmıştır. Dolum işleminin ardından kovalar ya da kaseler inkübasyon odasına götürülmüştür. Fermente işlemi sırasında yoğurt oluşumu sürekli gözlemlenmiştir. Jel oluşumu ve pH oluşumu sürekli gözlemlenmiştir. İstenen değerler sağlandığında yoğurt oluşumu tamamlanmıştır. Yoğurt dolum ünitesi Resim 3.6'da gösterilmiştir.



Resim 3.6. Yoğurt Dolum Ünitesi

İnkübasyon odası Resim 3.7'de verilmiştir.



Resim 3.7. İnkübasyon Odası

I) Soğutma işlemi (SİŞ)

Fermantasyon aşamasından sonra oluşan yoğurdun pH değerinin düşmemesi ve bakteri oluşumunu engellemek amacıyla yoğurdun hemen soğutulması aşaması yapılmıştır. Soğutulma aşaması yapılmaması durumunda yoğurta ekşime ve jel yapısında bozukluk olmuştur. Bozulma olmaması için yoğurtlar raflı arabalar ile beraber soğutma odasına götürülerek soğutulmuştur. İnkübasyon sonrası soğutma odası Resim 3.8’de verilmiştir.



Resim 3.8. İnkübasyon Sonrası Soğutma Odası

i) Ürün kontrolü işlemi (ÜKİ)

Sevkiyattan önce ürünler bir dizi son kontrolden geçmişlerdir. Kontroller genel olarak jel yapısı-tadı-kokusu, pH değeri, kuru madde tayini, protein tayini, ambalaj kontrolleri, mikrobiyotik tayinler vb. kontroller olmuştur.

j) Sevkiyat işlemi (SEİ)

Marketlere taşıma işlem zinciri iklimlendirme özelliğine sahip soğutma makineleri ile donatılmış araçlarla yapılmıştır. Soğutma makineleri araç motorundan bağımsız olarak çalışır. Araç motorundan bağımsız olarak çalışması sonucunda motorun durdurulması durumunda dahi çalışmasına devam etmiştir. Böylece herhangi bir bozulma olmadan sevkiyat işlemi gerçekleşmiştir.

3.1.2 Üretim tesisindeki yoğurt üretim aşamaları

Dalgıçlar-Eren Gıda süt ve süt ürünleri üretimi fabrikasındaki yoğurt üretim hattının şeması Şekil 3.1’de detaylı olarak verilmiştir. Şekil 3.1’de verilmiş olan yoğurt üretim hattında bulunan cihazların kısaltmaları aşağıdaki şekilde verilmiştir.

1. İlk soğutucu eşanjör (İSE)
2. Süt Depolama tankı (SDT)
3. Denge tankı (DET)
4. Yenileme ve ısı eşanjörleri (YIE)
5. Krema ayırıcı (KA)
6. Tutma bobini (TB)
7. Su tankı (ST)
8. 6 adet pompadan (P₁-P₆)

oluşmaktadır.

1. İlk soğutucu eşanjör (İSE)

Değişik sıcaklıklardaki iki ya da daha çok akışkanın, ısılarını, birbirine karışmadan (temas etmeden) birinden diğerine aktarmasını sağlayan cihazlardır. İlk soğutucu eşanjör giriş debisi 0,277 kg/s ve giriş sıcaklığı 292,15 K’dir. İlk soğutucu eşanjör Resim 3.9’da verilmiştir.



Resim 3.9. İlk Soğutucu Eşanjör

2. Süt depolama tankı (SDT)

Süt tankerleri ile fabrikaya gelen sütler sütün ilenme aşamasından önce süt depolama tanklarında muhafaza edilir. Süt depolama tankı giriş debisi 0,277 kg/sn ve giriş sıcaklığı 279,15 K'dir. Süt depolama tankı Resim 3.10'da verilmiştir.



Resim 3.10. Süt Depolama Tankı

3. Denge tankı (DET)

Sütün sağıldıktan sonra yararlı bakterilerin ve besin değerlerinin korunması amacıyla kullanılır. Denge tankı giriş debisi 0,277 kg/s ve giriş sıcaklığı 286,05 K'dir. Denge tankı Resim 3.11'de verilmiştir.



Resim 3.11. Denge Tankı

4. Yenileme ve ısı eşanjörleri (YIE)

Aynı plakanın iki farklı yüzeyinde, iki farklı sıcaklığa sahip sıvının akış halinde ilerlediği ve daha yüksek sıcaklıkta olanın soğutulması veya daha düşük sıcaklıkta olan akışkanın ısıtılması amacıyla tasarlanan ekipmanlardır. Yenileme ve ısı eşanjörlerine giriş debileri sırasıyla 0,277 kg/s, 0,12 kg/s'dir. Yenileme ve ısı eşanjörlerine giriş sıcaklıkları sırasıyla 288,15 K, 413,15 K'dir. Yenileme ve ısı eşanjörü Resim 3.12'de verilmiştir.



Resim 3.12. Yenileme ve Isı Eşanjörü

5. Krema Ayırıcı (KA)

Sütün kremasından arındırılması ve klarifikasyonun sağlanması görevini üstlenir. Sütün içerisindeki yağ moleküllerini verimli bir şekilde ayırırken, sütün içeriğini tehdit eden katı partiküllerden de arındırır. Krema ayırıcı Resim 3.13'de verilmiştir.



Resim 3.13. Krema Ayırıcı

6. Tutma bobini (TB)

İndüktörün elektrik enerjisini manyetik alan olarak depolayabilmesini sağlar. Tutma bobini giriş debisi 0,277 kg/s ve giriş sıcaklığı 325,15 K'dir.

7. Su tankı (ST)

Su ve havayı bir araya getirerek suya istenilen basınçlandırmayı vermektir. Kapalı depo bir hava haznesi görevi yapar. İçine su basıldığında suyun hacmi ile orantılı olarak hava basıncı da artar ve sıkışan hava suyun yüzeyine basınç yapar. Su tankı giriş debisi 0,277 kg/s ve giriş sıcaklığı 337,15 K'dir. Su tankı Resim 3.14'de verilmiştir.



Resim 3.14. Su Tankı

8. Pompalar (P)

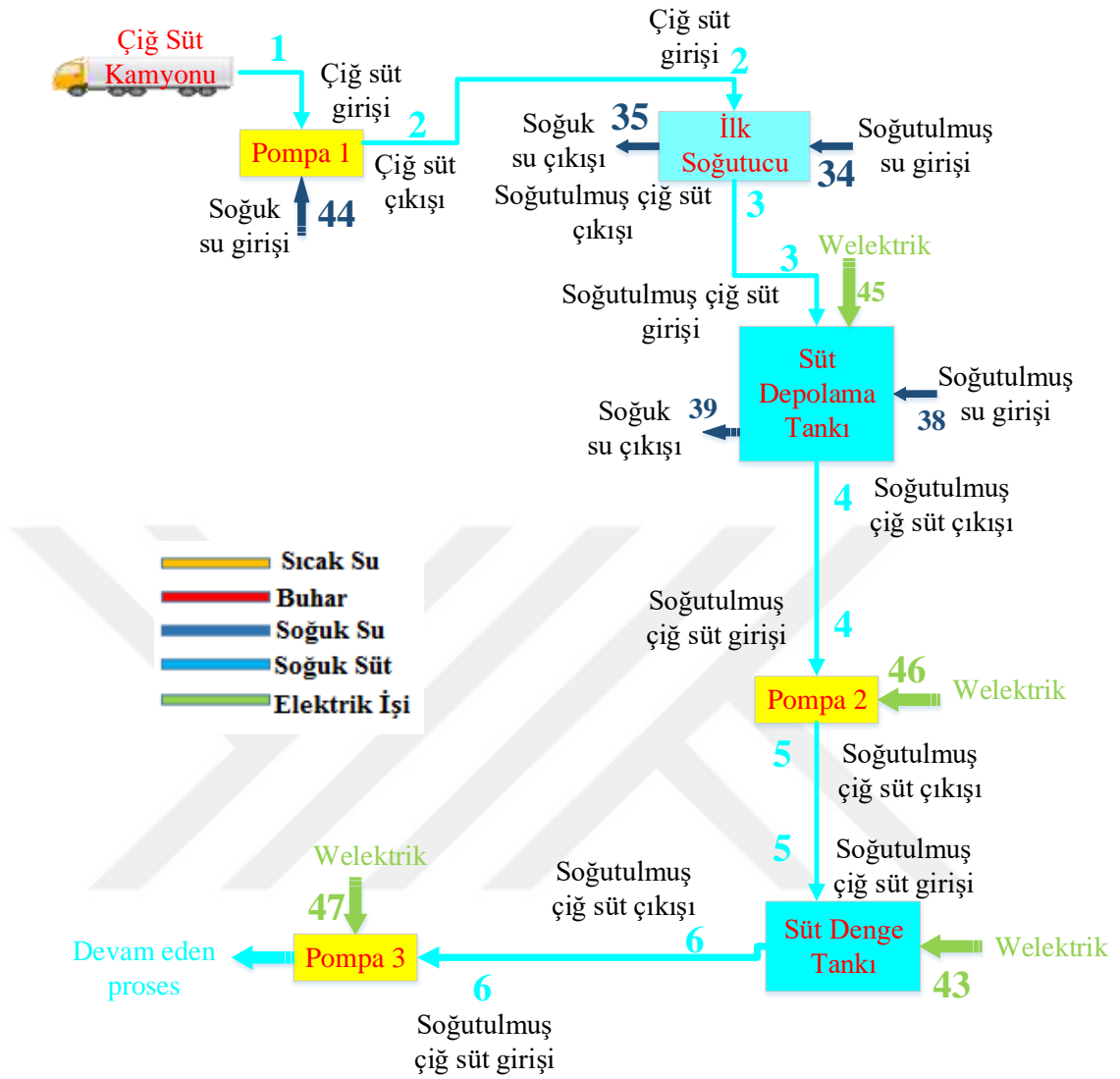
Süt, yoğurt üretim tesisindeki pompalar sütün transferini hijyenik bir şekilde iletme amacı ile kullanılırlar. Kullanılan pompalar özdeş olup üretim şemasındaki yerlerine göre giriş debileri ve giriş sıcaklıkları farklılık göstermiştir. Pompalar Resim 3.15’de verilmiştir.



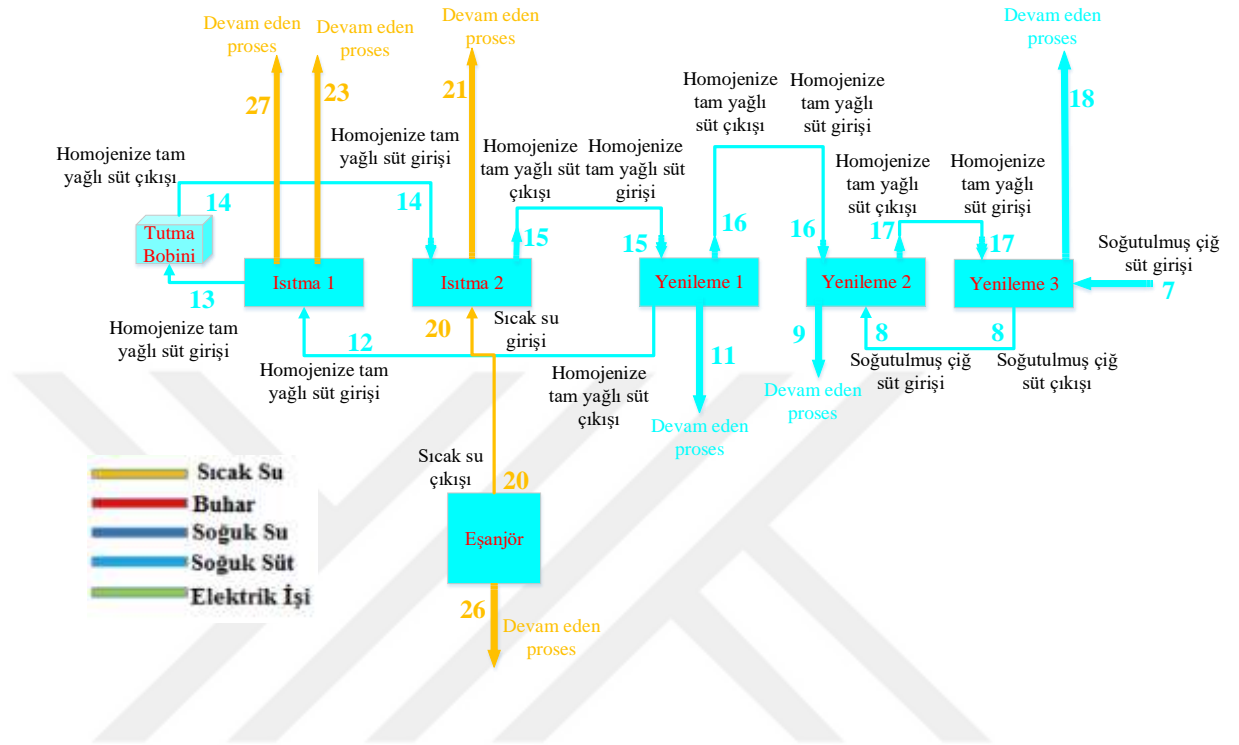
Resim 3.15. Pompalar

Dalgıçlar-Eren gıda yoğurt üretim hattı bir bütün olarak Şekil 3.1’de verilmiştir. Çizimin daha iyi ifade edilebilmesi için Şekil 3.1 dört farklı şekilde bölünmüştür (Şekil 3.2, Şekil 3.3, Şekil 3.4 ve Şekil 3.5). Yoğurt üretim hattı 1. aşamasında (Şekil 3.2) görüldüğü gibi pompa 1, ilk soğutucu, süt depolama tankı, pompa 2, süt denge tankı, pompa 3 hesaplamaları ayrı ayrı yapılmıştır. Yoğurt üretim hattı 2. aşamasında (Şekil 3.3) görüldüğü gibi yenileme 3, yenileme 2, yenileme 1, eşanjör, ısıtma 2, ısıtma 1, tutma bobini hesaplamaları ayrı ayrı yapılmıştır. Yoğurt üretim hattı 3. aşamasında (Şekil 3.4) görüldüğü gibi pompa 7, krem denge tankı, vidalı pompa, süt krema ayırıcı, pompa 4 hesaplamaları ayrı ayrı yapılmıştır. Yoğurt üretim hattı 4. aşamasında (Şekil 3.5) görüldüğü gibi su tankı, pompa 5 hesaplamaları ayrı ayrı yapılmıştır.

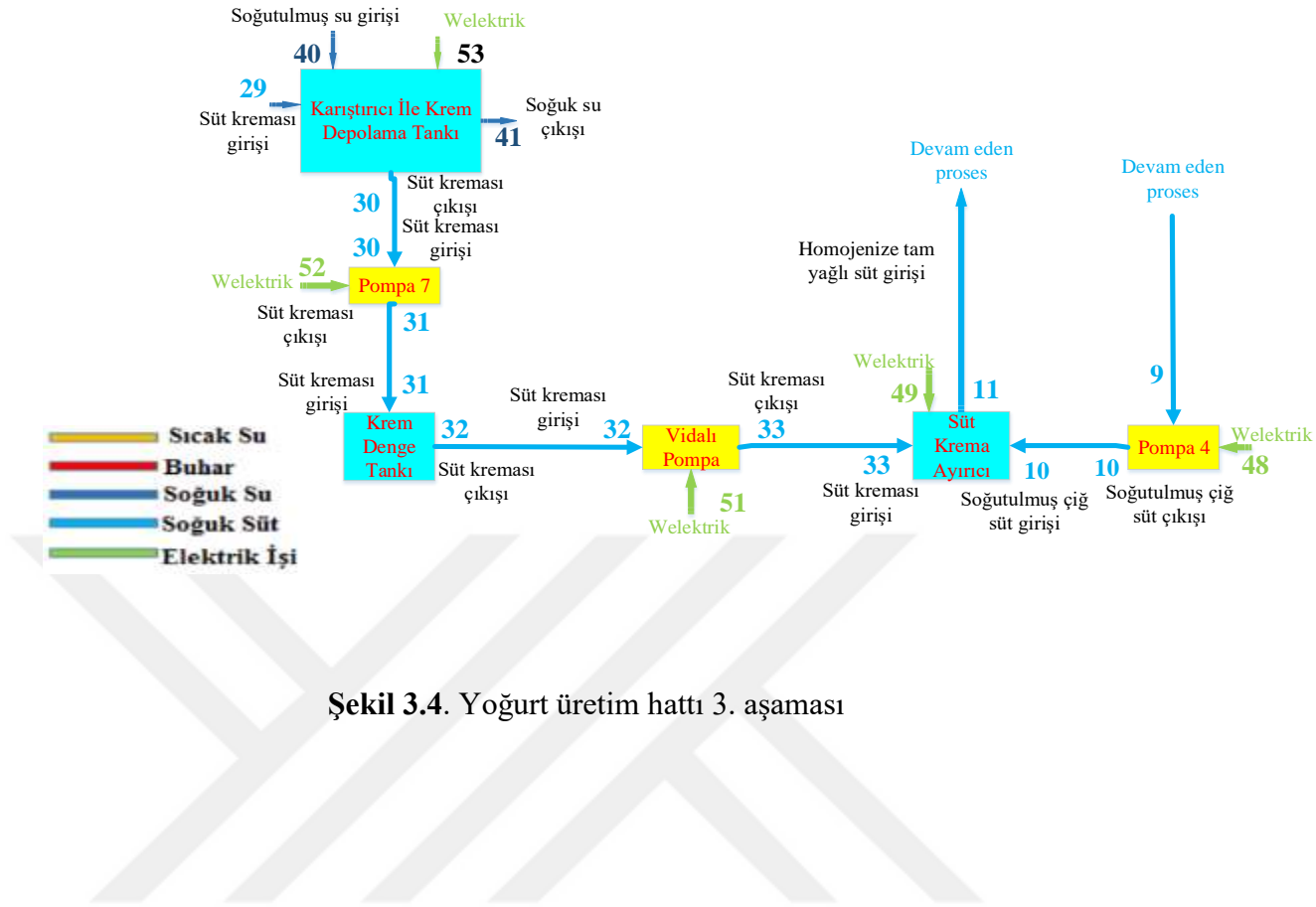
Şekil 3.1. Dalgıçlar - Eren Gıda Yoğurt Üretim Hattı Şeması



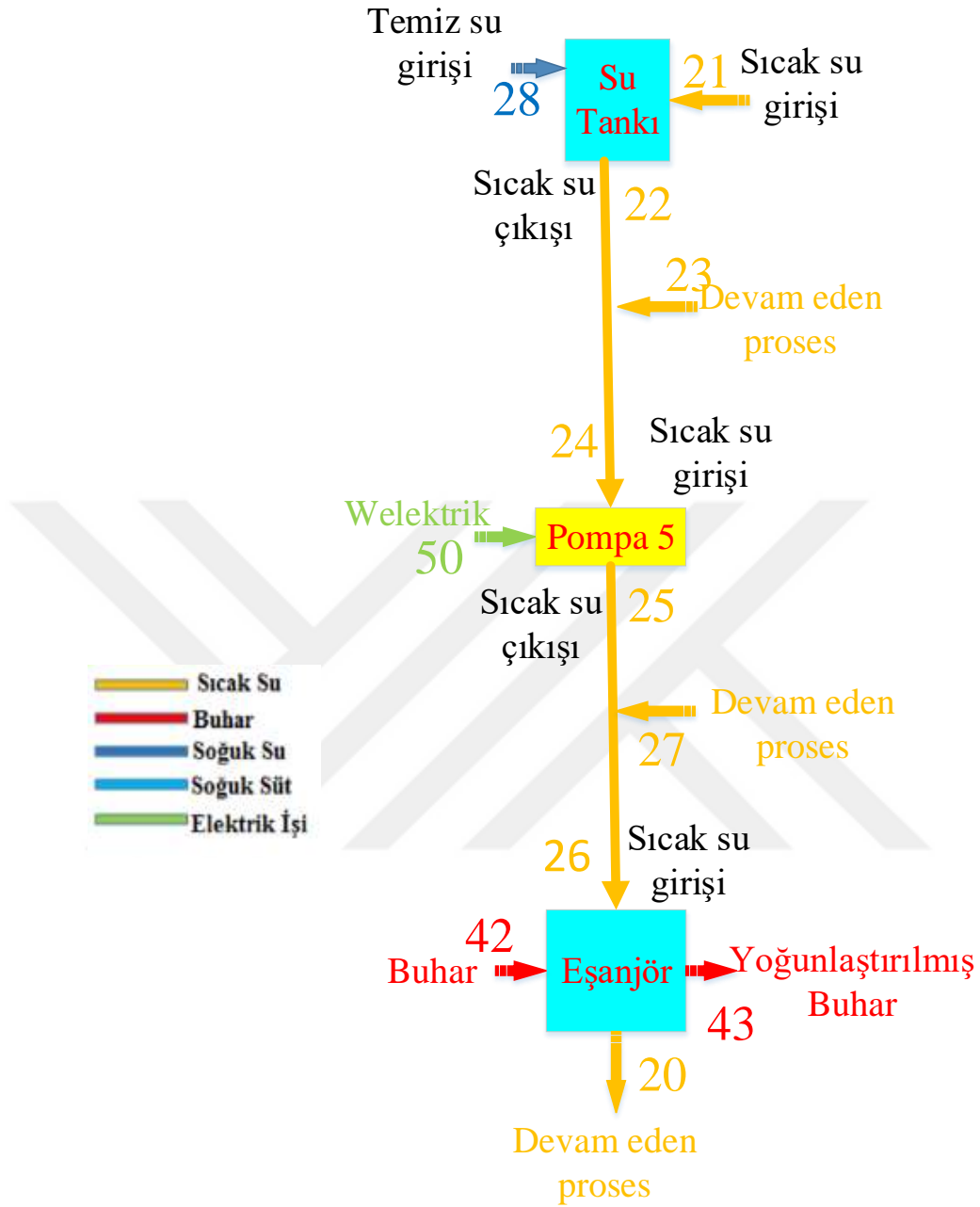
Şekil 3.2. Yoğurt üretim hattı 1. aşaması



Şekil 3.3. Yoğurt üretim hattı 2. aşaması



Şekil 3.4. Yoğurt üretim hattı 3. aşaması



Şekil 3.5. Yoğurt üretim hattı 4. aşaması

Yoğurt üretim aşamaları içeriği ile birlikte üretim hattı şemasında oluşan işlemleri ve verimleri verilmiştir. Çiğ süt tankları ile belirli derecelerde sıcak gelmiş olan çiğ sütlerimiz, çiğ süt tanklarından pompa vasıtası ile ilk soğutucuya gelmiştir. Pompadan aldığımız referans verim % 90,62'dir. İlk soğutucu makinede soğutulmuş olan sütün buradaki verimi % 96,41'dir. Süt depolama tankı gelmiş sütün tanktaki verimi % 93,55'dur. Standardizasyon ve termizasyon işlemleri için süt denge tankına gelmiş süt süt denge tankındaki verimi % 58,96'dır. Evaporasyon, homojenizasyon,

pastorizasyon işlemleri için ayrıca sütteki kremanın ayrılması ve yeterli jel ve kıvam aşamalarının sağlanması amacı ile karıştırıcı eşanjör ile krema depolama tankı, krem denge tankı, süt krema ayırıcı makinesi (verim % 55,57), ısıtma (ortalama verim % 94,5) ve yenileme eşanjörleri (ortalama verim % 97), tutma bobini (verim % 96,15) ve bunlara destekleyicilik sağlayan pompalar (ortalama verim % 85,57) vasıtasıyla pastörizasyon aşamasına gelip burada kültür ilavesi yapıldıktan sonra proses tanka dolmuş su tankına (verim % 60,19) getirilmiştir. İnkübasyon işleminden sonra oluşan pH değerinin düşmemesi ve bakteri oluşumunun engellenmesi için soğutma işlemi uygulanmıştır. En son aşamada da yoğunlaştırılmış buhar işlemi eşanjör vasıtasıyla uygulanmıştır. Eşanjör verimi % 66,84'tür. Ürün kontrolü aşamasından sonra ise sevkiyat yapılmış elde edilen yoğurt tüketiciye özel dizayn edilmiş sevkiyat arabaları ile soğukluk derecesi bozulmadan teslim edilmiştir.

