



TÜRKİYE CUMHURİYETİ
ADANA ALPARSLAN TÜRKER BİLİM VE TEKNOLOJİ
ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
GIDA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

TAM YAĞLI SÜT TOZU ÜRETİMİNİN EKSERJETİK AÇIDAN
DEĞERLENDİRİLMESİ

ESMANUR UÇAL
YÜKSEK LİSANS



TÜRKİYE CUMHURİYETİ
ADANA ALPARSLAN TÜRKER BİLİM VE TEKNOLOJİ
ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
GIDA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

TAM YAĞLI SÜT TOZU ÜRETİMİNİN EKSERJETİK AÇIDAN
DEĞERLENDİRİLMESİ

ESMANUR UÇAL
YÜKSEK LİSANS

DANIŞMAN
DOÇ. DR. ZAFER ERBAY

ADANA 2020



Bu tezde yer alan tüm bilgilerin akademik kurallara ve etik davranışa uygun olarak elde edildiğini ve sunulduğunu beyan ederim. Ayrıca, bu kuralların ve davranışların gerektirdiği şekilde bu çalışmaya özgün olmayan tüm bilgiler için atıf verdiğimi ve kaynak gösterdiğimi beyan ederim.

[İmza]

Esmanur UÇAL

ÖZET

TAM YAĞLI SÜT TOZU ÜRETİMİNİN EKSERJİTİK AÇIDAN DEĞERLENDİRİLMESİ

Esmanur UÇAL

Yüksek Lisans, Gıda Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Zafer ERBAY

TEMMUZ 2020, 70 sayfa

Doğal kaynakların bilinçsizce kullanımı, çevre kirliliği, üretim ve tüketimin giderek artması gibi birçok faktör enerji kaynaklarının tükenmesine neden olmaktadır. Pek çok sektörde olduğu gibi, gıda üretim sektöründe de enerji, büyük oranda fosil yakıtlarından sağlamaktadır ve fosil yakıtların tükeniyor olması gerçeği enerji planlaması açısından oldukça önemlidir.

Bu çalışmada gıda üretim sektöründe yoğun enerjinin harcandığı bir kurutma prosesi olan tam yağlı süt tozu üretimi incelenmiştir. Tam yağlı süt tozu üretiminin kümülatif enerji ve ekserji kullanımı ile karbondioksit emisyon değerleri hesaplanarak ekserjetik açıdan değerlendirilmiştir. Çalışmada tam yağlı süt tozu üretiminde, tarladan sofraya bakış açısıyla hayvanın tarlada yemlenmesinden başlayıp, nihai ürünün paketli olarak eldesine kadar olan tüm süreç değerlendirilmiştir. Tam yağlı süt tozu üretiminde, 1 ton tam yağlı süt tozu üretmek için toplamda 36789,27 MJ kümülatif enerji ve 86080,76 MJ kümülatif ekserji kullanımının gerektiği, üretim sürecinde 2306,2 kg toplam karbondioksit emisyonunun olduğu hesaplanmıştır.

Çiğ süt üretimi kümülatif enerji kullanımının %70,6'sını, kümülatif ekserji kullanımının %85,3'ü, kümülatif karbondioksit emisyonu kullanımının %72,1'i oluşturarak toplamda en fazla enerjinin harcandığı süreçtir. Ayrıca çiğ süt üretimine giren enerjinin büyük kısmı yenilenebilir kaynaklardan yani hayvana beslenen bitkilerden gelir. Çiğ süt üretiminde kaybolan ekserjinin süt, gübre gibi faydalı ürünlere dönüşerek süreci yenilenebilir bir hale getirmektedir.

Süt tozu üretim sürecinde en fazla enerji harcayan makineler sırasıyla püskürtmeli kurutucu, evaporatör ve pastörizatördür. Püskürtmeli kurutucu %51 oranı ile en fazla enerji kullanımı, en

fazla ekserji yıkımının ve en fazla karbondioksit emisyonu kullanımının olduğu procestir. Bu çalışma ile kurutma işlemleri gibi yoğun enerji kullanımının gerçekleştiğı gıda işleme proseslerinde deneysel olarak sonuç elde etmenin güç olduğu, daha genel fotoğrafın önem taşıdığı durumlarda, kümülatif enerji-ekserji analiz teknikleri daha anlamlıdır. Özellikle günlük beslenmede önemli bir yeri olan süt ve süt ürünleri işleyen fabrikalar için sürdürülebilir enerji kullanımı kümülatif enerji-ekserji analizleri ile sağlamak daha mümkündür.