3.2. Kabuller

Enerji-ekserji ve termoekonomik analiz hesaplamalarının amacına ulaşması için Çorum ilindeki Dalgıçlar-Eren Gıda süt ve süt ürünleri üretimi fabrikasından veriler alınmıştır. Belirtilen analiz için hesaplamalarda ele alınan teknik veriler 2020 yılında süt fabrikasının mekanik insan gücü aracılığı ile ölçülmüş ve kayda alınmıştır. Aşağıdaki kabuller yapılmıştır.

1. Tüm tesis ve bileşenlerinin sabit durumda çalıştığı varsayılmıştır.
2. Toplam enerjiye ve ekserjiye ait kinetik ve potansiyel enerji büyüklüğü ihmal edilmiştir.
3. Ölü hal sıcaklığı ve basıncı sırasıyla 298,15 K ve 101,325 kPa olarak kabul edilmiştir.
4. Çevre sıcaklığındaki değişiklik göz ardı edilmiştir.
5. Sırasıyla kazana giren ve çıkan yanma gazı, ideal gaz karışımları olarak kabul edilmiştir.
6. Buhar üretim sisteminde doğal gazın yanmasının tam bir kimyasal reaksiyon olduğu varsayılmıştır.

3.2.1 Belirsizlik analizi

Deneysel sonuçlardaki belirsizliği belirlemek için standart hata analizi yöntemi kullanılmıştır. Verilerdeki belirsizlik Kline ve McClintock tarafından önerilen prosedür ile saptanmıştır (Kline ve McClintock, 1953). Yapılacak bir deney sonucunda x bağımsız değişkenlerinin belirlenmesiyle saptanacak olan R bağımlı değişkeni, aşağıdaki şekilde ifade edilsin:

$$R = R(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n) \quad (3.1)$$

Burada $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$; bağımsız değişkenleri, R ise sonuç değişkenini belirtmektedir. w_R sonuç değişkenindeki belirsizliği, $w_1, w_2, w_3, \dots, w_n$ ise bağımsız değişkenlerdeki belirsizliği göstermek üzere aşağıdaki bağıntı Kline ve McClintock tarafından verilmiştir (Kline ve McClintock, 1953) :

$$w_R = \left[\left(\frac{\partial R}{\partial x_1} w_1 \right)^2 + \left(\frac{\partial R}{\partial x_2} w_2 \right)^2 + \dots + \left(\frac{\partial R}{\partial x_n} w_n \right)^2 \right]^{1/2} \quad (3.2)$$

Yoğurt üretim hattındaki ölçülen büyüklüklerdeki belirsizlikler Çizelge 3.1’de verilmiştir.

Çizelge 3.1. Ölçülen Büyüklüklerdeki Belirsizlikler

Değişkenler	Toplam belirsizlik
Sıcaklık ölçümündeki belirsizlik	$\pm 0,25^\circ\text{C}$
Kütlesel debi ölçümündeki belirsizlik	$\pm 0,02 \text{ kg/s}$
Basınç ölçümündeki belirsizlik	$\pm 0,025 \text{ kPa}$
Ekserji verimindeki toplam belirsizlik	$\pm \%2,3$

3.3. Termodinamik Analiz

Genel olarak herhangi bir sisteme, makineye, olaya vb. enerjik olarak uygulanmasında iki termodinamik yasası vardır. Birincisi var olan enerjinin yoktan var vardan yok edilemeyeceğidir. İkinci ekserji ilkesi ise termodinamiğin birinci yasası ile herhangi bir biçimde elde edilemeyen ürün işleme esnasındaki sistemdeki en fazla yararlı işi tanımlamak için uygulanan yasadır. Aşağıda verilen enerji ve ekserji eşitlikleri

(Çengel ve ark., 2007) kaynağından yararlanarak yoğurt üretimdeki tesisindeki bölümlere göre düzenlenmiştir.

3.3.1. Enerji ve ekserji analizi

Kütlenin korunumu denklemi denklem 3.3'te verilmiştir.

$$\sum \dot{m}_g = \sum \dot{m}_\zeta \quad (3.3)$$

Denklem 3.3'te \dot{m} kütleyi, alt simgeler 'giriş' ve 'çıkış' sırasıyla girdi ve çıktı şeklinde ifade edilmiştir.

Genel enerji denge denklemi;

$$\sum E_g - \sum E_\zeta = \Delta E_{sistem} = E_2 - E_1 \quad (3.4)$$

$$\sum \dot{E}_g - \sum \dot{E}_\zeta = \frac{dE_{sis}}{dt} \quad (3.5)$$

Akış diagramındaki bütün elemanlar sürekli rejimde çalıştığından dolayı $\frac{dE_{sis}}{dt} = 0$ olur. Buna göre enerji eşitliği aşağıdaki hali alır;

$$\sum \dot{E}_g = \sum \dot{E}_\zeta \text{ olur.} \quad (3.6)$$

Genel enerji dengesi;

$$\dot{Q} - \dot{W} + \sum_g \dot{m}h - \sum_\zeta \dot{m}h = \frac{dE_{sis}}{dt} \quad (3.7)$$

$\dot{E} = \dot{m} \cdot (h + ke + pe)$ şekli ile ifade edilir. Kinetik ve potansiyel enerjiler ihmal edildiği için

$$\dot{E} = \dot{m} \cdot h \text{ olmuştur.} \quad (3.8)$$

Birinci yasanın verimliliği enerji çıktısının enerji girdisine oranı olarak şu şekilde ifade edilir;

$$\eta = \frac{\Sigma \dot{E}_c}{\dot{W} + \Sigma \dot{E}_g} 100 \quad (3.9)$$

Genel ekserji dengesi;

$$\Sigma \left(1 - \frac{T_0}{T_s} \right) \dot{Q}_s - \left(\dot{W} - P_0 \frac{dV_{sis.}}{dt} \right) + \Sigma_g \dot{m} \psi - \Sigma_c \dot{m} \psi - \Sigma E_{x,yo} = \frac{dEx_{sis}}{dt} \quad (3.10)$$

İkinci yasa verimi;

$$\varepsilon = \frac{\dot{E}_{x_c}}{\dot{W} + \dot{E}_{x_g}} \cdot 100 \quad (3.11)$$

Akış diagramındaki bütün elemanlar sürekli rejimde çalıştığından dolayı $\frac{dEx_{sis}}{dt} = 0$ ve $P_0 \frac{dV_{sis}}{dt} = 0$ olur. Buna göre ekserji yok oluşu;

$$\Sigma E_{x,yo} = \left(1 - \frac{T_0}{T_s} \right) \dot{Q}_s - \dot{W} + \dot{m}(\psi_1 - \psi_2) \quad (3.12)$$

$$\Sigma \dot{E}_{x,yo} = \Sigma \dot{E}_{x_g} - \Sigma \dot{E}_{x_c} \quad (3.13)$$

Ekserji eşitliği ise;

$$\dot{E}x = \dot{m} \cdot \psi = \dot{m} \cdot [(h - h_0) - T_0 \cdot (s - s_0)] \quad (3.14)$$

$$\dot{E}x_1 = \dot{m}_1 \cdot \psi_1 = \dot{m}_1 \cdot [(h_1 - h_0) - T_0 \cdot (s_1 - s_0)] \quad (3.15)$$

$$\dot{E}x_2 = \dot{m}_2 \cdot \psi_2 = \dot{m}_2 \cdot [(h_2 - h_0) - T_0 \cdot (s_2 - s_0)] \quad (3.16)$$

$$\dot{E}x_1 - \dot{E}x_2 = \dot{m} \cdot \Delta \psi = \dot{m} \cdot (\psi_1 - \psi_2) \quad (3.17)$$

$$\dot{E}x_1 - \dot{E}x_2 = \dot{m} \cdot [(h_1 - h_2) - T_0 \cdot (s_1 - s_2)] \quad (3.18)$$

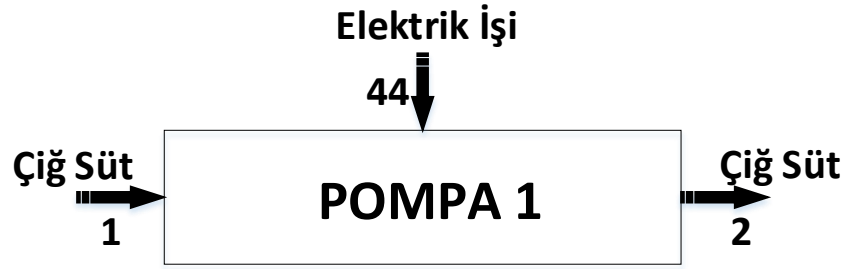
olarak hesaplanır. Tesisin tüm alt birimleri için temel termodinamik hesaplamaları Çizelge 3.2'de gösterilmiştir.

Çizelge 3.2. Enerji ve Ekserji Analizleri Kullanılan Formüller

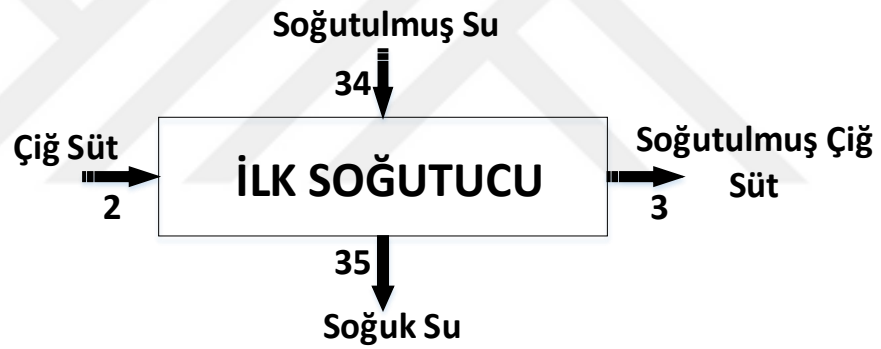
Enerji Verimliliği	$\eta = \frac{\sum \dot{E}_c}{\dot{W} + \sum \dot{E}_g} 100$
Enerji Kaybı	$\dot{E}_k = \sum \dot{E}_g - \sum \dot{E}_c$
Enerji İyileştirme Potansiyeli	$\dot{E}_{IP} = (1 - \eta) \dot{E}_k$
Göreceli Enerji Kaybı Oranı	$E_\beta = \left(\frac{\dot{E}_k}{\sum \dot{E}_k} \right) 100$
Enerjik Faktör	$E_{f=} \left(\frac{\dot{E}_g}{\sum \dot{E}_g} \right) 100$
Tesisin Enerji Verimliliği	$\eta_p = \left(\frac{\sum \dot{E}_c}{\dot{W} + \sum \dot{E}_g} \right) 100$
Ekserji Verimliliği	$\varepsilon = \left(\frac{\sum \dot{E}_{x_c}}{\dot{W} + \sum \dot{E}_{x_g}} \right) 100$
Ekserji Yok Oluşu	$\sum \dot{E}_{x_{yo}} = \sum \dot{E}_{x_g} - \sum \dot{E}_{x_c}$
Ekserji İyileştirme Potansiyeli	$\dot{E}_{x_{ip}} = (1 - \Psi) \dot{E}_{x_{yo}}$
Göreceli Tersinmezlik Faktörü	$\dot{E}_{x_B} = \left(\frac{\dot{E}_{x_{yo}}}{\sum \dot{E}_{x_{yo}}} \right) 100$
Ekserjetik Faktör	$\dot{E}_{x_T} = \left(\frac{\dot{E}_{x_g}}{\sum \dot{E}_{x_g}} \right) 100$
Sürdürülebilirlik Endeksi	$SI = \left(\frac{1}{1 - \Psi} \right)$
Tesisin Ekserji Verimliliği	$\Psi_p = \left(\frac{\sum \dot{E}_{x_c}}{\sum \dot{E}_{x_g}} \right) 100$

Yoğurt üretimindeki her bir aşamasındaki kullanılan makinelerin enerji ve ekserjileri Çizelge 3.3’de verilmiştir.

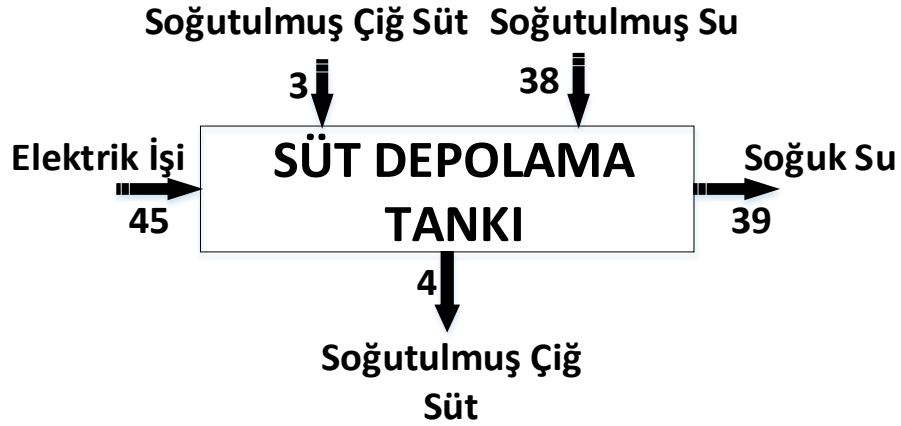
Çizelge 3.3. Yoğurt Üretim Tesisinin Alt Birimleri için Enerjetik ve Ekserjetik Formülasyonlar



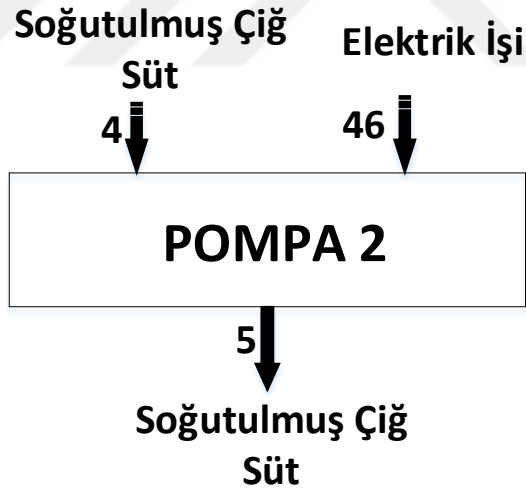
$$\begin{aligned} \dot{m}_1 &= \dot{m}_2 \\ \dot{E}_k &= (\dot{E}_1 + \dot{W}_{44}) - (\dot{E}_2) \\ \dot{E}_{x,yo} &= (\dot{E}_{x_1} + \dot{W}_{44}) - (\dot{E}_{x_2}) \\ \eta &= \frac{\dot{E}_2}{\dot{W}_{44} + \dot{E}_1} \times 100 \\ \varepsilon &= \frac{\dot{E}_{x_2}}{\dot{W}_{44} + \dot{E}_{x_1}} \times 100 = \left(1 - \frac{\dot{E}_{x,yo}}{\dot{W}_{44} + \dot{E}_{x_1}}\right) \times 100 \end{aligned}$$



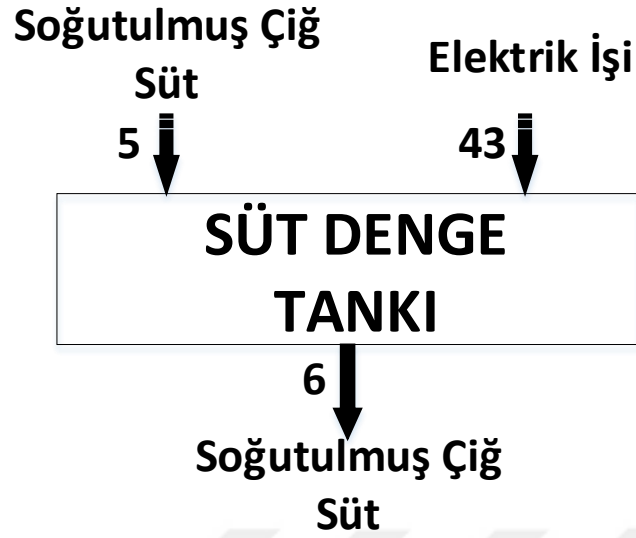
$$\begin{aligned} \dot{m}_2 + \dot{m}_{34} &\equiv \dot{m}_3 + \dot{m}_{35} \\ \dot{E}_k &= (\dot{E}_2 + \dot{E}_{34}) - (\dot{E}_3 + \dot{E}_{35}) \\ \dot{E}_{x,yo} &= (\dot{E}_{x_2} + \dot{E}_{x_{34}}) - (\dot{E}_{x_3} + \dot{E}_{x_{35}}) \\ \eta &= \frac{\dot{E}_3 + \dot{E}_{35}}{\dot{E}_2 + \dot{E}_{34}} \times 100 \\ \varepsilon &= \frac{\dot{E}_{x_3} + \dot{E}_{x_{35}}}{\dot{E}_{x_2} + \dot{E}_{x_{34}}} \times 100 = \left(1 - \frac{\dot{E}_{x,yo}}{\dot{E}_{x_{34}} + \dot{E}_{x_2}}\right) \times 100 \end{aligned}$$



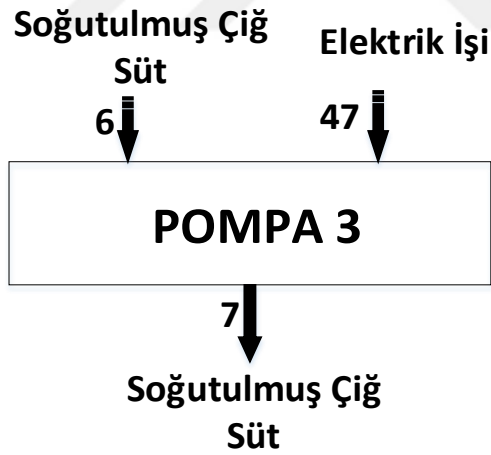
$$\begin{aligned} \dot{m}_3 + \dot{m}_{38} &= \dot{m}_4 + \dot{m}_{39} \\ \dot{E}_k &= (\dot{E}_3 + \dot{E}_{38} + \dot{W}_{45}) - (\dot{E}_4 + \dot{E}_{39}) \\ \dot{E}_{x,yo} &= (\dot{E}x_3 + \dot{E}x_{38} + \dot{W}_{45}) - (\dot{E}x_4 + \dot{E}x_{39}) \\ \eta &= \frac{\dot{E}_4 + \dot{E}_{39}}{\dot{E}_{38} + \dot{E}_3 + \dot{W}_{45}} \times 100 \\ \varepsilon &= \frac{\dot{E}x_4 + \dot{E}x_{39}}{\dot{W}_{45} + \dot{E}x_3 + \dot{E}x_{38}} \times 100 = \left(1 - \frac{\dot{E}x_{yo}}{\dot{W}_{45} + \dot{E}x_3 + \dot{E}x_{38}}\right) \times 100 \end{aligned}$$



$$\begin{aligned} \dot{m}_4 &= \dot{m}_5 \\ \dot{E}_k &= (\dot{E}_4 + \dot{W}_{46}) - \dot{E}_5 \\ \dot{E}_{x,yo} &= (\dot{E}x_4 + \dot{W}_{46}) - \dot{E}x_5 \\ \eta &= \frac{\dot{E}_5}{\dot{E}_4 + \dot{W}_{46}} \times 100 \\ \varepsilon &= \frac{\dot{E}x_5}{\dot{W}_{46} + \dot{E}x_4} \times 100 = \left(1 - \frac{\dot{E}x_{yo}}{\dot{W}_{46} + \dot{E}x_4}\right) \times 100 \end{aligned}$$



$$\begin{aligned}\dot{m}_5 &= \dot{m}_6 \\ \dot{E}_k &= \dot{E}_5 + \dot{W}_{43} - \dot{E}_6 \\ \dot{E}_{x,yo} &= \dot{E}_{x5} + \dot{W}_{43} - \dot{E}_{x6} \\ \eta &= \frac{\dot{E}_6}{\dot{W}_{43} + \dot{E}_5} \times 100 \\ \varepsilon &= \frac{\dot{E}_{x6}}{\dot{W}_{43} + \dot{E}_{x5}} \times 100 = \left(1 - \frac{\dot{E}_{x,yo}}{\dot{W}_{43} + \dot{E}_{x5}}\right) \times 100\end{aligned}$$



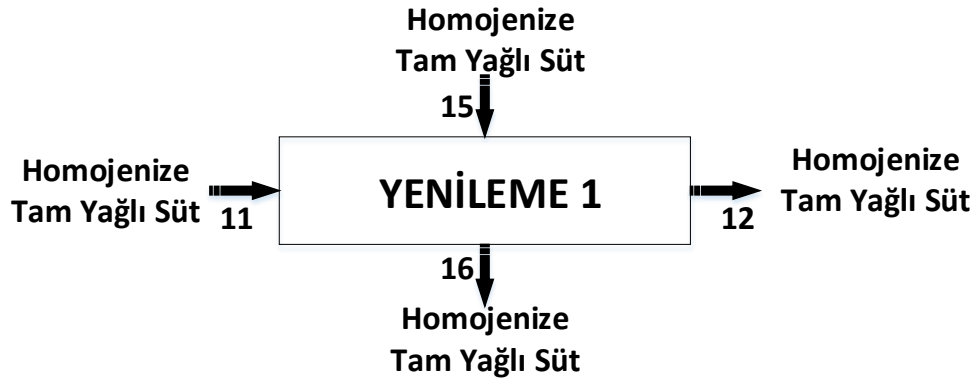
$$\begin{aligned}\dot{m}_6 &= \dot{m}_7 \\ \dot{E}_k &= (\dot{E}_6 + \dot{W}_{47}) - \dot{E}_7 \\ \dot{E}_{x,yo} &= (\dot{E}_{x6} + \dot{W}_{47}) - \dot{E}_{x7} \\ \eta &= \frac{\dot{E}_7}{\dot{E}_6 + \dot{W}_{47}} \times 100 \\ \varepsilon &= \frac{\dot{E}_{x7}}{\dot{W}_{47} + \dot{E}_{x6}} \times 100 = \left(1 - \frac{\dot{E}_{x,yo}}{\dot{W}_{47} + \dot{E}_{x6}}\right) \times 100\end{aligned}$$



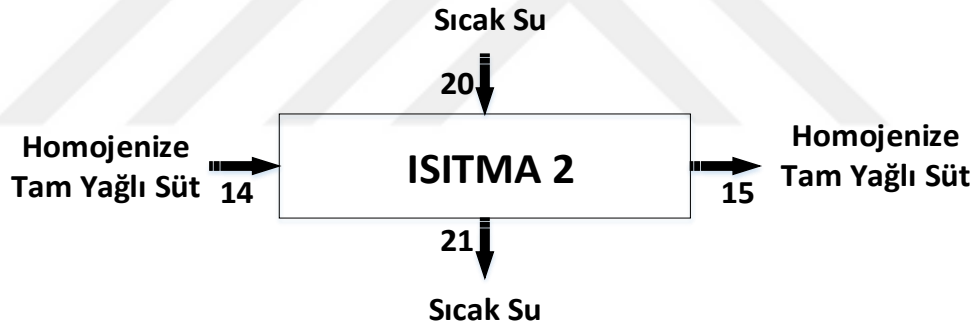
$$\begin{aligned} \dot{m}_7 + \dot{m}_{17} &= \dot{m}_8 + \dot{m}_{18} \\ \dot{E}_k &= (\dot{E}_7 + \dot{E}_{17}) - (\dot{E}_8 + \dot{E}_{18}) \\ \dot{E}_{x,yo} &= (\dot{E}_{x7} + \dot{E}_{x17}) - (\dot{E}_{x8} + \dot{E}_{x18}) \\ \eta &= \frac{\dot{E}_8 + \dot{E}_{18}}{\dot{E}_7 + \dot{E}_{17}} \times 100 \\ \varepsilon &= \frac{\dot{E}_{x8} + \dot{E}_{x18}}{\dot{E}_{x7} + \dot{E}_{x17}} \times 100 = \left(1 - \frac{\dot{E}_{x,yo}}{\dot{E}_{x17} + \dot{E}_{x7}}\right) \times 100 \end{aligned}$$



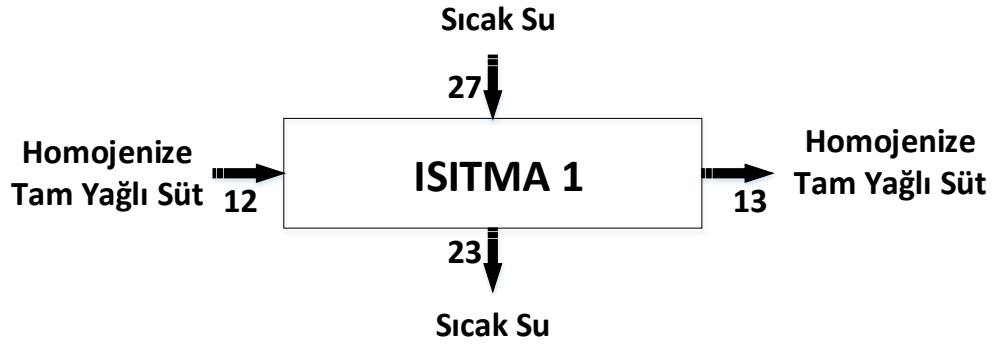
$$\begin{aligned} \dot{m}_{16} + \dot{m}_8 &= \dot{m}_9 + \dot{m}_{17} \\ \dot{E}_k &= (\dot{E}_{16} + \dot{E}_8) - (\dot{E}_{17} + \dot{E}_9) \\ \dot{E}_{x,yo} &= (\dot{E}_{x16} + \dot{E}_{x8}) - (\dot{E}_{x9} + \dot{E}_{x17}) \\ \eta &= \frac{\dot{E}_9 + \dot{E}_{17}}{\dot{E}_{16} + \dot{E}_8} \times 100 \\ \varepsilon &= \frac{\dot{E}_{x9} + \dot{E}_{x17}}{\dot{E}_{x8} + \dot{E}_{x16}} \times 100 = \left(1 - \frac{\dot{E}_{x,yo}}{\dot{E}_{x8} + \dot{E}_{x16}}\right) \times 100 \end{aligned}$$



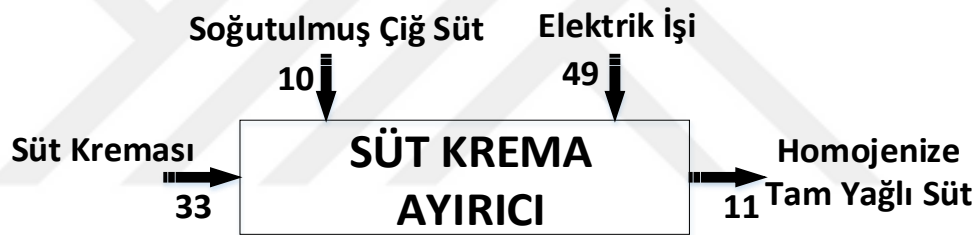
$$\begin{aligned} \dot{m}_{11} + \dot{m}_{15} &= \dot{m}_{16} + \dot{m}_{12} \\ \dot{E}_k &= (\dot{E}_{11} + \dot{E}_{15}) - (\dot{E}_{16} + \dot{E}_{12}) \\ \dot{E}_{x,yo} &= (\dot{E}_{x11} + \dot{E}_{x15}) - (\dot{E}_{x16} + \dot{E}_{x12}) \\ \eta &= \frac{\dot{E}_{16} + \dot{E}_{12}}{\dot{E}_{11} + \dot{E}_{15}} \times 100 \\ \varepsilon &= \frac{\dot{E}_{x16} + \dot{E}_{x12}}{\dot{E}_{x11} + \dot{E}_{x15}} \times 100 = \left(1 - \frac{\dot{E}_{x,yo}}{\dot{E}_{x11} + \dot{E}_{x15}}\right) \times 100 \end{aligned}$$



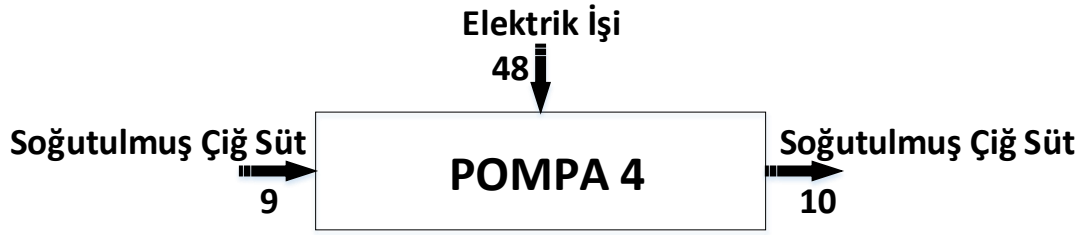
$$\begin{aligned} \dot{m}_{20} + \dot{m}_{14} &= \dot{m}_{21} + \dot{m}_{15} \\ \dot{E}_k &= (\dot{E}_{20} + \dot{E}_{14}) - (\dot{E}_{21} + \dot{E}_{15}) \\ \dot{E}_{x,yo} &= (\dot{E}_{x20} + \dot{E}_{x14}) - (\dot{E}_{x21} + \dot{E}_{x15}) \\ \eta &= \frac{\dot{E}_{21} + \dot{E}_{15}}{\dot{E}_{20} + \dot{E}_{14}} \times 100 \\ \varepsilon &= \frac{\dot{E}_{x21} + \dot{E}_{x15}}{\dot{E}_{x20} + \dot{E}_{x14}} \times 100 = \left(1 - \frac{\dot{E}_{x,yo}}{\dot{E}_{x20} + \dot{E}_{x14}}\right) \times 100 \end{aligned}$$



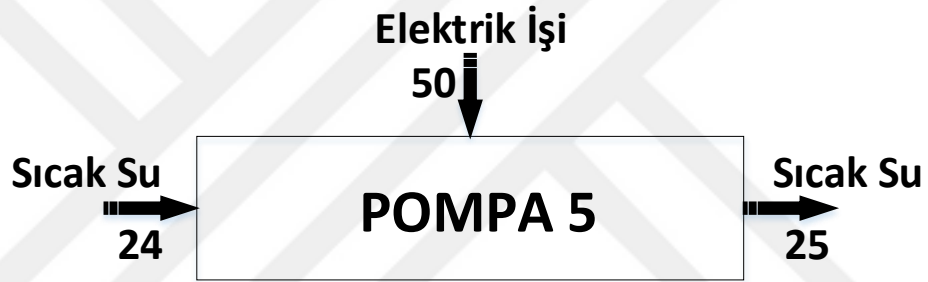
$$\begin{aligned} \dot{m}_{12} + \dot{m}_{27} &= \dot{m}_{13} + \dot{m}_{23} \\ \dot{E}_k &= (\dot{E}_{12} + \dot{E}_{27}) - (\dot{E}_{13} + \dot{E}_{23}) \\ \dot{E}_{x,yo} &= (\dot{E}_{x12} + \dot{E}_{x27}) - (\dot{E}_{x13} + \dot{E}_{x23}) \\ \eta &= \frac{\dot{E}_{13} + \dot{E}_{23}}{\dot{E}_{12} + \dot{E}_{27}} \times 100 \\ \varepsilon &= \frac{\dot{E}_{x13} + \dot{E}_{x23}}{\dot{E}_{x12} + \dot{E}_{x27}} \times 100 = \left(1 - \frac{\dot{E}_{x,yo}}{\dot{E}_{x12} + \dot{E}_{x27}}\right) \times 100 \end{aligned}$$



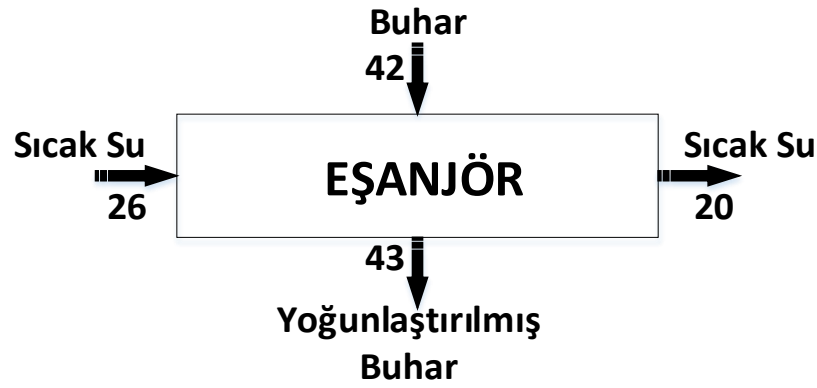
$$\begin{aligned} \dot{m}_{33} + \dot{m}_{10} &= \dot{m}_{11} \\ \dot{E}_k &= (\dot{E}_{33} + \dot{E}_{10} + \dot{W}_{49}) - (\dot{E}_{11}) \\ \dot{E}_{x,yo} &= (\dot{E}_{x33} + \dot{E}_{x10} + \dot{W}_{49}) - (\dot{E}_{x11}) \\ \eta &= \frac{\dot{E}_{11}}{\dot{E}_{33} + \dot{E}_{10} + \dot{W}_{49}} \times 100 \\ \varepsilon &= \frac{\dot{E}_{x11}}{\dot{W}_{49} + \dot{E}_{x33} + \dot{E}_{x10}} \times 100 = \left(1 - \frac{\dot{E}_{x,yo}}{\dot{W}_{49} + \dot{E}_{x33} + \dot{E}_{x10}}\right) \times 100 \end{aligned}$$



$$\begin{aligned} \dot{m}_9 &= \dot{m}_{10} \\ \dot{E}_k &= (\dot{E}_9 + \dot{W}_{48}) - (\dot{E}_{10}) \\ \dot{E}x_{y0} &= (\dot{E}x_9 + \dot{W}_{48}) - (\dot{E}x_{10}) \\ \eta &= \frac{\dot{E}_{10}}{\dot{E}_9 + \dot{W}_{48}} \times 100 \\ \varepsilon &= \frac{\dot{E}x_{10}}{\dot{W}_{48} + \dot{E}x_9} \times 100 = \left(1 - \frac{\dot{E}x_{y0}}{\dot{W}_{48} + \dot{E}x_9}\right) \times 100 \end{aligned}$$



$$\begin{aligned} \dot{m}_{24} &= \dot{m}_{25} \\ \dot{E}_k &= (\dot{E}_{24} + \dot{W}_{50}) - (\dot{E}_{25}) \\ \dot{E}x_{y0} &= (\dot{E}x_{24} + \dot{W}_{50}) - (\dot{E}x_{25}) \\ \eta &= \frac{\dot{E}_{25}}{\dot{E}_{24} + \dot{W}_{50}} \times 100 \\ \varepsilon &= \frac{\dot{E}x_{25}}{\dot{W}_{50} + \dot{E}x_{24}} \times 100 = \left(1 - \frac{\dot{E}x_{y0}}{\dot{W}_{50} + \dot{E}x_{24}}\right) \times 100 \end{aligned}$$



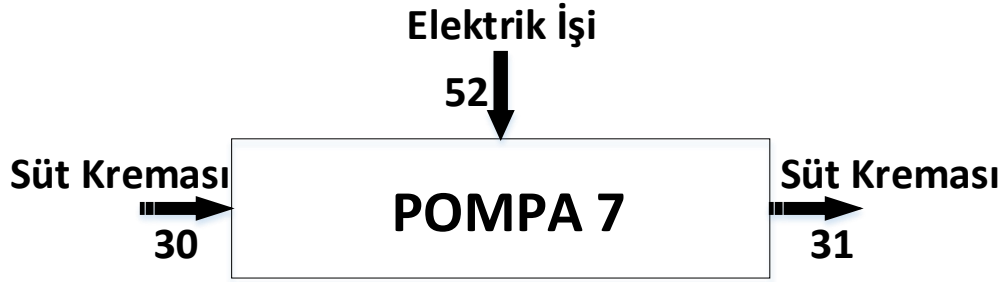
$$\begin{aligned} \dot{m}_{42} + \dot{m}_{26} &= \dot{m}_{43} + \dot{m}_{20} \\ \dot{E}_k &= (\dot{E}_{42} + \dot{E}_{26}) - (\dot{E}_{43} + \dot{E}_{20}) \\ \dot{E}x_{,yo} &= (\dot{E}x_{42} + \dot{E}x_{26}) - (\dot{E}x_{43} + \dot{E}x_{20}) \\ \eta &= \frac{\dot{E}_{43} + \dot{E}_{20}}{\dot{E}_{42} + \dot{E}_{26}} \times 100 \\ \varepsilon &= \frac{\dot{E}x_{43} + \dot{E}x_{20}}{\dot{E}x_{42} + \dot{E}x_{26}} \times 100 = \left(1 - \frac{\dot{E}x_{,yo}}{\dot{E}x_{26} + \dot{E}x_{42}}\right) \times 100 \end{aligned}$$



$$\begin{aligned} \dot{m}_{21} + \dot{m}_{28} &= \dot{m}_{22} \\ \dot{E}_k &= (\dot{E}_{21} + \dot{E}_{28}) - (\dot{E}_{22}) \\ \dot{E}x_{,yo} &= (\dot{E}x_{21} + \dot{E}x_{28}) - (\dot{E}x_{22}) \\ \eta &= \frac{\dot{E}_{22}}{\dot{E}_{21} + \dot{E}_{28}} \times 100 \\ \varepsilon &= \frac{\dot{E}x_{22}}{\dot{E}x_{21} + \dot{E}x_{28}} \times 100 = \left(1 - \frac{\dot{E}x_{,yo}}{\dot{E}x_{21} + \dot{E}x_{28}}\right) \times 100 \end{aligned}$$



$$\begin{aligned} \dot{m}_{13} &= \dot{m}_{14} \\ \dot{E}_k &= (\dot{E}_{13}) - (\dot{E}_{14}) \\ \dot{E}x_{,yo} &= (\dot{E}x_{14}) - (\dot{E}x_{13}) \\ \eta &= \frac{\dot{E}_{14}}{\dot{E}_{13}} \times 100 \\ \varepsilon &= \frac{\dot{E}x_{14}}{\dot{E}x_{13}} \times 100 = \left(1 - \frac{\dot{E}x_{,yo}}{\dot{E}x_{13}}\right) \times 100 \end{aligned}$$



$$\begin{aligned} \dot{m}_{30} &= \dot{m}_{31} \\ \dot{E}_k &= (\dot{E}_{30} + \dot{W}_{52}) - (\dot{E}_{31}) \\ \dot{E}_{x,yo} &= (\dot{E}_{x30} + \dot{W}_{52}) - (\dot{E}_{x31}) \\ \eta &= \frac{\dot{E}_{31}}{\dot{E}_{30} + \dot{W}_{52}} \times 100 \\ \varepsilon &= \frac{\dot{E}_{x31}}{\dot{W}_{52} + \dot{E}_{x30}} \times 100 = \left(1 - \frac{\dot{E}_{x,yo}}{\dot{W}_{52} + \dot{E}_{x30}}\right) \times 100 \end{aligned}$$

3.3.2 Termo-Ekonomik analiz

Dalgıçlar-Eren Gıda süt ve süt ürünleri fabrikasındaki elde edilen ekonomik veriler ve ilk maliyet rakamları tedarikçi firmadan fabrikanın almış olduğu ve günümüzdeki maliyetine göre alınmıştır. En geçerli ve ideal sonuçları bulmak için bütün sistemdeki makinelere ve alt sistemlere maliyet dağıtımı, işletme ve bakım giderleri fabrikanın bakım bölümünden alınmıştır. Ekonomik göstergeler, sermaye yatırım maliyetinin saatlik seviyelendirilmiş maliyet oranını, satın alma ekipmanı maliyetini, işletme ve bakım maliyet oranını ve saf yağ üretim tesisi ve alt bileşenlerinin toplam maliyet oranını içermiştir.

Fabrikanın maliyet raporunun en doğru biçimde elde edilmesi için ekserji maliyetlendirme biçimi meydana getirilmiştir. Ekserji maliyetlendirme biçimi her bir olayın enerji ve ekserji girdileri ve çıktılarının üretim şemasındaki her bir makine için tanımlanmasıdır. Termoekonomik analizdeki izlenecek aşamalar aşağıda verilmiştir;

1. Ekserji çıkış akılarının hesaplanması
2. Bileşenlerin her biri için girdi (yakıt) ve çıktı (ürün) ekserji değerinin ölçülmesi
3. Ürün maliyet değerlerinin sayısal belirlenmesi

Sermaye yatırımı için seviyelendirilmiş toplam maliyet oranının yanı sıra işletme ve bakım maliyeti formülüzasyonu (Singh ve ark., 2019) aşağıdaki şekilde ifade edilmiştir;

$$\dot{Z}_T = \dot{Z}_{CI} + \dot{Z}_{OM} \quad (3.19)$$

Tesisin her bir bileşeni için saatlik seviyelendirilmiş maliyet oranı, aşağıdaki altı sistematik adımda açıklanan algoritma ile hesaplanmıştır.