Anahtar Kelimeler: Süt tozu, ekserji analizleri, enerji, karbondioksit emisyonu.



ABSTRACT

EXERGETIC PERFORMANCE ASSESSMENT OF WHOLE MILK POWDER PRODUCTION

Esmanur UÇAL

M.Sc., Department of Food Engineering

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Zafer ERBAY

JULY 2020, 70 pages

Many factors such as unconscious usage of natural resources, environmental pollution, increasing production and consumption cause the depletion of energy resources. As in many industries, energy in the food production sector is largely due to fossil fuels and depletion of fossil fuels is very important for energy planning. In this study, the production of whole milk powder, which is a drying process where intense energy is spent, has been investigated in the food production sector. Usage of cumulative energy and exergy in all milk powder production were calculated exergetics by carbon dioxide emission values. In this study, the whole process of producing milk powder from farm to fork is evaluated. In the production of milk powder, it has been calculated total of 36789.27 MJ cumulative energy, 86080,76 MJ cumulative exergy and 2306,2 kg carbon dioxide emission is generated to produce 1 ton of whole milk powder. Raw milk production constitutes 70.6% of cumulative energy utilization, 85.3% of cumulative exergy utilization, and 72.1% of cumulative carbon dioxide emission utilization, and the process where the most energy is spent in total. In addition, most of the energy that enters raw milk production comes from renewable sources, namely plants that feed on animals. The exergy lost in raw milk production turns into useful products such as milk and fertilizer, making the process renewable. The machines that use the most energy during the milk powder production are respectively spray dryers, evaporators and pasteurizers. Spray dryer is the process with the highest energy use, the highest exergy destruction and the highest carbon dioxide emission usage with a rate of 51%. With this study, cumulative energy-exergy analysis techniques are more meaningful when it is difficult to obtain experimental results in food processing processes such as drying process, where intense energy use takes place and

more general photography is important. It is more possible to provide sustainable energy use with cumulative energy-exergy analysis for factories processing milk and dairy products, which have an important place especially in daily nutrition.

Keywords: Milk powder, exergy analysis, energy, carbon dioxide emission.



TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitimim boyunca çalışmamın her aşamasında engin bilgi ve tecrübesiyle bana yol gösteren değerli hocam Doç.Dr. Zafer Erbay'a en içten saygılarımla teşekkürü bir borç bilirim.

Yüksek lisans eğitimim boyunca Prof.Dr. Haşım Kelebek, ve Dr.Öğr.Üyesi Levent Yurdaer Aydemir hocalarım başta olmak üzere tüm bölüm hocalarıma;

Tez çalışması için yardım ve desteklerini benden esirgemeyen meslektaşlarım Nuray Keskin, Kübra Sökmen'e;

Tez çalışmamda ve çalışma hayatımda sürekli desteği ve yardımseverliği ile motive eden Hülya Işıkalp'e;

Hayatımın her aşamasında maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen aileme;

teşekkürlerimi sunarım.

Bu tez 18332012 projesi numarası ile Adana Alparslan Türkeş Bilim ve Teknoloji Üniversitesi , Bilimsel Araştırma Projeleri Komisyon Birimi tarafından desteklenmiştir.

İÇİNDEKİLER

İÇİNDEKİLER.....	ix
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	x
TABLolar LİSTESİ.....	xii
KISALTMALAR.....	xiii
1. GİRİŞ.....	1
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR	3
2.1. Kurutma Teknolojisi.....	3
2.2. Kurutma Yöntemleri ve Püskürtmeli Kurutucular	5
2.3. Süt Tozu	8
2.4. Ekserji Analizleri ve Gıda Sektöründeki Uygulamaları.....	9
3. MALZEME VE YÖNTEM	15
3.1. Yöntem	15
3.2. Malzeme	19
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	20
4.1. Süt tozu üretimi Kütle Denge Denkliği.....	20
4.2. Çiğ Süt Üretimi Kümülatif Enerji, Ekserji ve CO ₂ Emisyonu	21
4.3. Tam Yağlı Süt Tozu Paketleme Kümülatif Enerji, Ekserji ve CO ₂ Emisyonu	27
4.4. Tam Yağlı Süt Tozu Üretimi Kümülatif Enerji, Ekserji ve CO ₂ Emisyonu.....	34
5. SONUÇLAR.....	42
6. ÖNERİLER.....	44
KAYNAKLAR DİZİNİ.....	45
ÖZGEÇMİŞ	53