İncelenen yoğurt üretim fabrikasının bugünkü değeri (Singh ve ark., 2019);

$$PW = TCI - S \times PWF \quad (3.20)$$

Bu formülüzasyonda ilk yatırım maliyeti olarak 237100 TL yatırımın TCI'sı aşağıda verilen formülde tesisin kurtarma değeridir (Singh ve ark., 2019).

$$S = TCI \times J \quad (3.21)$$

J terimi, kurtarma değerinin % 8 olduğunu belirtir. Ayrıca, tek ödeme mevcut değer faktörü (PWF) veya tek ödeme indirimi faktörünün matematiksel temsili aşağıdaki ilişki ile verilmiştir (Singh ve ark., 2019).

$$PWF = \frac{1}{(1+i)^n} \quad (3.22)$$

Denklemdaki, yıllık faiz oranı ve tesisin faaliyette olduğu yıl sayısı; i ve n ile gösterilir; genel olarak i 'ye % 10 ve n 'ye 10 yıl olarak uygulanır. Bu denklemle beraber, alt birimin yıllık maliyeti aşağıdaki denklemde verilmiştir (Singh ve ark., 2019).

$$AC = PW \times CRF \quad (3.23)$$

CRF, sermaye geri kazanım faktörüdür. Değeri ise aşağıdaki gibi hesaplanmıştır (Singh ve ark., 2019);

$$CRF = \frac{i(i+1)^n}{(1+i)^n - 1} \quad (3.24)$$

Tesisin işletme ve bakım maliyeti (O&M) TL olarak hesaplanmıştır. Tesisin işletme ve bakım maliyeti 237100 TL'dir. Tesisin yılda 300 gün faaliyeti bulunup, üretim faaliyetine ise günde 9 saat devam edilmiştir. Fabrikanın çalışır iken toplam çalışma saat sayısı bir yıl için 2700 saat hesaplanmıştır. Yoğurt üretim sisteminin yıllık ekipman maliyeti aşağıdaki denklemde belirtilmiştir (Singh ve ark., 2019).

$$Z_{T,k} = \left[(1 + \varphi) \frac{AC}{\tau} \right] \frac{PEC}{\Sigma PEC} \quad (3.25)$$

Formülde, PEC, AC, τ ve φ değerleri bir yıldaki satın alma ekipman maliyeti, alt birimlerin yıllık maliyeti, toplam çalışma saati ve tolerans katsayısı olarak değerlendirilmiştir.

Yukarıda belirtilen algoritma adımlarından, saatlik seviyelendirilmiş sermaye yatırım maliyeti Z_{CI_k} , yanı sıra işletme ve bakım maliyeti Z_{OM_k} , beraberinde ise toplam seviyelendirilmiş maliyet Z_{T_k} hesaplanmıştır.

3.3.3 Performans parametreleri

Hesaplamaların bu aşamasında, fabrikanın yoğurt bölümünün bütün aşamalarındaki termodinamik ve termo-ekonomik hesaplamalarındaki ortak parametreler aşamalı olarak açıklanmıştır. Yoğurt için makinelerin ekserji başına ortalama maliyeti ve k bileşeni için ürün, belirtilen denklemler yazılarak belirtilmiştir (Singh ve ark., 2019);

$$C_{fk} = \frac{\dot{C}_{fk}}{\dot{E}_{x_{fk}}} \quad (3.26)$$

$$C_{pk} = \frac{\dot{C}_{pk}}{\dot{E}_{x_{pk}}} \quad (3.27)$$

Denklem 3.19 ve denklem 3.25 yakıt ve ürünün ortalama birim maliyet değerini belirtmiştir. Termodinamik analizi, fabrikanın bütün üretim sisteminde mali

dengelesizliklerle beraber güçlendirmek için termoekonomik faktör (f_k), ekserji Bozulma Maliyet Oranı (\dot{D}_{D_k}), yüzde göreceli maliyet farkı (r_k) Çizelge 3.4'teki denklemler kullanılarak tahmin edilmiştir.

Termoekonomik analizle ilgili faktörler Çizelge 3.4'te verilmiştir. (Singh ve ark., 2019);

Çizelge 3.4. Termoekonomik Analizle İlgili Faktörler

S.No	Faktörün Adı	Formül Gösterim
1	Yüzde Göreceli Maliyet Farkı	$r_k = \left(\frac{\dot{C}_{f_k} - \dot{C}_{p_k}}{\dot{C}_{f_k}} \right) \times 100$
2	Ekserji Kaybı Maliyet Oranı	$\dot{D}_{D_k} = C_{f_k} \times \dot{E}x_{D_k}$
3	Termo-Ekonomik Faktör	$f_k = \left(\frac{\dot{z}_k}{\dot{z}_k + C_{f_k} \times \dot{E}x_{y_0}} \right) \times 100$

Termoekonomik faktör, fabrikanın üretim şemasındaki aşamaları termodinamiği ekonomik olarak sıralayan yeni ürünlere harcanacak olan ekonominin maliyeti ve hesaplanacak olan enerjinin maliyetinin performansındaki etkisini arttıran değerlendirme aşaması olarak ifade edilmiştir. Malzemede yapılan değişiklikler, yapılan maliyet hesapları, termodinamik eksiklikler bu değerlendirme aşamasıyla hesaplanmıştır.

Kullanılan malzemenin, makinenin yüzde göreceli maliyet farkı, kullanılan girdinin ilk halinden son ürüne gelene kadar maddi harcamalardaki artışı belirlemiştir.

Fabrikanın tüm malzeme ve makinelerinin dış ekonomik değerlendirmesiyle öngörülen ekonomik yapılandırması, ilk maliyetinin veya ekserji imha maliyetinin fabrikanın genel özellikleri üzerindeki etkisinin değerlendirilmesine olanak sağlamıştır.

Özetle, analiz, termal yetersizlik ve sermaye yatırım maliyeti arasında optimum bir denge olmasını açıkça belirtmiştir. Termo-ekonomik analiz hedefleri:

1. Fabrikadaki üretim artışını sağlamak için gerekli maddi giderleri ve ilk aşama giderini belirlemek,
2. Son elde edilen sonucun elde edilmesine kadar olan ekserji maliyeti, birim ekserji başına maliyet ve üretim maliyetinin tam olarak belirlenmesini sağlamak,
3. Fabrikanın daha iyi verim vermesi için teknik ve mali kriterleri belirlemek,
4. Fabrikadaki verimi daha az maliyet ve daha fazla üretim olması için gerekli mali çalışmaları yapmak, başta yaptığımız çalışma doğrultusunda geliştirmek.

Ayrıca süt bileşenlerinin özgül ısısı işlem sıcaklığının bir fonksiyonu olarak gösterilebilir. Bu denklemler, Çizelge 3.5'te verilen özgül ısı değerlerini bildirmiştir. [Singh ve ark., 2019];

Çizelge 3.5. Süt ve Süt Türevlerinin Özgül Isı İlişkisi

Bileşen	Özgül Isı Kapasitesi
Protein	$C_{p_{protein}} = 2,0082 + (1,2089 T / 10^3) - (1,3129 T^3 / 10^6)$
Yağ	$c_{p_{yağ}} = 21,9842 + (1,4733xT/10^3) - (4,808x T^2/10^6)$
Su	4,18 kJ / kg

4. ARAŞTIRMA SONUÇLARI VE TARTIŞMA

4.1. Termodinamik Analiz

Enerji analizi, bir sistemdeki yapılacak iş için ne kadar enerji harcamamız gerektiğini ve bunun sonucundaki maliyet raporunu, ekserji analizi ise ne kadar yok olma olduğunu bunun bize ekonomik olarak ne maliyet gerektirdiğini ifade eder. Elde edilen verilere göre termoekonomik analizin gerçek ve ekstraekonomik analizi yapılır. Yoğurt için akışkan türü, basınç, sıcaklık ve kütle akış hızları aşağıdaki izelge 4.1‘de verilmiştir.



Çizelge 4.1. Yoğurt üretim tesisinin tüm durum noktaları için enerji ve ekserji değerleri

	Durum	T (Kelvin)	P (Bar)	\dot{m} (kg/sn)	Enerji (kW)	Ekserji (kW)
1	%4,25 Yağlı Süt	293,15	1	0,277	23,24	0,045
2	%4,25 Yağlı Süt	292,15	1,25	0,277	22,08	0,075
3	%4,25 Yağlı Süt	291,15	2,75	0,277	20,93	0,104
4	%4,25 Yağlı Süt	290,15	2,75	0,277	19,77	0,134
5	%4,25 Yağlı Süt	289,15	2,75	0,277	18,61	0,163
6	%4,25 Yağlı Süt	289,15	2,75	0,277	18,61	0,163
7	%4,25 Yağlı Süt	288,15	2,75	0,277	17,45	0,193
8	%4,25 Yağlı Süt	287,95	2,48	0,277	17,33	0,319
9	%0,051 Yağlı Süt	287,75	1,1	0,277	18,14	1,374
10	Krema % 37 Yağlı Süt	285,15	2,7	0,277	13,96	0,443
11	%0,051 Yağlı Süt	333,15	3,67	0,513	69,58	2,211
12	%0,051 Yağlı Süt	331,15	3,7	0,277	67,26	1,984
13	%0,051 Yağlı Süt	328,15	3,65	0,236	54,34	1,399
14	%0,051 Yağlı Süt	323,15	3,7	0,236	49,40	0,981
15	%0,051 Yağlı Süt	321,15	2,4	0,236	47,43	0,842
16	%0,051 Yağlı Süt	319,15	2,55	0,236	45,46	0,705
17	%0,051 Yağlı Süt	317,15	1,2	0,236	43,48	0,579
19	%0,051 Yağlı Süt	315,15	3,7	0,236	41,51	0,469
19	%0,051 Yağlı Süt	315,15	3,7	0,236	41,51	0,469
20	%0,051 Yağlı Süt	337,15	2,5	0,277	71,90	2,067
21	Sıcak Su	337,15	2,5	0,277	74,22	2,067
22	Sıcak Su	328,15	2,7	0,275	63,21	1,628
23	Sıcak Su	318,15	2,36	0,277	52,20	0,745
24	Sıcak Su	316,15	3,8	0,277	49,88	0,615
25	Sıcak Su	313,15	3,9	0,277	46,41	0,421
26	Sıcak Su	313,15	3,9	0,277	46,41	0,421
27	Sıcak Su	320,15	2,1	0,236	46,53	0,861
28	Sıcak Su	300,15	1	0,272	30,79	0,387
29	Temiz Su	309,15	4,18	0,57	85,97	0,491
30	Donmuş Su	305,15	4,18	0,57	76,44	0,213

Çizelge 4.1’de elde edilen değerler ile yoğurt fabrikasının her bir alt birimi için termodinamik hesaplamaları Çizelge 4.2 ve Çizelge 4.3’te verilmiştir.

Çizelge 4.2. Yoğurt Üretim Tesisinin Tüm Bileşenlerinin Enerji Analizi

		E_g (kW)	E_ç (kW)	E_k (kW)	Verim (%)	E_{ip} (kW)	E_{bk}	E_{fk}
1)	Pompa 1 (P1)	24,369	22,084	2,284	90,626	0,214	1,273	2,161
2)	İlk soğutucu (İS)	27,907	26,908	0,999	96,419	0,035	0,557	2,475
3)	Süt depolama tankı (SDT)	27,522	25,748	1,774	93,553	0,114	0,989	2,441
4)	Pompa 2 (P2)	24,133	15,007	9,126	62,184	3,451	5,088	2,141
5)	Süt denge tankı (DT)	25,449	15,007	10,442	58,969	4,284	5,822	2,257
6)	Pompa 3 (P3)	19,731	17,446	2,284	88,422	0,264	1,273	1,751
7)	Yenileme 3 (Y3)	60,931	58,841	2,091	96,569	0,071	1,165	5,405
8)	Yenileme 2 (Y2)	62,788	61,627	1,161	98,151	0,021	0,647	5,569
9)	Yenileme 1 (Y1)	117,00	112,717	4,291	96,332	0,157	2,392	10,379
10)	Isıtma 2 (I2)	123,62	119,328	4,293	96,527	0,149	2,393	10,966
11)	Isıtma 1 (I1)	113,79	106,539	7,251	93,627	0,462	4,043	10,094
12)	Krema ayırıcı (KA)	54,651	30,374	24,277	55,577	10,784	13,536	4,848
13)	Pompa 4 P(4)	19,765	13,962	5,803	70,639	1,703	3,235	1,753
14)	Pompa 5 (P5)	52,821	46,405	6,414	87,855	0,779	3,576	4,685
15)	Eşanjör (E)	117,16	78,279	38,825	66,845	12,872	21,647	10,388
16)	Su tankı (ST)	105,01	63,206	41,799	60,193	16,639	23,306	9,315
17)	Tutma bobini (TB)	60,305	57,987	2,317	96,156	0,089	1,292	5,349
18)	Pompa 7 (P7)	90,351	76,437	13,914	84,599	2,143	7,758	8,015

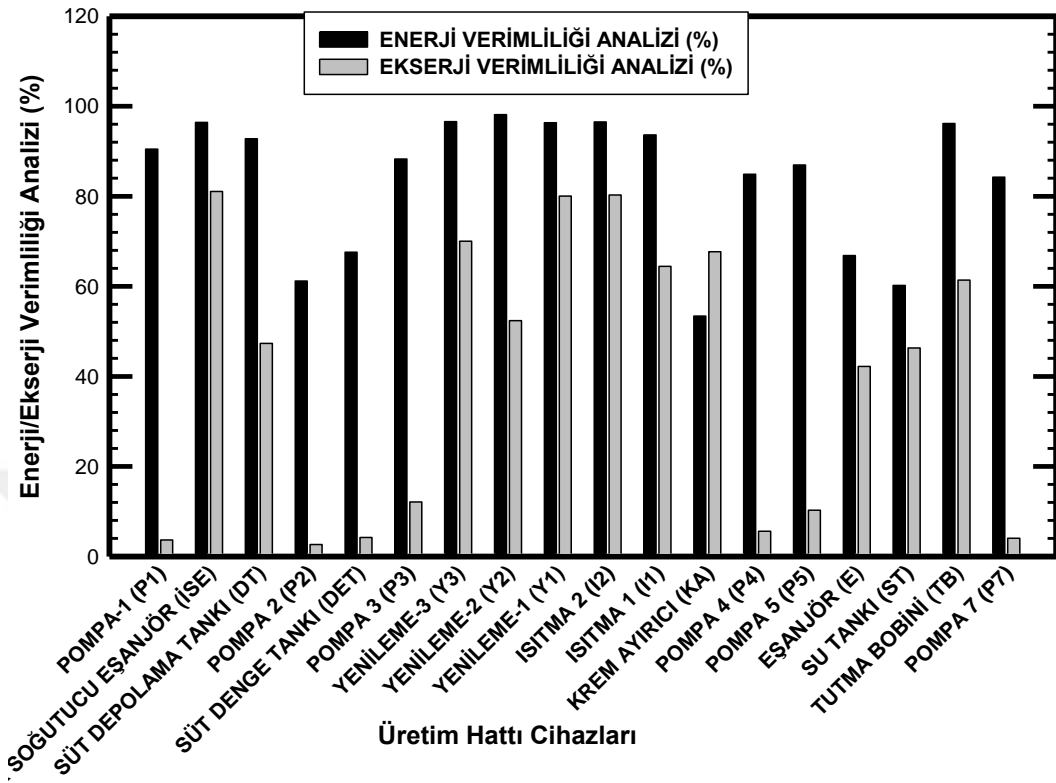
Çizelge 4.3. Yoğurt Üretim Tesisinin Tüm Bileşenlerinin Ekserji Analizi

		Ex_g (kW)	Ex_ç (kW)	Ex_{yo} (kW)	Verim (%)	Ex_p (kW)	Ex_{bk} (%)	Ex_{fk} (%)	SI
1	Pompa 1 (P1)	0,121	0,083	0,037	6,726	0,034	0,118	0,164	0,932
2	İlk soğutucu (İS)	0,991	0,972	0,019	98,031	0,004	0,062	1,347	0,932
3	Süt dep. tankı (SDT)	1,097	1,074	0,022	57,406	0,009	0,071	1,491	0,425
4	Pompa 2 (P2)	0,671	0,379	0,291	7,522	0,269	0,931	0,911	0,924
5	Süt denge tankı (DT)	0,578	0,371	0,208	9,685	0,18	0,662	0,785	0,903
6	Pompa 3 (P3)	0,269	0,232	0,0372	16,688	0,031	0,118	0,366	0,833
7	Yenileme 3 (Y3)	0,984	0,957	0,026	97,282	0,008	0,085	1,337	0,027
8	Yenileme 2 (Y2)	2,071	1,134	0,937	54,755	0,423	2,985	2,813	0,452
9	Yenileme 1 (Y1)	3,811	3,397	0,412	89,164	0,044	1,315	5,175	0,108
10	Isıtma 2 (I2)	5,317	4,092	1,225	76,956	0,282	3,904	7,223	0,231
11	Isıtma 1 (I1)	5,183	3,264	1,919	62,974	0,711	6,114	7,041	0,371
12	Krema ayırıcı (KA)	1,902	1,271	0,631	9,847	0,568	2,008	2,584	0,901
13	Pompa 4 (P4)	0,599	0,416	0,183	12,299	0,161	0,585	0,814	0,877
14	Pompa 5 (P5)	0,981	0,728	0,2528	18,573	0,205	0,805	1,332	0,814
15	Eşanjör (E)	34,82	16,656	18,168	47,828	9,478	57,886	47,303	0,521
16	Su tankı (ST)	11,67	5,449	6,231	46,657	3,323	19,851	15,865	0,533
17	Tutma bobini (TB)	1,719	1,329	0,389	77,341	0,088	1,241	2,335	0,226
18	Pompa 7 (P7)	0,815	0,422	0,393	8,128	0,361	1,252	1,108	0,918

4.1.1 Sonuçlar ve karşılaştırmalı analiz

Enerji ve ekserji tablolarına incelersek sırasıyla % 82,95 ve % 44,32 enerji ve ekserji verim yüzdelerine sahip olduğu görülmüştür (Çizelge 4.2 ve Çizelge 4.3). Her iki tabloda tesisin performans olarak zayıf ve güçlü olduğu parametreler görülmüştür. Fabrikanın yoğurt üretim birimindeki eksiklik veya güçlü yanlar verim olarak değerlendirilmiştir. Enerji verimliliği güçlü aşamalar sırasıyla yenileme aşaması, ısıtma aşaması ve ilk soğutucu aşaması olmuştur. Ekserji verimliliği güçlü aşamalar sırasıyla ilk soğutucu ve yenileme aşaması olmuştur.

Yoğurt üretim tesisinin her bir alt birimi için karşılaştırmalı enerji ve ekserji verimliliği analizi Şekil 4.1'te verilmiştir.

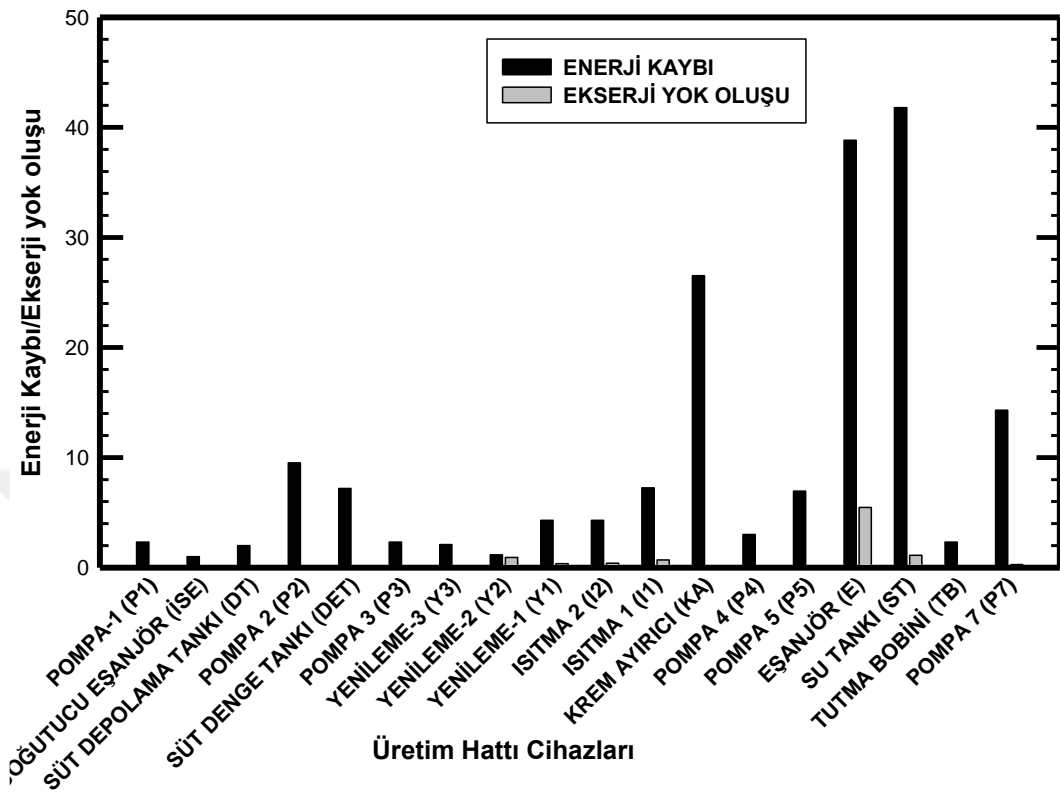


Şekil 4.1. Yoğurt üretim tesisinin her bir alt birimi için karşılaştırmalı enerji ve ekserji verimliliği analizi

Yoğurt üretim tesisi her bir alt birimi için enerji ve ekserji verimliliği değerlendirilmesi yapıldığında, üretim hattındaki elektrik enerjisi tüketen unsurları, ısı enerjisi değerlerine göre daha az bir değer olarak hesaplanmıştır. Isı enerji tüketimi ile ilgili aşamalar arasında, yenileme aşamasının enerji verimliliği en yüksek (%97,01), ilk soğutucu aşamasının da ekserji verimliliği en yüksek (%98,03) aşama olarak ölçülmüştür. Enerji verimliliğinde yenileme aşamasını ilk soğutucu (% 96,41), tutma bobini (%96,15), ısıtma (%95,07) ve pompa (%80,72) aşamaları takip etmiştir. Ekserji verimliliğinde ise ilk soğutucu aşamasını (% 98,03), tutma bobini aşaması (% 77,34), yenileme aşaması (% 76,01) ve ısıtma aşaması (% 69,96) takip etmiştir. Krema ayırıcı aşamasındaki soğuk su ve donmuş su ekserjisinin yok oluşu, ilk olarak yüksek miktarda krema olgunlaşması veya süt yağının hızlı bir şekilde kristalleşmesi ve oluşabilecek en yüksek tereyağı oluşumundaki verimi için yapılması gereken hızlı soğutma hızına bağlanmıştır. Anahtar aşamaların enerjistik performansları

hesaplandıktan sonra en yüksek geri çevrilmezlik değerinin krem ayırıcıda olduğu hesaplanmıştır. Süt yağının yapısal bütünlüğü veya mekanik mukavemeti, öncelikle krema depolama tankında süt yağının şiddetli olmayan çalkalanmasıyla birlikte hızlı soğutma aktivitesi ile elde edilmiştir. Yüksek derecede kısmi birleşmenin başlaması süt yağı kürecikleri arasında veya Van der Waal'ın süt yağının sıvı ve katı fazları arasında çekim kuvvetlerinin kurulması, yeterli miktarda soğuk ekserji yok etme yani pastörize krema pahasına gerçekleştirilmiştir. Yüksek kesme etkisi, globül yapısı üzerinde doğrudan etkiye sahip olmuştur. Van der Waal'ın süt yağı globülleri arasında var olan çekim gücünün yok edilmesi, kremalı sütle büyük enerji kaybına neden olmuştur. Üretim aşamalarındaki debi, sıcaklık, basınç değerleri ile birlikte oluşan tersinmezlikler, Van der Waal'ın fazlar arasındaki çekim kuvvetleri, globül yapısı, fazlar arasındaki etkileşimler, oluşan kristalleşmeler enerji ve ekserji verimliliğinde etkili olmuştur. Süt denge tankı, krema ayırıcı, su tankı ve eşanjör aşamalarının tersinmezliklerinde iyileştirme yapılarak veya yalıtma yapılarak ısı transferlerinin minimum seviyeye indirilerek daha verimli olması sağlanmalıdır.

Yoğurt üretim tesisinin her bir alt birimi için enerji kaybı ve ekserji yok oluşu karşılaştırmalı analizi Şekil 4.2'de verilmiştir.

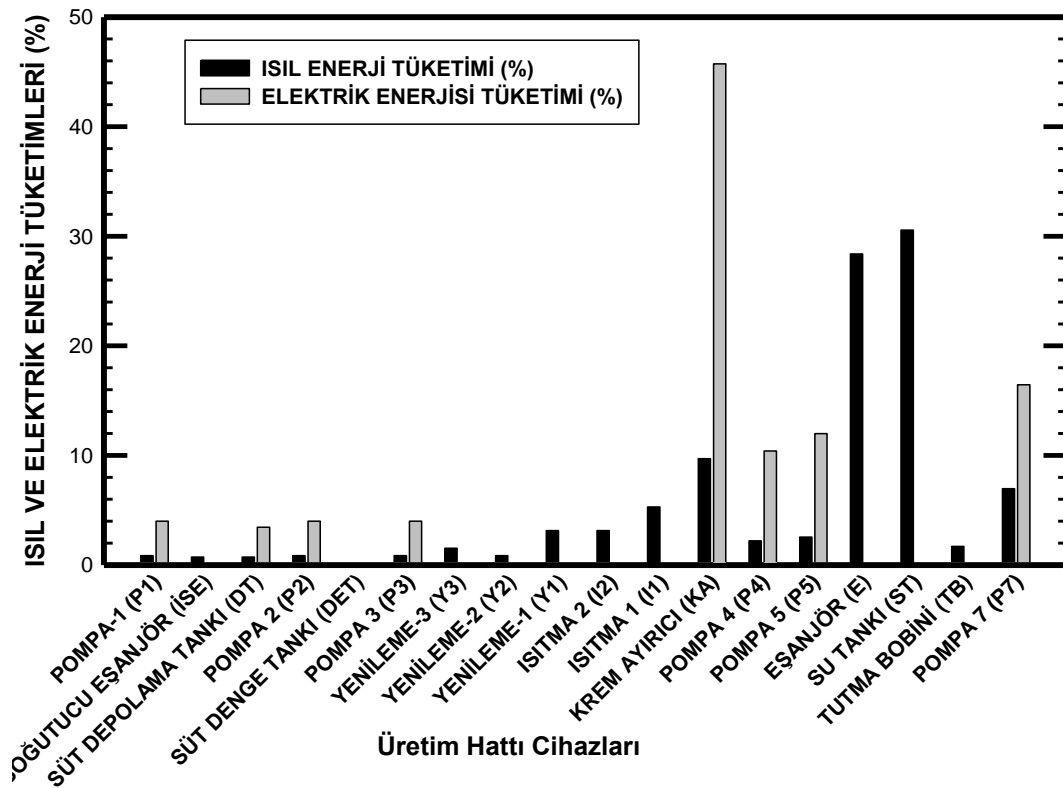


Şekil 4.2. Yoğurt üretim tesisinin her bir alt birimi için enerji kaybı ve ekserji yıkımı karşılaştırmalı analizi

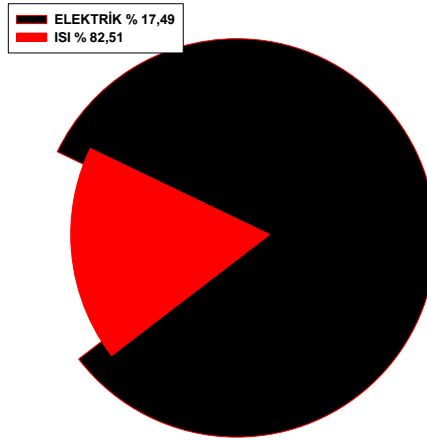
Yoğurt üretim tesisindeki enerji kaybı oranının en yüksek olduğu aşama ısıtma aşaması (116,01 kW) olmuştur. Isıtma aşamasını, eşanjör aşaması (78,27 kW) ve yenileme aşaması (78,05 kW) takip etmiştir. Ekserji yok olma oranının en yüksek olduğu aşama eşanjör aşaması (16,65 kW) olmuştur. Eşanjör aşamasını ısıtma aşaması (3,67 kW) ve yenileme aşaması (2,26 kW) takip etmiştir. İşleme giren bütün pompaların enerji kaybı ve ekserji yok olma olarak birbirine yakınlık göstermektedir. İlk soğutucu aşamasındaki enerji kaybı ekserji yok olmasına göre % 15,34 daha yüksek olmuştur. Süt denge tankındaki enerji kaybı (15,01 kW), ekserji yok olmasına (0,37 kW) göre fazla olmuştur. Isıtma aşamasındaki ve yenileme aşamalarındaki enerji kaybı ise ekserji yok olmasına göre sıcak su akınının etkisinden dolayı çıkış sıcaklığının yüksek seyretmesi sebebi ile fazla olmuştur. Tutma bobini de enerji kaybında (57,98 kW) süt depolama tankına (25,74 kW) göre yüksek olmuştur. Bütün toplam yıkım oranına göre enerji analizindeki kayıp ekserji analizindeki yok olmasına göre % 94,21

daha fazla olmuştur. Yoğurt üretim tesisinin kaynak tüketimi genel olarak ısı enerjisi tarafından yıkımı gerçekleşmiştir ve enerji ihtiyacının geri kalanı elektirik enerjisi ile sağlanmıştır. Krema ayırıcıda kremanın daha yüksek seviyedeki çalkalanmasına rağmen, krema işleme bölümündeki geri çevrilemezlik seviyesi, büyüklük olarak süt işleme bölümünden çok daha düşük olmuştur ve krema işleme bölümünde sıcaklık değişiminin meydana gelmesine neden olmuştur. Bu nedenle, termal enerji bozulmasının rolü, elektrik enerjisi tüketiminden çok daha belirgin olmuştur. Isıtma ve yenileme aşamalarındaki termal enerji bozuklukları ve tersinmezlikler düşürülerek enerji kaybı ve ekserji yok oluşları minimum seviyeye getirilebilir.

Yoğurt üretim tesisinin spesifik ekserji tüketimine ısı ve elektrik enerjisi yüzdelerle tüketimi karşılaştırılması ve yüzdelerle tüketimi dairesel karşılaştırılması Şekil 4.3 ve Şekil 4.4’de verilmiştir.



Şekil 4.3. Yoğurt üretim tesisinin spesifik ekserji tüketimine ısı ve elektrik enerjisi yüzdelerle tüketimi karşılaştırılması



Şekil 4.4. Yoğurt üretim tesisinin spesifik ekserji tüketimine ısı ve elektrik enerjisi yüzdelik tüketimi dairesel karşılaştırılması

Yoğurt üretim aşamalarında ısı enerjisi katkısı elektrik enerjisi katkısına göre neredeyse 5 kat fazla olmuştur. Yoğurt üretim aşamasındaki ısı enerjisinde en fazla katkıyı % 36,55'lik katkı ile su tankı, elektrik enerjisindeki en fazla katkıyı % 45,72'lik katkı ile krem ayırıcı yapmıştır. Krem ayırıcının ısı enerjisindeki payı da % 9,69 ile üçüncü sırada yer almıştır. Isı ve elektrik enerjisi katkısının farklı olmasının nedeni bütün aşamalarda elektrik enerjisi tahribatının olmamasıdır. Temel tesis birimleri arasında ısı entegrasyonunun eksikliği, elektrik enerjisi karşısında aşırı ısı enerjisi tahribatına neden olmuştur.

4.2 Termoekonomik Analiz

Termo-ekonomik teknik, termal ve ekonomik parametrelerin veya engellerin yoğurt üretim aşamalarının her bir aşamasındaki oluşturduğu etkileşiminin iyi derecede analiz edilmesi ve değerlendirilmesi için kurulmuştur. Termodinamiğin birinci ve ikinci kanunları elde edilecek olan sonuç için oluşan maddi değer ile birlikte ekserji yok oluşlarından elde edilecek termo-ekonomik denklem, doğrusal analizleri oluşturmak için ekonomik dengelerle bir arada geliştirilmiştir. Yoğurt üretim tesisinden elde edilecek olan maksimum verim veya tesiste olan kayıpları, oluşturulamayan bilgiler özel ekserji maliyetleme yöntemi ile daha iyi analiz edilmiştir.

Enerji türleri arasındaki görece maliyet farkı ve elde edilen yoğurt üretimi enerji maliyetini tespit etmek için genel olarak enerji için harcanan faturalar analiz edildi. Tesiste kullanılan enerjinin maliyet değerinin öncelikle enerji karışımındaki değişime bağlı olduğu açıktır. Toplam ilk maliyet 237100 TL olarak hesaplanmıştır. Toplam enerji maliyetinin yaklaşık % 83'ünü termal enerji oluştururken, %17'sini elektrik enerjisi oluşturmaktadır. Termoekonomik analizinde elde edilen sonuçlar, yoğurt üretimi sisteminde enerji kullanımının en aza indirilmesinin ekonomik açıdan da verimliliğini arttıracaklarını göstermiştir. Aynı zamanda enerji ve ekserji göstergeleri açısından üretim hattında hangi hedef belirlenirse, hem ekonomik hem de enerji için daha verimli operasyonlar sağlamak için bu hedeflerin ekonomik göstergelerle yan yana sıralanması gerektiği anlamına gelir.

Yoğurt üretim tesisi için oluşturulmuş olan eksoergonomik denklemi elde edilen yoğurdun maliyet değerleri ve yoğurt üretim sisteminin her bir aşamasında ekserji giriş ve çıkışı ile ilişkili olarak, yüzdeye sahip olan temel bileşenler açısından yoğurt üretimini oluşturan her bir aşamanın rolünü ortaya koymuştur. Yüzde oranlar; görece maliyet farkı, ekserji yıkımının maliyet oranı, ekstroekonomik faktör, ekserji maliyeti, birim ekserji başına maliyet ve elde edilen yoğurdun üretim maliyeti olmuştur.

Elde edilmiş olan ekserji tahribatının maliyet derece oranı ve yüzdesi ne kadar büyük bir değer olursa, her bir alt birimde oluşan tahribatın genel sistem karakersizliği ve davranışı üzerinde büyük bir etki oluşturmuştur. Oluşan etki ile yoğurt üretim tesisinin her bir aşamasının verim sırasını özel ekserji maliyetleme geçmişine bağlı kalıp yenileyerek, yoğurt üretim tesisinin veriminin yükseltilmesine dair analizler üretilir ve ilerleyen süreçler için gerçekleştirilmiştir.

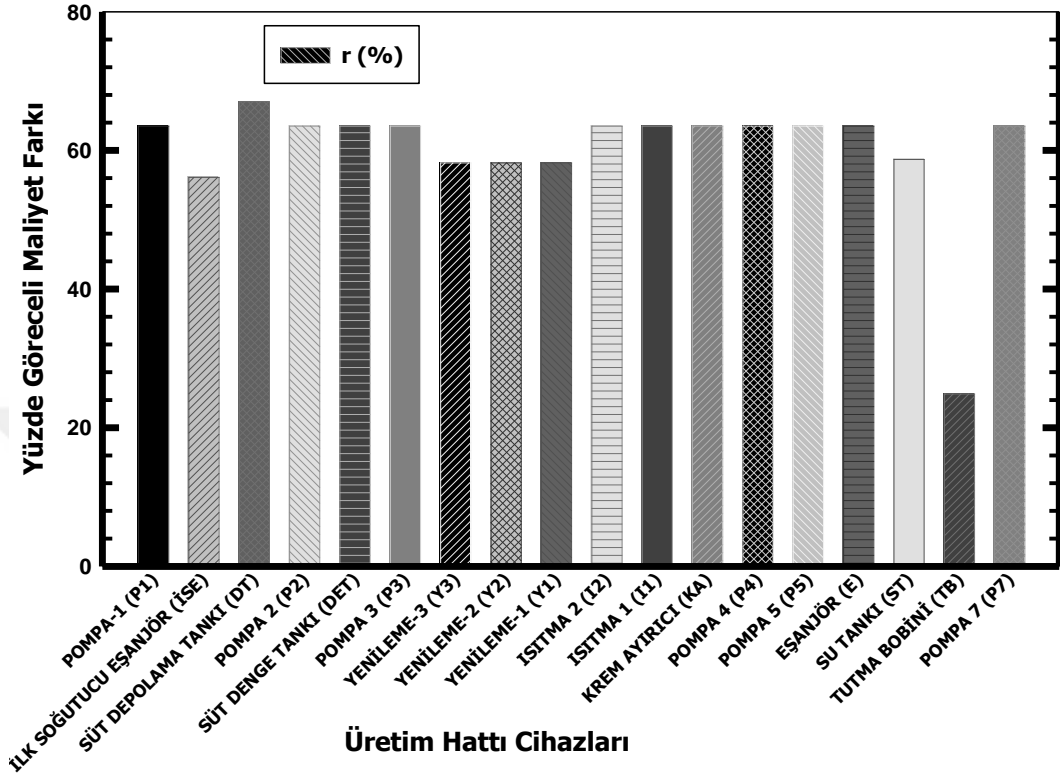
İlk sermaye yatırımı ile ilişkili maliyet oranları ve yoğurt üretim tesisinin alt bileşenleri için işletme ve bakım maliyetleri Çizelge 4.4'te verilmiştir.

Çizelge 4.4. İlk sermaye yatırımı ile ilişkili maliyet oranları ve yoğurt üretim tesisinin alt bileşenleri için işletme ve bakım maliyetleri

Üretim Aşamaları	PEC	Z _C	Z _{OM}	Z _T	D _d	r (%)	f (%)	TOCR
Pompa 1 (P1)	3500	2,851	0,941	3,793	5,709	63,63	20,2	9,5
İlk soğutucu (İS)	22000	17,923	5,919	23,843	6746,76	56,25	63,27	6770,6
Süt dep. tankı (SDT)	40000	32,588	10,763	43,352	281,61	67,16	75,47	324,96
Pompa 2 (P2)	3500	2,851	0,941	3,793	3,486	63,63	19,44	7,27
Süt denge tankı (DT)	17500	14,257	4,708	18,966	0	63,63	57,83	18,96
Pompa 3 (P3)	3500	2,851	0,941	3,793	5,754	63,63	20,21	9,54
Yenileme 3 (Y3)	12000	9,776	3,228	13,005	438,88	58,33	48,36	451,8
Yenileme 2 (Y2)	12000	9,776	3,228	13,005	396,41	58,33	48,35	409,41
Yenileme 1 (Y1)	12000	9,776	3,228	13,005	120,47	58,33	48,09	133,48
Isıtma 2 (I2)	35000	28,514	9,417	37,932	191,39	63,63	72,79	229,32
Isıtma 1 (I1)	35000	28,514	9,417	37,932	190,3	63,63	72,79	228,23
Krema ayırıcı (KA)	10500	8,554	2,825	11,379	1,486	63,63	29,60	12,86
Pompa 4 P(4)	3500	2,851	0,941	3,793	2,197	63,63	18,42	5,99
Pompa 5 (P5)	3500	2,851	0,941	3,793	1,79	63,63	17,82	5,58
Eşanjör (E)	13700	11,161	3,686	14,847	609,67	63,63	51,69	624,5
Su tankı (ST)	6000	4,888	1,614	6,502	10,4	58,82	30,33	16,91
Tutma bobini (TB)	400	0,325	0,107	0,433	9,45	25	3,017	9,88
Pompa 7 (P7)	3500	2,851	0,941	3,793	1,05	63,63	15,89	4,84

Çizelge 4.4’de belirtilen ekonomik maliyet ve kazanım türünden termo-ekonomik çıktılarının hesaplanmış değerleri verilmiştir. Çizelge 4.4’te yoğurt üretim tesisinin toplam seviyelendirilmiş maliyet oranını 219,026 TL / H olarak hesaplanmıştır. Seviyelendirilmiş maliyet oranının maksimum ve minimum değerleri, sırasıyla süt depolama tankı (43,352 TL / H) ve tutma bobini (0,433 TL / H) olarak hesaplanmıştır. Süt depolama tankı birimi toplam seviyelendirilmiş maliyet oranının % 19,19’unu ve ısıtma bölümleri ise toplam seviyelendirilmiş maliyet oranının % 34,64’ünü tüketmiştir. Tüm pompalama üniteleri ve süt denge tankı için seviyelendirilmiş maliyet oranının birleşik değeri 41,724 TL / H olarak hesaplanmıştır. Yenileme aşamaları ve krem ayırıcı aşaması için ise seviyelendirilmiş maliyet oranı 50,394 TL / H olarak hesaplanmıştır.

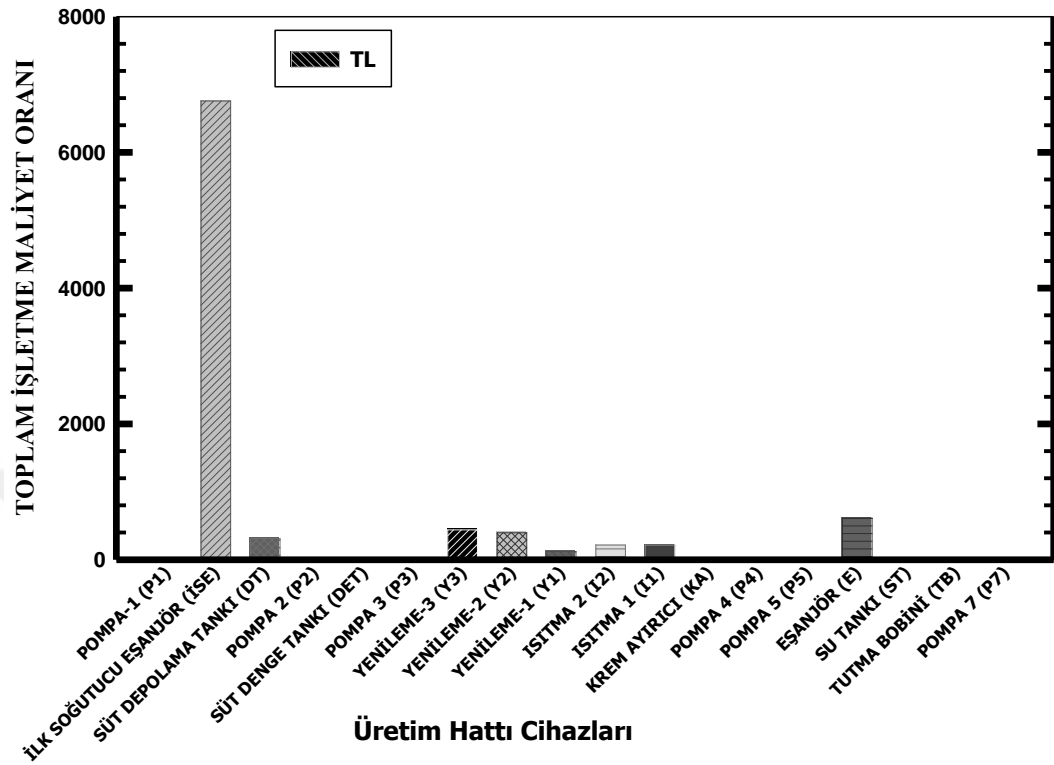
Yoğurt üretim tesisinin her bir bileşeni için yüzde göreceli maliyet farkı Şekil 4.5’de verilmiştir.



Şekil 4.5. Yoğurt üretim tesisinin her bir bileşeni için yüzde göreceli maliyet farkı

Malzeme işlemenin süt depolama tankında en pahalı olduğu (% 67,16), süt depolama tankını ise % 63,636 ile pompalar, süt denge tankı, ısıtma tankı, krem ayırıcı ve eşanjör aşamalarının takip ettiği belirlenmiştir. Elde edilen yüzde göreceli maliyet farkları değerlerine göre termoekonomik faktör değeri neredeyse her bir üretim aşamasında yakın değerler çıkmıştır ve bunun terside geçerli olmuştur.

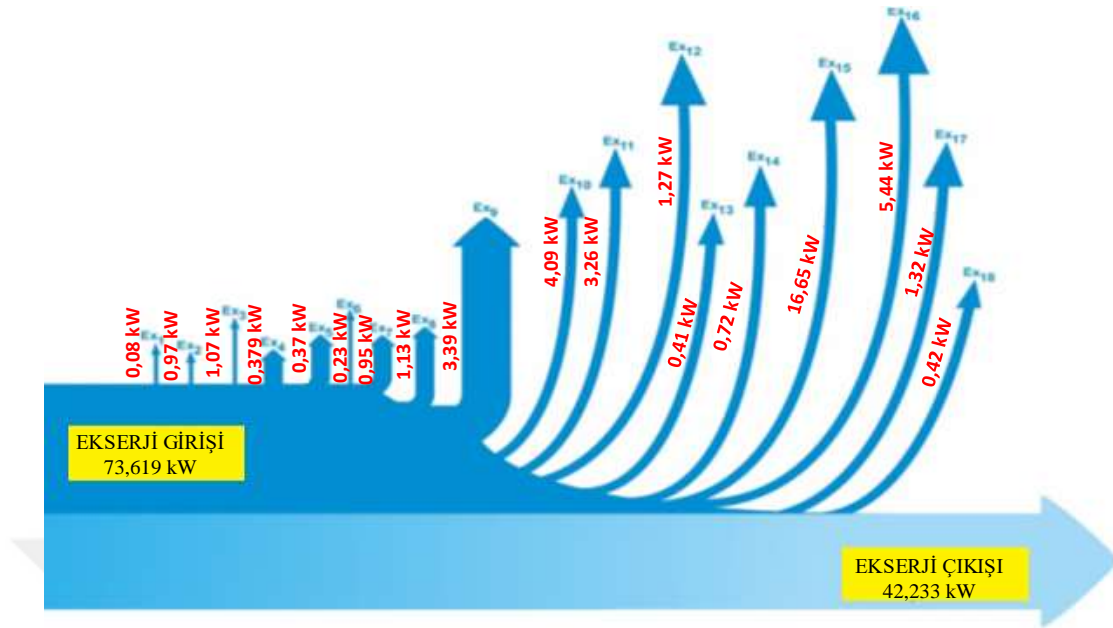
Yoğurt üretim tesisinin her bir bileşeni için toplam işletme maliyet oranı Şekil 4.6'da verilmiştir.



Şekil 4.6. Yoğurt üretim tesisinin her bir bileşeni için toplam işletme maliyet oranı

Yoğurt üretim tesisinin toplam işletme maliyet oranı analizinde en yüksek ilk soğutucu aşaması bulunmuştur. İlk soğutucu aşamasını eşanjör ve yenileme aşaması takip etmiştir. İlk soğutucu akışkan işletme maliyet oranı analizinin % 72,99'unu oluşturmuştur. Tesisin ana birimlerinden yenileme aşaması % 10,78'ini, ısıtma aşaması ise % 4,94'ünü oluşturmaktadır. Daha yüksek termal bozulma ilk soğutucu ile ilişkilendirilirken alttaki muadili süt depolama tankı ile ilişkilendirilmiştir. Termal bozulmalar termoekonomik hesaplamalar tarafından yapılan analizler ile ilk soğutucu aşaması ve eşanjör aşamasında net olarak görülmüştür. İlk soğutucu aşamasında toplam işletme maliyet değerinin (TOCR) daha yüksek değerine rağmen sıvı işleme maliyetine bağlı; birincisinde yüksek dereceli enerji tüketimi, ikincisinde termal enerji tüketimi nispeten daha ucuz olduğundan krem ayırıcı ve süt depolama tankı kadar önemli olmadığı görülmüştür.

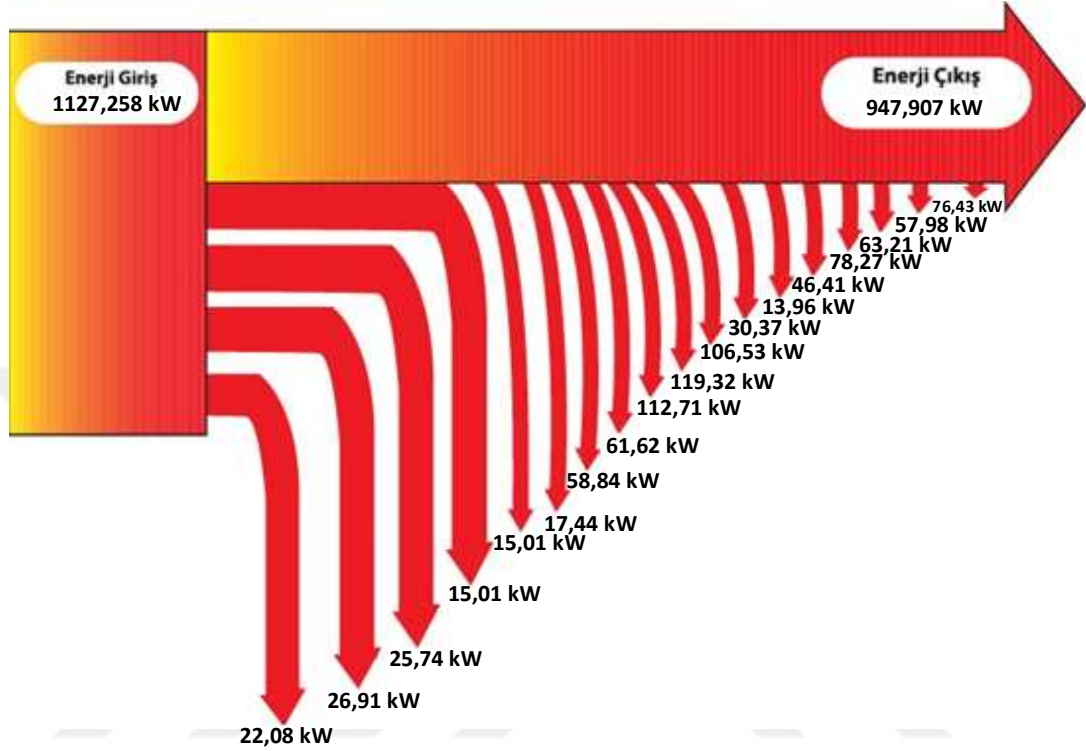
Yoğurt üretim sistemi için Çizelde 4.3'te gösterilen verilerin Grassmann diagramı Şekil 4.7'de gösterilmiştir.



Şekil 4.7. Yoğurt üretim sürecinin Grassmann Diyagramı

Yoğurt üretim sisteminde genel sistemin toplam ekserji çıkış hızı 42,233 kW, toplam ekserji girdi hızı 73,619 kW olarak hesaplanmıştır. Yoğurt üretim sisteminin toplam ekserji yok olma oranı 31,38 kW olarak hesaplanmıştır. Yoğurt üretim sisteminde ana ekserji yok olma oranları sırasıyla eşanjör (16,65 kW), su tankı (5,44 kW) ısıtma 2 (4,09 kW) ve yenileme 1 (3,39 kW) olarak meydana gelmiştir. Yok olan ekserjiler kaybedilen iş potansiyelini temsil eder ve oluşan tersinmezliklerin sonucu olarak ortaya çıkmıştır. Üretim aşamalar arasındaki ısı geçişlerinin ve yüzeysel ısı kayıplarının da etkisi olmuştur. Eşanjörün ekserji yok olmasının diğer aşamalara göre fazla olmasının nedeni sıcaklık girdi ve çıktı değerlerinin çevre sıcaklığının altında olmasıdır. Grassmann diyagramları sayesinde ekserji analizlerinin sonuçları açıkça görüleceği gibi sistemden alınan işlemlerin maksimum işin kıyaslaması rahatlıkla yapılabilir. Grassmann diyagramının sağladığı diğer bir kolaylık ise; durumu izah ederken tekrar tekrar hesaplar yapmak yerine görsel olarak ortaya koymak ve daha anlaşılır kılmak mümkündür.

Yoğurt üretim sistemi için Çizelde 4.2’de gösterilen verilerin Sankey diagramı Şekil 4.8’de gösterilmiştir.



Şekil 4.8. Yoğurt üretim sürecinin Sankey Diyagramı

Yoğurt üretim sisteminde genel sistemin toplam enerji çıkış hızı 947,907 kW, toplam enerji girdi hızı 1127,258 kW olarak hesaplanmıştır. Yoğurt üretim sisteminin toplam enerji yıkımı oranı 179,35 kW olarak hesaplanmıştır. Yoğurt üretim sisteminde ana enerji yıkımı oranları sırasıyla ısıtma 2 (119,32 kW), yenileme 1 (112,71 kW) ve ısıtma 1 (106,53 kW) olarak meydana gelmiştir. Sankey Diyagramı, malzeme ve enerji akışlarını ve hatta genel sistemin üretkenliğini veya verimliliğini etkileyen unsurların dikkate alındığı işletmelerde katma değeri izlemeyi kolaylaştıran bir tekniktir. İlgili enerji ve malzeme girdileri ile çevreye yayılımlarının envanterinin derlenmesi, belirlenen girdi ve çıktılarla ilişkili potansiyel etkilerin değerlendirilmesi, daha bilinçli bir karar vermeye yardımcı olmak için sonuçların yorumlanmasını sağlamıştır. Temel fikir, Sankey Diyagramlarının arkasındaki denge denklemlerinin oluşturulmasıdır. Sankey Diyagramlarının uygulama alanları olarak malzeme ve enerji akışlarının gösterimidir. Bu bağlamda, karar verme aracı olarak Sankey Diyagramları sürdürülebilir kalkınma ile yüksek düzeyde ilgilidir.

5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Termodinamik olarak en iyi sonucu elde etmek amacıyla, bütün ısı ve mali hesaplamalar için olabilecek en iyi değerlerin elde edilmesini sağlamak zorunlu bir gereklilik olmuştur ve böylelikle ekserjik ve ekonomik verimlilik arttırılmıştır. Yoğurt üretim tesisi için oluşturulan verilerin ve üretim tesisindeki aşamaların yapısal özelliklerinde yapılması gereken iyileştirmeler, yoğurt üretim tesisinin termo-ekonomik olarak olumlu gelişmesinde yardımcı olmuştur. Yoğurt üretim tesisinin maliyetinin iyileştirilmesinin yanı sıra termodinamik çerçevenin daha iyi ölçülmesi, yoğurt üretim tesisinin her aşamasının performansının arttırılması için temel esaslar olarak tanımlanmıştır.

Yoğurt üretim tesisinin toplam enerji verimliliği ve evrensel ekserji verimliliği sırasıyla % 82,95 ve % 44,32 olarak tespit edilmiştir. Yoğurt üretim tesisinin özgül enerji kaybı ve ekserji yok olma değerleri sırasıyla 947,9 kJ / sn ve 42,23 kJ / sn olarak hesaplanmıştır. Yoğurt üretim tesisinin özgül enerji ve özgül ekserji iyileştirme potansiyeli sırasıyla 54,23 kJ / sn ve 16,18 kJ / sn olarak belirlenmiştir.

En yüksek özgül enerji kaybı değeri ısıtma aşamasında ardından da yenileme aşamasında özgül ekserji yok olma değeri ise, eşanjör aşaması ve su tankı aşaması için hesaplanmıştır. En yüksek sıvı işleme maliyeti veya yüzde nispi maliyet farkı, süt depolama tankı (% 67,16) ve ardından sırasıyla pompa aşamaları, süt denge tankı aşaması, ısıtma aşaması, eşanjör aşamasında (% 63,63) ve yenileme aşamasında (% 58,33) ile hesaplanmıştır.

Yoğurt üretim tesisi için toplam işletme maliyeti oranı, ekserji yok etme maliyet oranı, sermaye yatırımının seviyelendirilmiş maliyet oranı ve seviyelendirilmiş işletme ve bakım maliyet oranının toplamı olan 1033,97 TL / H olarak hesaplanmıştır. Ayrıca, toplam işletme maliyeti oranına maksimum katkı sırasıyla, ilk soğutucu (% 73,01), eşanjör aşaması (624,52 TL / H) ve yenileme aşaması (451,89 TL / H) tarafından verilmiştir.

Eksergoekonomik faktörün en yüksek değeri sırasıyla, süt depolama tankı (% 75,47) için hesaplanmıştır, ısıtma aşaması (% 72,9) ve tesisin toplam maliyet hesaplamalarında sermaye yatırımının rolünü büyüten ilk soğutucu (% 63,27) olmuştur. Süt denge tankı (% 57,83) ve eşanjör (% 51,69) için eksergoekonomik faktörün büyüklüğü, ekserjetik bozulmaların önemli sonuçları olduğunu yansıtmıştır.

Yoğurt üretim tesisinin olabilecek en iyi performansı göz önüne alındığında; sütün tüm bileşenlerinin termal ve ekonomik değişkenleri arasında dengeyi sağlamak son derece zorunluydu, böylece yoğurt üretiminin imalat maliyeti en aza indirilebilirdi. Mevcut durumda 14,27 TL / H olarak numaralandırılmıştır ve ısı geri kazanım seçeneğini uygulayarak, ikinci büyüklüğünde % 75,19'luk bir azalma elde edilmiştir.

Dalgıçlar süt ürünleri üretim tesisinin de; üretim aşamalarındaki debi, sıcaklık, basınç değerleri ile birlikte oluşan tersinmezlikler, Van der Waal'ın fazlar arasındaki çekim kuvvetleri, globül yapısı, fazlar arasındaki etkileşimler, oluşan kristalleşmeler enerji ve ekserji verimliliğinde etkili olmuştur. Süt denge tankı, krema ayırıcı, su tankı ve eşanjör aşamalarının tersinmezliklerinde iyileştirme yapılarak veya yalıtma yapılarak ısı transferlerinin minimum seviyeye indirilerek daha verimli olması sağlanmalıdır. Yoğurt üretim tesisinin kaynak tüketimi genel olarak ısı enerjisi tarafından yıkımı gerçekleşmiştir ve enerji ihtiyacının geri kalanı elektirik enerjisi ile sağlanmıştır. Krema ayırıcıda kremanın daha yüksek seviyedeki çalkalanmasına rağmen, krema işleme bölümündeki geri çevrilemezlik seviyesi, büyüklük olarak süt işleme bölümünden çok daha düşük olmuştur ve krema işleme bölümünde sıcaklık değişiminin meydana gelmesine neden olmuştur. Bu nedenle, termal enerji bozulmasının rolü, elektrik enerjisi tüketiminden çok daha belirgin olmuştur. Isıtma ve yenileme aşamalarındaki termal enerji bozuklukları ve tersinmezlikler düşürülerek enerji kaybı ve ekserji yok oluşları minimum seviyeye getirilebilir. Yüzde göreceli maliyet farklarının termoekonomik faktör değerleri düşürülerek (debi, sıcaklık, basınç) oluşan maliyetin daha düşük seviyeye gelmesi sağlanabilir. Toplam işleme maliyetinde ilk soğutucu eşanjörün etkisi en fazla olduğu için daha uygun maliyete düşürülmelidir.

KAYNAKLAR

- Aghbashlo, M., Kianmehr, M. H., 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.
- Akin, N.,** 2006. Yoğurdun tarihçesi, bileşimi ve bazı özellikleri. *Modern Yoğurt Bilimi ve Teknolojisi*, 6-12.
- Anonim,** 2018. Ulusal süt konseyi raporu , https://ulusalsutkonseyi.org.tr/wpcontent/uploads/Sut_Raporu_2018_Web_Kapakli.pdf (13.04.2021).
- Ataseven, Z., Gülaç, Z. N.,** 2014. Süt ve süt ürünleri, durum ve tahmin, *TEPGE*, 233(1), 1-54.
- Atmaca, A., Yumrutaş, R.,** 2014. Thermodynamic and exergoeconomic analysis of a cement plant: Part i – Methodology. *Energy Conversion and Management*, 79, 790-798.
- Aydemir, K.,** 2017. Elazığ Şeker Fabrikası'nda Enerji ve Ekserji Analizi. Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- Bayrak, M., Midilli, A., Nurveren, K.,** 2003. Energy and exergy analysis of sugar production stages. *International Journal of Energy Research*, 27(11), 989-1001.
- Bilgili, M.E., Çanakçı, M., Çubukçu, P.,** 2015. Energy usage of soybean cultivation in Cukurova region. *Journal of Agricultural Machinery Science*, 11(1), 39-45.
- Boulemtafes-Boukadoum, A., Benzaoui, A.,** 2011. Energy and exergy analysis of solar drying process of mint. *Energy Procedia*, 6, 583-591.
- Bühler, F., Nguyen, T. V., Elmegaard, B.,** 2016. Energy and exergy analyses of the Danish industry sector. *Applied Energy*, 184, 1447-1459.

- Bühler, F., Nguyen, T.V., Jensen, J.K., Holm, F.M., Elmegaard, B.,** 2018. Energy, exergy and advanced exergy analysis of a milk processing factory. *Energy*, 162, 576-592.
- Büyükkılıç, D., Arpacıoğlu, H.,** 1990. Süt ve ürünleri sanayiinde verimlilik ve firmalararası karşılaştırma. *M.P.M.*, 406.
- Cengel, Y. A., Boles, M.A.,** 2008, *Thermodynamics an engineering approach*, 6th ed., Mc Graw-Hill Book Co. Incropera F.P., Dewitt, D.P., Bergman, T.L., Lavine.
- Çakmak, A.,** 2012. Uşak Şeker Fabrikası'nın Enerji ve Ekserji Analizi. Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.
- Çam, B.,** 2011. Enerji ve Ekserji Analizi ile Kazım Taşkent Şeker Fabrikası Verimliliğinin Hesaplanması. Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.
- Çam, B., Erbay, L.B.,** 2011. Energy and exergy analysis of Kazım Taşkent sugar plant. *Mühendis ve Makina*, 52(618), 60-70.
- Çamdali, Ü., Erişen, A., Çelen, F.,** 2004. Energy and exergy analyses in a rotary burner with pre-calcinations in cement production. *Energy Conversion and Management*, 45(18-19), 3017-3031.
- Çetinkaya, B.,** 2019. Bir Gazlı İçecek Üretim Tesisinin Enerji ve Ekserji Analizi. Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- Dadak, A., Mojarab Soufiyan, M., Hosseini, S.S., Nasiri, F., Dowlati, M., Tahmasebi, M. Aghbashlo, M.,** 2016. Comprehensive exergy analysis of a commercial tomato paste plant with a double-effect evaporator. *Energy*, 111, 910-922.
- Dai, J., Chen, B.,** 2011. Extended exergy-based ecological accounting of China during 2000-2007. *Procedia Environmental Sciences*, 5, 87-95.

- Dowlati, M., Aghbashlo, M., Soufiyan, M.M.,** 2017. Exergetic performance analysis of an ice-cream manufacturing plant: A comprehensive survey. *Energy*, 123, 445-459.
- Fudholi, A., Sopian, K., Yazdi, M.H., Ruslan, M.H., Gabbasa, M., Kazem, H.A.,** 2014. Performance analysis of solar drying system for red chili. *Solar Energy*, 99, 4-54.
- Genc, M., Genc, S., Goksungur, Y.,** 2017. Exergy analysis of wine production: Red wine production process as a case study. *Applied Thermal Engineering*, 117, 511-521.
- Halkman, A. T. D., Korkmaz, A. G. Y.,** 2000. Yoğurt ve peynir için starter kültür üretimi (Doctoral dissertation, Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı).
- Icier, F., Colak, N., Erbay, Z., Kuzgunkaya, E.H., 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.
- Jokandan, M. J., Aghbashlo, M., Mohtasebi, S. S.,** 2015. Comprehensive exergy analysis of an industrial-scale yogurt production plant. *Energy*, 93, 1832-1851.
- Kahraman, A.,** 2018. Endüstriyel Mısır Kurutma Tesislerinde Enerji ve Ekserji Analizi. Yüksek Lisans Tezi, Harran Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Şanlıurfa.
- Kaplan, E.,** 2012. Ereğli Şeker Fabrikası'nın Enerji ve Ekserji Verimliliğinin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Aksaray Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Aksaray.
- Kart, M. Ç. Ö., Demircan, V.,** 2013. Dünyada ve Türkiye'de süt ve süt ürünleri

üretimi, tüketimi ve ticaretindeki gelişmeler, *Academic Food Journal*, 12(1), 79–80.

Kaushik, S. C., Reddy, V. S., Tyagi, S. K., 2011. Energy and exergy analyses of thermal power plants: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15(4), 1857-1872.

Keleşoğlu, D., 2014. Bir Çay Fabrikasının Enerji ve Ekserji Analizi. Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.

Kline, S., McClintock, F., 1953. Describing Uncertainties in Single-Sample Experiments. *Mechanical Engineering*, Vol. 75, 3-8.

Kool, E.D., Cuomo, M. A., Reddy, V.B, Rosen, A.M., 2018. Energy modelling and analysis of a multi-generation renewable energy system for dairy farm applications. *Biofuels*, 2(3), 1-11.

Kurt, A., 1980. Yoğurt'un tarihçesi ve Dünya yüzüne yayılışı. Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 1(1).

Maia, C. B., Ferreira, A.G., Gomez, L.C., Silva, J.O.C., Hanriot, S.M., 2017. Thermodynamic analysis of the drying process of bananas in a small-scale solar updraft tower in Brazil. *Renewable Energy*, 114, 1005-1012.

Nurseven, K., 2001. Bor Şeker Fabrikası Buharlaştırma Sistemlerinin Ekserji Analizi. Yüksek Lisans Tezi, Niğde Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Niğde.

Oni, A. O., Fadare, D. A., Adeboye, L. A., 2017. Thermoeconomic and environmental analyses of a dry process cement manufacturing in Nigeria. *Energy*, 135, 128-137.

Özilgen, M., Sorgüven, E., 2011. Energy and exergy utilization, and carbon dioxide emission in vegetable oil production. *Energy*, 36(10), 5954-5967.

Ramírez, C. A., Patel, M., Blok, K., 2006. From fluid milk to milk powder: Energy

use and energy efficiency in the European dairy industry. *Energy*, 31(12), 1984-2004.

Saidur, R., Ahamed, J. U., Masjuki, H. H., 2010. Energy, exergy and economic analysis of industrial boilers. *Energy Policy*, 38(5), 2188-2197.

Saidur, R., BoroumandJazi, G., Mekhlif, S., Jameel, M., 2012. Exergy analysis of solar energy applications. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16(1), 350-356.

Silva, G. M., Ferreir, A.G., Coutinho, R.M., Maia, C.B., 2021. Energy and exergy analysis of the drying of corn grains. *Renewable Energy*, 163, 1942–1950.

Singh, G., Singh, P.J., Tyagi, V.V., Barnwal, P., Pandey, A.K., 2019. Exergy and thermo-economic analysis of ghee production plant in dairy industry. *Energy*, 167, 602-618.

Singh, G., Tyagi, V.V., Singh, P.J., Pandey, A.K., 2020. Estimation of thermodynamic characteristics for comprehensive dairy food processing plant: An energetic and exergetic approach. *Energy*, 194, 116799.

Song, D., Lin, L., Bao, W., 2019. Exergy conversion efficiency analysis of a cement production chain. *Energy Procedia*, 158, 3814-3820.

Sorgüven, E., Özilgen, M., 2012. Energy utilization, carbon dioxide emission, and exergy loss in flavored yogurt production process, *Energy*, 40(1), pp. 214-225.

Soufiyan, M.M., Aghbashlo, M., 2017. Application of exergy analysis to the dairy industry: A case study of yogurt drink production plant. *Food and Bioproducts Processing*, 101, 118-131.

Şahin, H. M., Acir, A., Baysal, E., Kocyigit, E., 2007. Evaluation of energy

efficiency in Kayseri sugar plant by method of energy and exergy analysis. Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University, 22(1), 111-119.

Şahin, H., 2014. Gümüşhane Meyve Suyu Fabrikası'nın Enerji ve Ekserji Analizi. Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum.

Şengül, S., 2004. Türkiye'de gelir gruplarına göre gıda talebi. ODTÜ Gelişme Dergisi, 31, 115-148

Şimşek, O., Çetin, C., Bilgin, B., 2005. İstanbul iinde içme sütü tüketim alışkanlıkları ve bu alışkanlıkları etkileyen faktörlerin belirlenmesi üzerine bir araştırma, Tekirdağ Ziraat Fakültesi Dergisi, 2(1), 23-35.

Tagnamas, Z., Lamsyehe, H., Moussaoui, H., Bahammou, Y., Kouhila, M., Idlimam, A., Lamharrar, A., 2021. Energy and exergy analyses of carob pulp drying system based on a solar collector. Renewable Energy, 163, 495-503.

Taner, T., Sivrioglu, M., 2014. Thermo-economic analysis for the power plants of sugar factories. Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University, 29(2), 407-414.

Taner, T., Sivrioglu, M., 2015. Data on energy, exergy analysis and optimisation for a sugar factory. Data in Brief, 5, 408-410.

Tekin, T., 1995. Erzurum Şeker Fabrikası'nın Ekserji Analizi. Doktora Tezi, Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum.

Terin, M., 2014. Dünya süt ve süt ürünleri üretim, tüketim, fiyat ve ticaretindeki gelişmeler. Iğdır Üni. Fen Bilimleri Enst. Dergisi, 4(3), 54-56.

Türközü, B., 2008. Çumra Şeker Fabrikası Ekserji Analizi. Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.

- Utlu, Z., Sogut, Z., Hepbasli, A., Oktay, Z.,** 2006. Energy and exergy analyses of a raw mill in a cement production. Applied Thermal Engineering, 26(17–18), 2479-2489.
- Ünal, N. R., Besler, T. H.,** 2008. Beslenmede sütün önemi, <https://sbu.saglik.gov.tr/ekutuphane/kitaplar/b%208.pdf>-(01.02.2008)
- Ünal, Ü.,** 2013. Bir İçecek Fabrikasının Soğutma Sisteminin Kütle, Enerji ve Ekserji Analizlerinin Gerçekleştirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Yıldız N.,** 2009. Altı – on dört yas grubu çocukların süt tüketim durumu, Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü, Kayseri.
- Yıldız, G.,** 2017. Çorum Şeker Fabrikası’nda Kullanılan Isının Enerji ve Ekserji Analizi. Yüksek Lisans Tezi, Hitit Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Çorum.
- Yılmaz, L.,** 2006. Yoğurt benzeri fermente süt ürünleri üretiminde farklı probiyotik kültür kombinasyonlarının kullanımı, www.tarimdanhaber.com.
- Yurdakök, M.,** 2015. Yoğurdun öyküsü: Probiyotiklerin tarihi. Güneş Tıp Kitabevleri.
- Zbigniew, Ś. and Hebda, T., Łapczyńska-Kordon, B.,** 2013. Exergy analysis of bakery stove. Polish Society of Agricultural Engineering, 4(148), 95-102.
- Zisopoulos, F. K., Overmars, L., van der Goot, A. J.,** 2017. A conceptual exergy-based framework for assessing, monitoring, and designing a resource efficient agri-food sector. Journal of Cleaner Production, 158, 38-50.
- Zisopoulos, F. K., Rossier-Miranda, F.J., Van der Goot, A.J., Boom, R.M.,** 2017. The use of exergetic indicators in the food industry – A review. Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 57(1), 197-211.

Waheed, M. A., Jekayinfa, S.O., Ojediran, J.O., Imeokparia, O.E., 2008. Energetic analysis of fruit juice processing operations in Nigeria. *Energy*, 33(1), 35-45.



EKLER

Ek – 1: Cihaz ölçüm değerleri

Sıra No	\dot{m} (kg / sn)	P (Bar)	T (Kelvin)	\dot{W} (kW)
Pompa 1				
1	0,277	1	293,15	
44				1,124
2	0,277	1,25	292,15	
İlk Soğutucu				
2	0,277	1,25	292,15	
34	0,277	2,5	278,15	
3	0,277	2,75	279,15	
35	0,277	1,8	278,29	
Süt Depolama Tankı				
3	0,277	2,75	279,15	
38	0,277	2,5	275,06	
45				0,774
4	0,277	2,75	290,15	
39	0,277	1,8	278,29	
Pompa 2				
4	0,277	2,75	290,15	
46				4,368
5	0,277	2,75	286,05	
Süt Denge Tankı				
5	0,277	2,75	286,05	
43				3,245
6	0,277	2,75	289,15	

Pompa 3				
6	0,277	2,75	289,15	
47				1,124
7	0,277	2,75	288,15	

Yenileme 3				
7	0,277	2,75	288,15	
17	0,236	3,65	317,15	
8	0,277	2,48	287,95	
18	0,236	3,7	315,15	

Yenileme 2				
16	0,236	2,55	319,15	
8	0,277	2,48	287,95	
9	0,277	3,73	337,15	
17	0,236	3,65	317,15	

Yenileme 1				
11	0,277	3,67	333,15	
15	0,236	2,4	321,15	
16	0,236	2,55	319,15	
12	0,277	2,05	331,15	

Isıtma 2				
20	0,277	2,5	337,15	
14	0,236	3,7	323,15	
21	0,277	2,36	335,15	
15	0,236	2,4	321,15	

Isıtma 1				
12	0,277	2,05	331,15	
27	0,236	2,1	320,15	
13	0,236	3,65	328,15	
23	0,277	2,36	318,15	

Krema Ayırıcı				
33	0,236	4,18	303,15	
10	0,277	2,7	285,15	
49				11,014
35	0,513	2,5	287,25	

Pompa 4				
9	0,277	2,48	287,75	
48				2,784
10	0,277	2,7	285,15	

Pompa 5				
24	0,277	3,8	316,15	
50				2,939
25	0,277	3,9	313,15	

Eşanjör				
42	0,12	3,5	413,15	
26	0,277	3,9	313,15	
43	0,05	2,92	378,15	
20	0,21	2,5	337,15	

Su Tankı				
21	0,277	2,5	337,15	
28	0,272	1	300,15	
22	0,549	2,7	328,15	

Tutma Bobini				
13	0,277	3,7	325,15	
14	0,277	3	335,15	
Pompa 7				
30	0,57	4,18	325,15	
52				4,385
31	0,57	4,18	323,15	

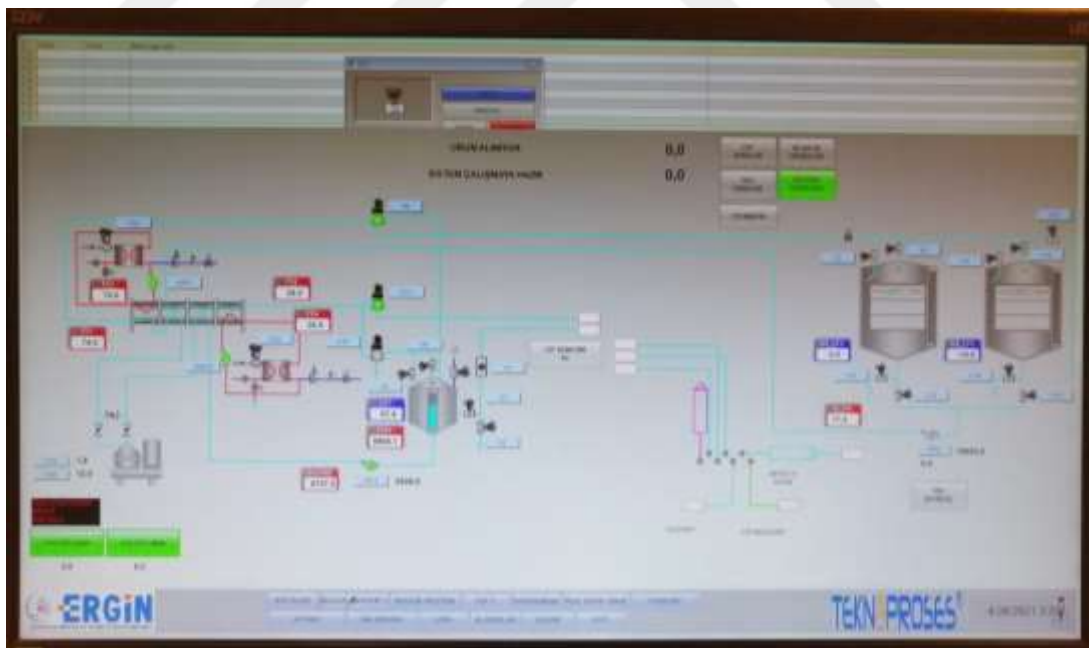
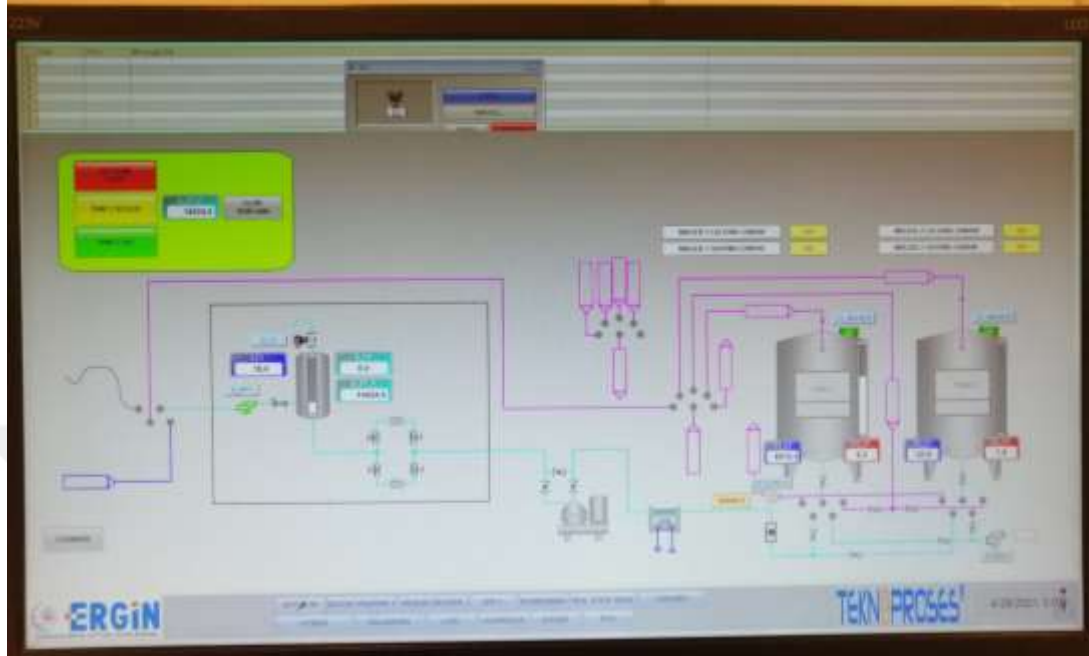
Ek – 2 : Hesaplamalar

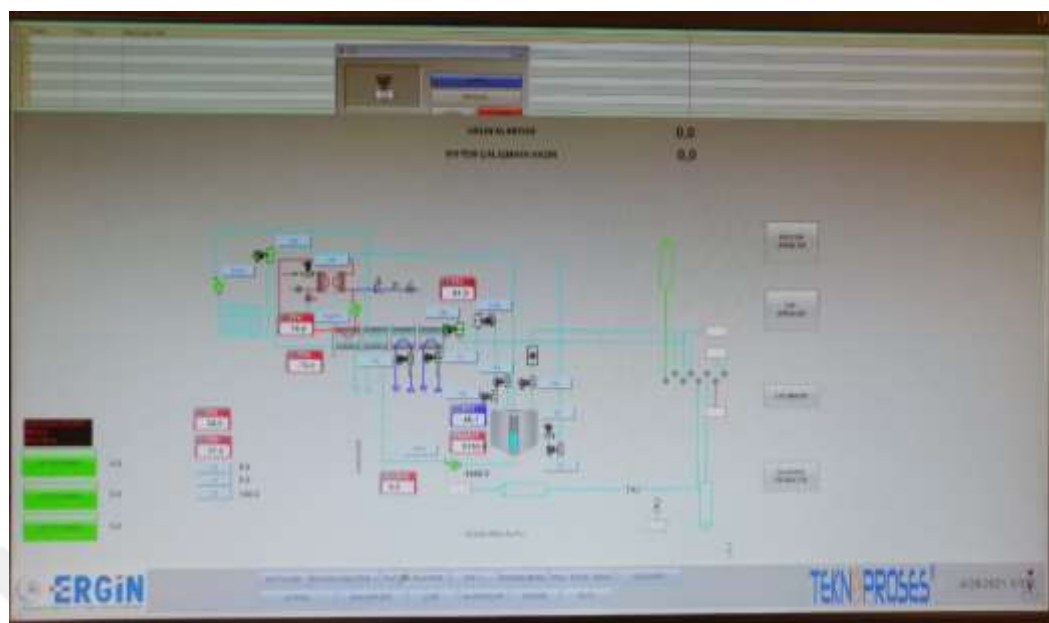
Sıra No	Entalpi	Entropi	\dot{E}_g	$\dot{E}_ç$	\dot{E}_{x_g}	$\dot{E}_{x_ç}$
Pompa 1						
1	83,915	0,2965	24,369	22,084	0,121	0,083
2	79,7284	0,2821				
İlk Soğutucu						
2	79,7284	0,2821	27,907	26,908	0,991	0,972
34	21,02	0,0763				
3	75,5418	0,2677				
35	21,599	0,07839				
Süt Depolama Tankı						
3	75,5418	0,2677	27,522	25,748	1,097	1,074
38	21,02	0,0763				
4	71,3552	0,2533				
39	21,599	0,07839				
Pompa 2						
4	71,3552	0,2533	24,133	15,007	0,671	0,379
5	54,178	0,1936				
Süt Denge Tankı						
5	54,178	0,1936	25,449	15,007	0,578	0,371
6	67,1686	0,2389				
Pompa 3						
6	67,1686	0,2389	19,731	17,446	0,269	0,232
7	62,982	0,2245				
Yenileme 3						
7	62,982	0,2245	60,9309	58,8409	0,984	0,957
17	184,258	0,6253				
8	62,5628	0,2215				
18	175,894	0,5988				

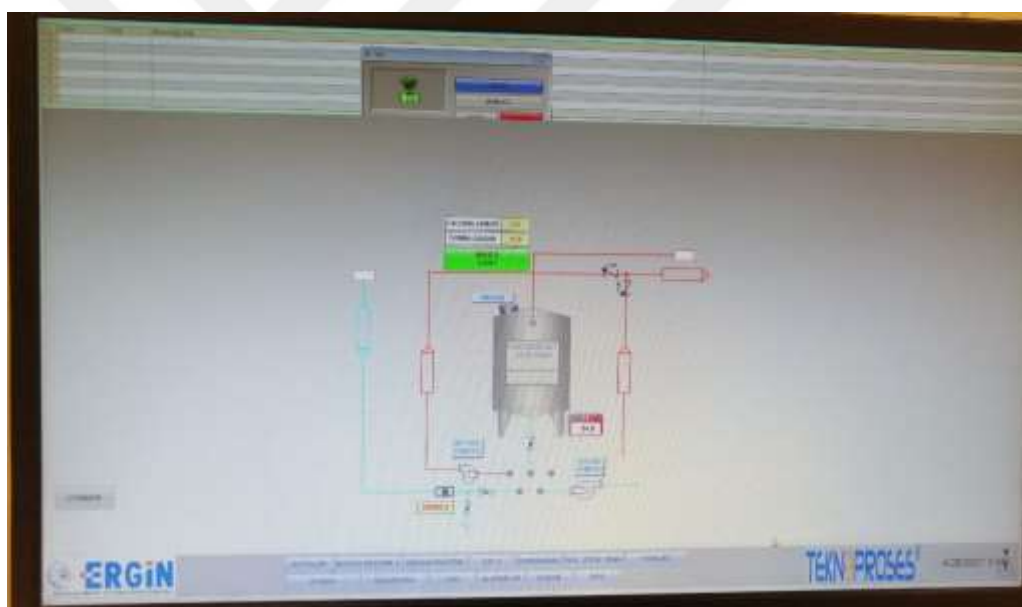
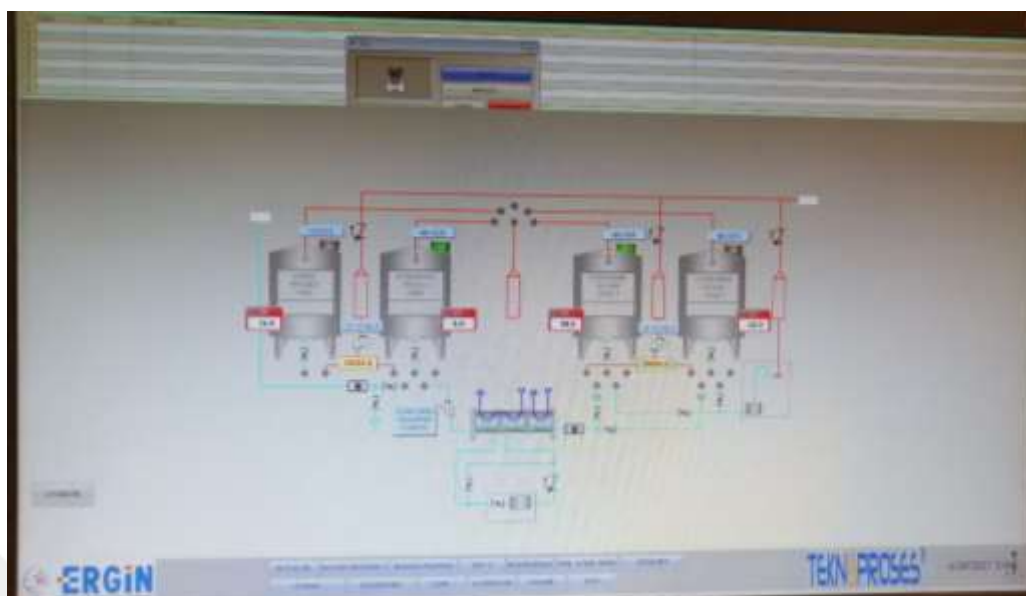
Yenileme 2						
16	192,62	0,65164	62,7882	61,6276	2,071	1,134
8	62,5628	0,221564				
9	65,497	0,218628				
17	184,258	0,62536				
Yenileme 1						
11	251,18	0,8313	117,008	112,717	3,811	3,397
15	200,98	0,67772				
16	192,62	0,65164				
12	242,812	0,80598				
Isıtma 2						
20	267,932	0,88122	123,621	119,328	5,317	4,092
14	209,34	0,7038				
21	259,556	0,85626				
15	200,98	0,67772				
Isıtma 1						
12	242,812	0,80598	113,791	106,539	5,183	3,264
27	197,17	0,66468				
13	230,26	0,768				
23	188,44	0,6386				
Krem Ayırıcı						
33	125,74	0,4368	54,651	30,3743	1,902	1,271
10	50,406	0,18046				
35	59,2092	0,211288				
Pompa 4						
9	61,3052	0,218628	19,765	13,962	0,599	0,416
10	50,406	0,18046				
Pompa 5						
24	180,076	0,61212	52,821	46,4058	0,981	0,728
25	167,53	0,5724				

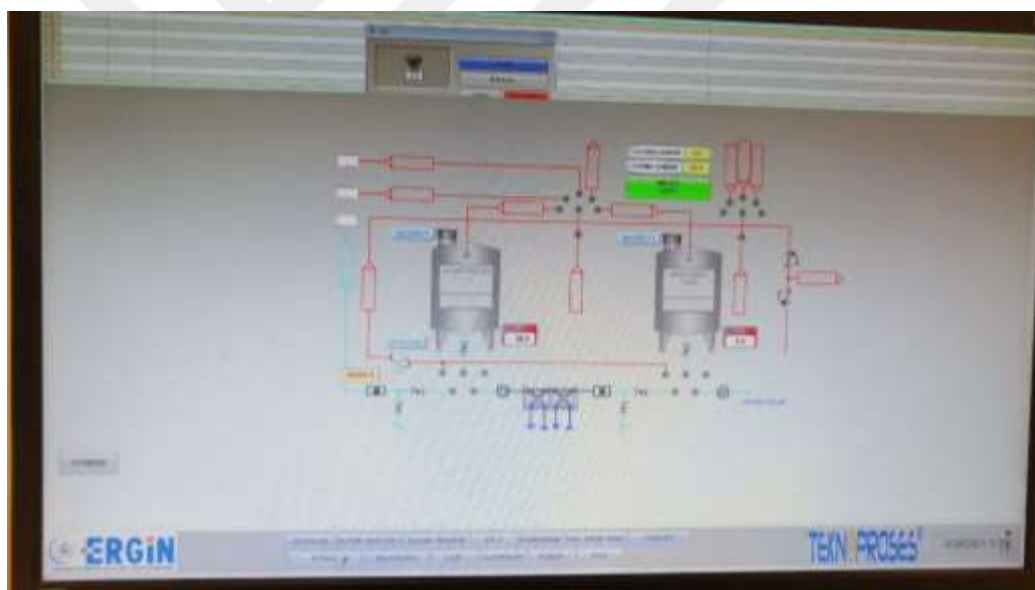
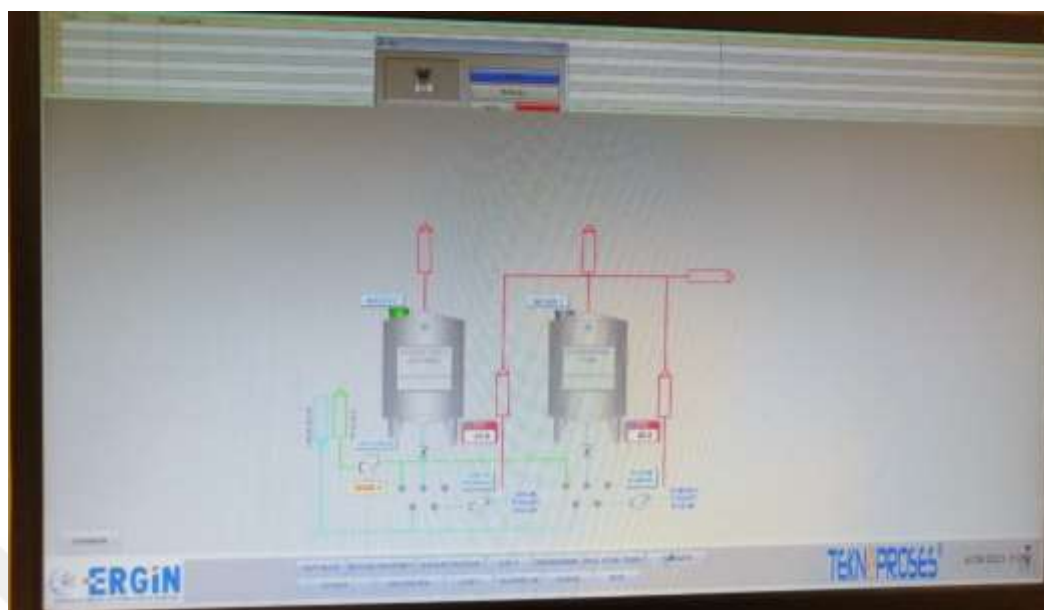
Eşanjör						
42	589,16	1,7392	117,105	78,2797	34,82	16,656
26	167,53	0,5724				
43	440,28	1,3634				
20	267,932	0,88122				
Su Tankı						
21	267,932	0,88122	105,006	63,2064	11,67	5,449
28	113,194	0,39504				
22	230,26	0,768				
Tutma Bobini						
13	217,708	0,72948	60,3051	57,9872	1,719	1,329
14	209,34	0,7038				
Pompa 7						
30	150,818	0,51856	90,351	76,437	0,815	0,422
31	134,1	0,46412				

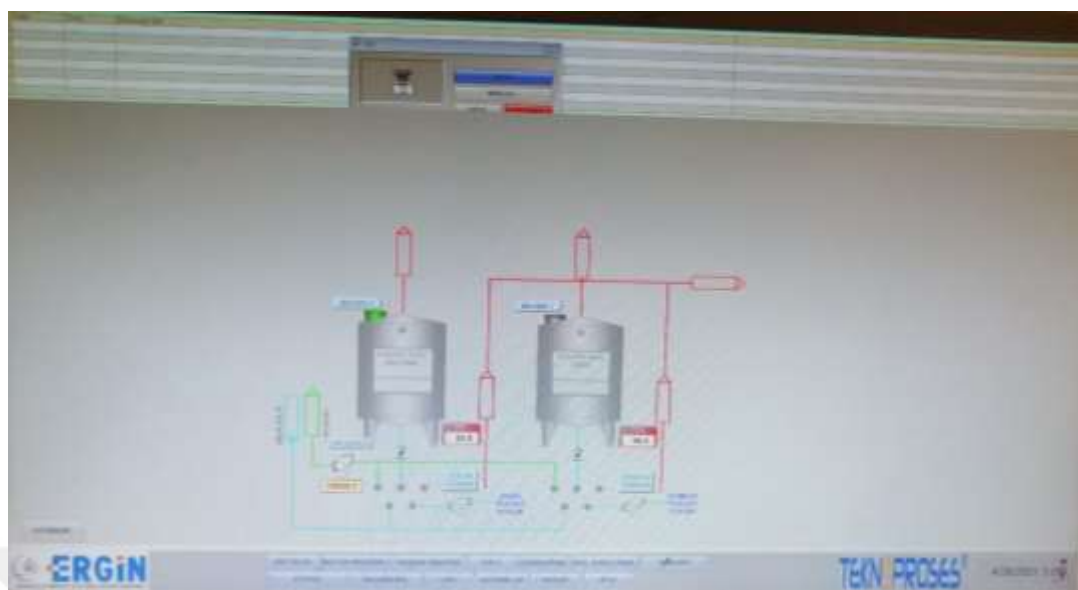
Ek – 3 : Ölçüm Cihazları Fotoğrafları



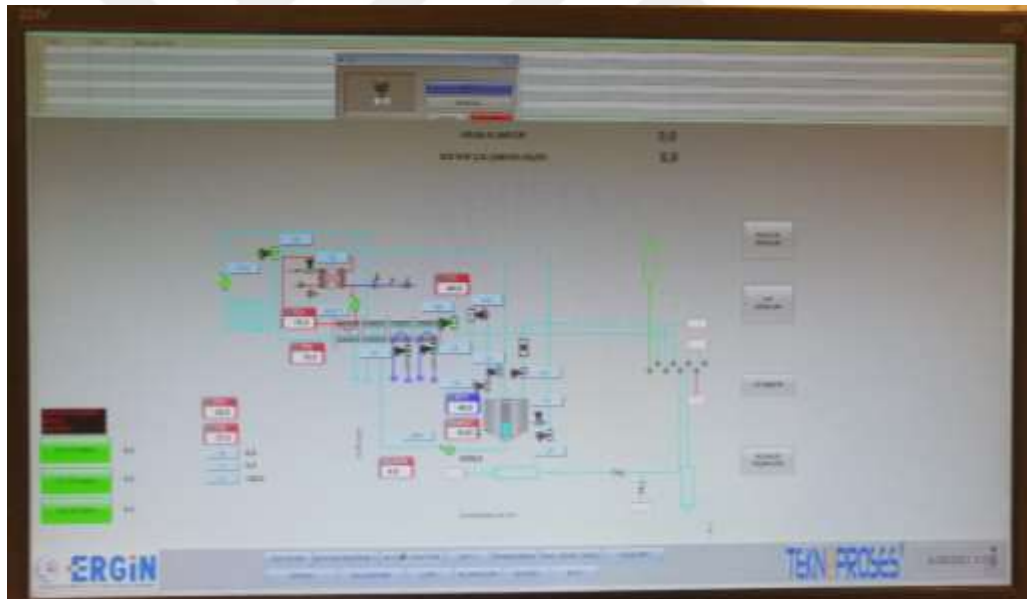
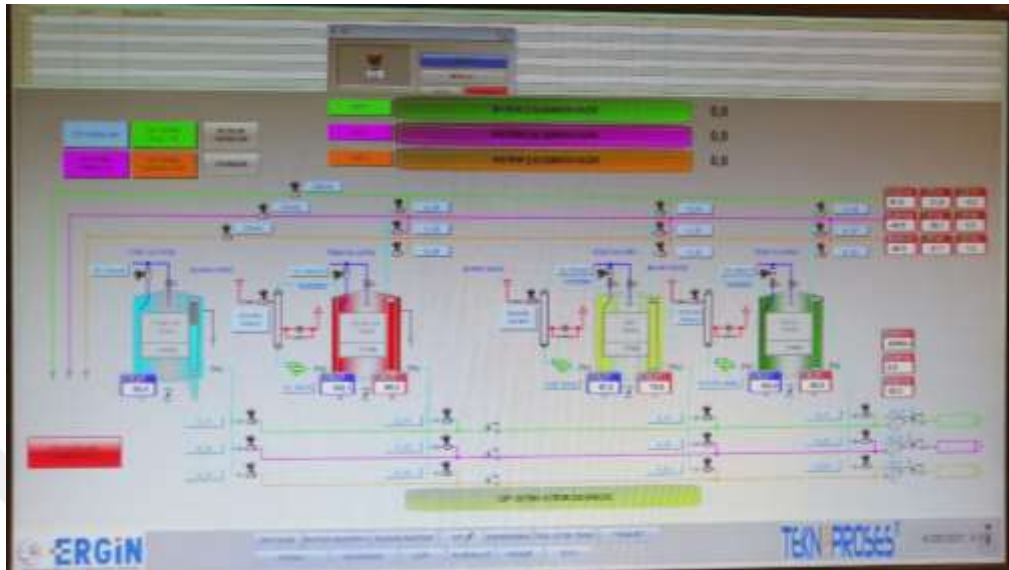


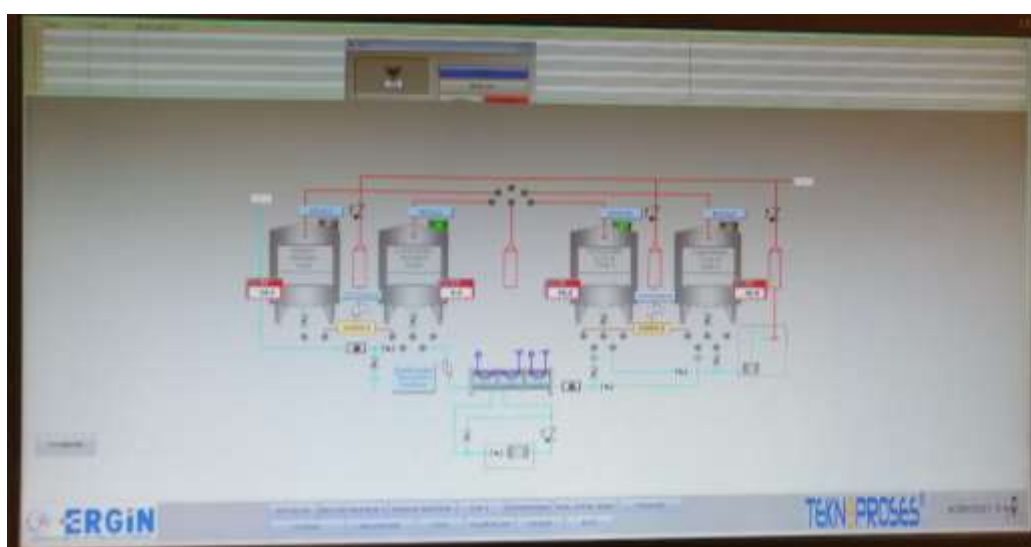
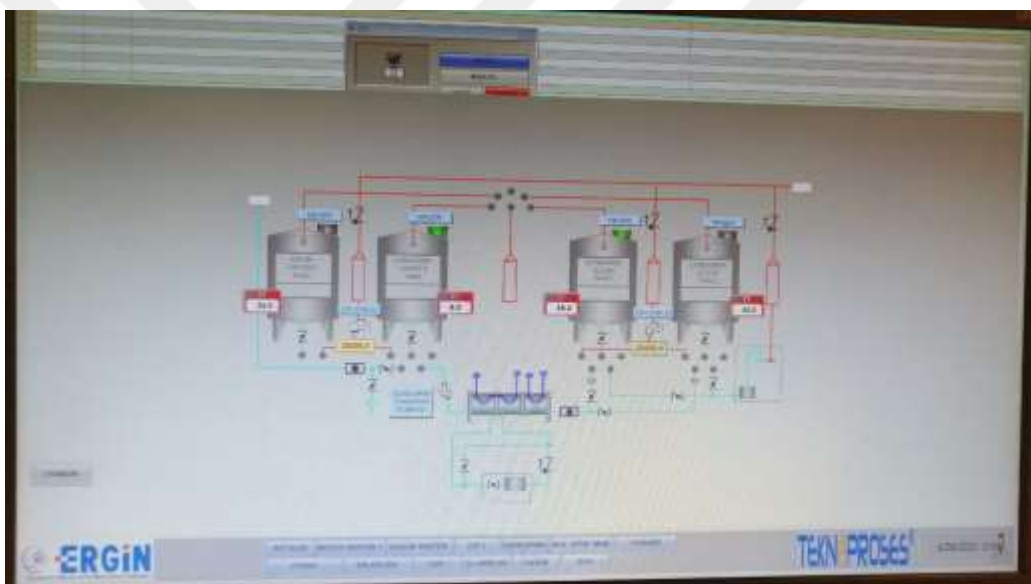
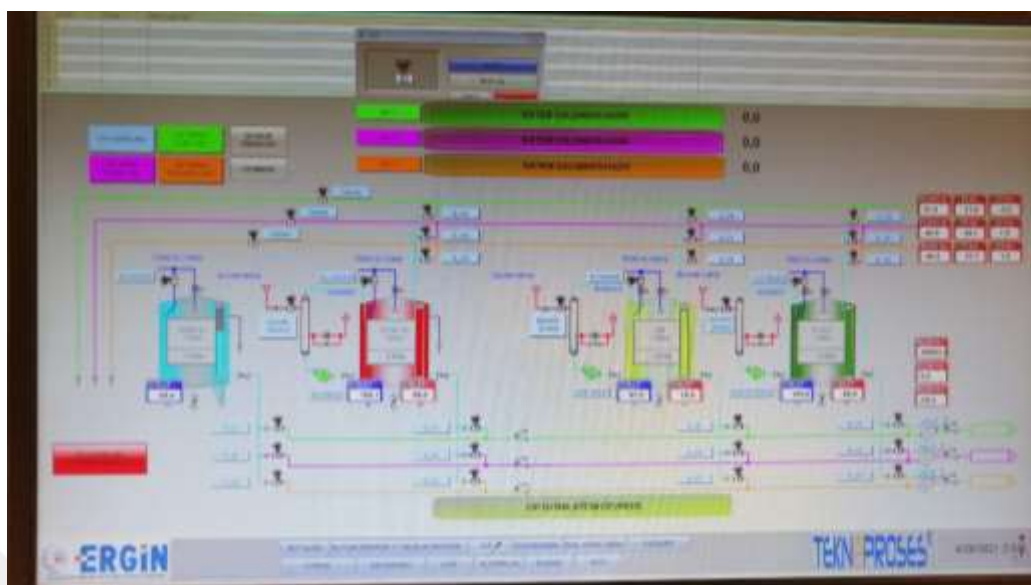


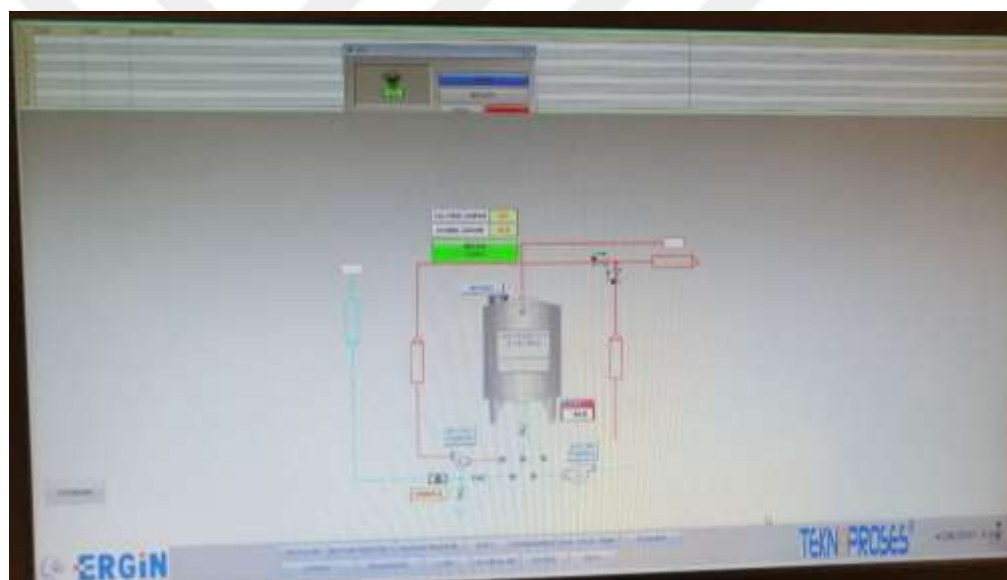
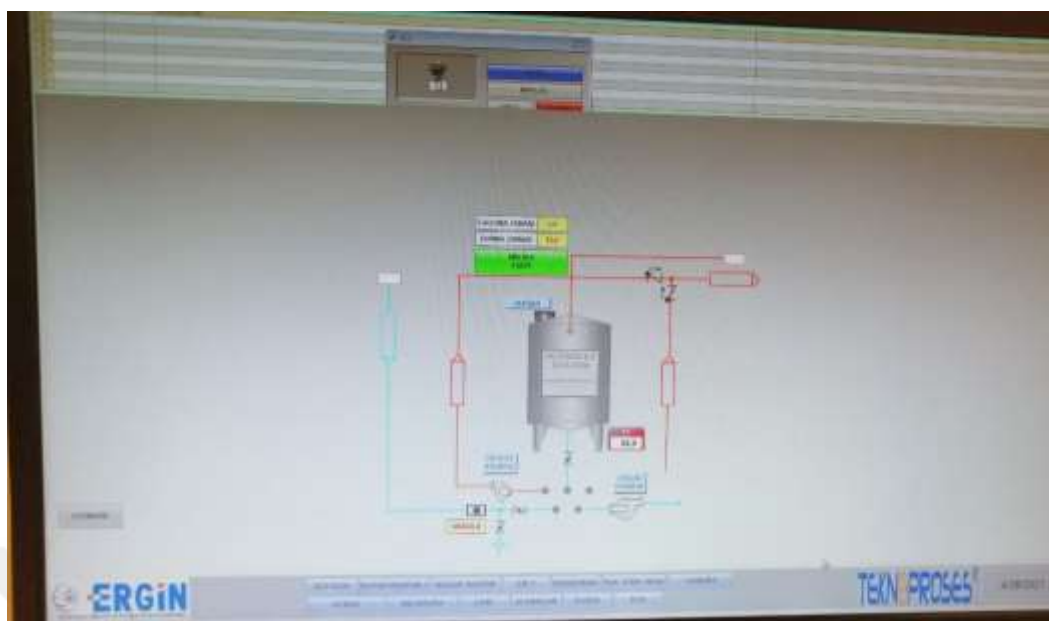




Ek – 4 : Ölçüm Cihazları Fotoğrafları (Elektrik İş Verileri)







ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Adı SOYADI : Kubilay MANTI

Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet tarihi
Yüksek lisans	Hitit Üniversitesi Makine Müh.Anabilim Dalı	2019-2021
Lisans	Erciyes Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği	2010-2015
Lise	Çorum Anadolu Öğretmen Lisesi	2005-2009

İş Deneyimi

Yıl **Yer** **Görev**

Yabancı Dil

İngilizce