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 3.1. Tam yağlı süt tozu üretimi genel akış şeması şekildeki gibidir.....	16
Şekil 3.2. Süt tozu üretim proses akış şeması.....	19
Şekil 4.1. Çiğ süt üretimi enerji hesaplamaları akım şeması.....	23
Şekil 4.2. 1 ton süt tozu üretmek için gerekli çiğ sütün eldesindeki girdilerin enerji gereksinimleri.....	24
Şekil 4.3. 1 ton süt tozu üretmek için gerekli çiğ sütün eldesindeki girdilerin ekserji gereksinimleri.....	25
Şekil 4.4. 1 ton süt tozu üretmek için gerekli çiğ sütün eldesindeki girdilerin CO ₂ emisyon miktarları.....	25
Şekil 4.5. 1 ton süt tozu üretmek için gerekli çiğ sütün eldesindeki girdilerin enerji ve ekserji kullanımları ile CO ₂ emisyon miktarları.....	26
Şekil 4.6. Çiğ süt üretiminde kullanılan girdilerin enerji kullanımlarına göre oransal dağılımı.....	27
Şekil 4.7. Çiğ süt üretiminde kullanılan girdilerin ekserji kullanımlarına göre oransal dağılımı.....	28
Şekil 4.8. Çiğ süt üretiminde kullanılan girdilerin karbondioksit emisyonlarına göre oransal dağılımı.....	28
Şekil 4.9. Kraf dolum ve paketleme akım şeması.....	29
Şekil 4.10. Süt tozu paketleme ve Kraft torba için girdilerden gelen enerji kullanımı.....	30
Şekil 4.11. Süt tozu paketleme ve Kraft torba için girdilerden gelen ekserji kullanımı.....	31
Şekil 4.12. Süt tozu paketleme ve Kraft torba için girdilerden gelen karbondioksit emisyonu.....	31
Şekil 4.13. Süt tozu paketleme ve Kraft torba için girdilerden gelen kümülatif enerji ve ekserji kullanımı ile karbondioksit emisyonu.....	32
Şekil 4.14. Süt tozu paketlemede kullanılan girdilerin enerji kullanımlarına göre oransal dağılımı.....	33
Şekil 4.15. Süt tozu paketlemede kullanılan girdilerin ekserji kullanımlarına göre oransal dağılımı.....	33
Şekil 4.16. Süt tozu paketlemede kullanılan girdilerin karbondioksit emisyonuna göre oransal dağılımı.....	34
Şekil 4.17. Tam yağlı süt tozu üretimi akım şeması.....	36
Şekil 4.18. Süt tozu üretim proseslerindeki enerji kullanımının yüzdelik dağılımı.....	38
Şekil 4.19. Süt tozu üretim proseslerindeki ekserji kullanımının yüzdelik dağılımı.....	39
Şekil 4.20. Süt tozu üretim proseslerindeki karbondioksit emisyonunun yüzdelik dağılımı.....	40
Şekil 4.21. Süt tozu üretim prosesleri enerji, ekserji kullanımı ve karbondioksit emisyonu.....	41

Şekil 4.22. 1 ton süt tozu üretimi için tüm sürecin enerji, ekserji kullanımı ve CO₂ emisyonu.....42



TABLÖLER LİSTESİ

Tablo 2.1. Ekserji analizinin işlem/cihaz analizi şeklindeki uygulamalarının yapıldığı kurutucu tipleri ve kurutulan gıda ürünleri.....	11
Tablo 2.1. Ekserji analizinin işlem/cihaz analizi şeklindeki uygulamalarının yapıldığı kurutucu tipleri ve kurutulan gıda ürünleri.....	12
Tablo 2.3. Gıda ürünlerinin tarladan sofraya tüm üretim süreci yaklaşımı ve kümülatif ekserji analizi yöntemi ile incelendiği çalışmalar.....	12
Tablo 3.1. Tam yağlı süt tozu üretimi için tüm girdilerin spesifik enerji değerleri.....	17
Tablo 3.2. Tam yağlı süt tozu üretimi için tüm girdilerin spesifik ekserji değerleri.....	17
Tablo 3.3. Tam yağlı süt tozu üretimi için tüm girdilerin spesifik CO ₂ emisyon değerleri.....	18
Tablo 3.4. Süt tozu üretimi için kullanılan makinelerin kapasite, enerji kullanımı ve fiyat bilgileri.....	20
Tablo 4.1. Tam yağlı süt tozu üretimi kütle denge denkliği ile hesaplanan kütle, kuru madde, nem, ve yağ değerleri.....	22
Tablo 4.2. 1 ton süt tozu üretmek için gerekli çiğ sütün eldesinde enerji ve ekserji tüketimleri ile CO ₂ emisyon miktarları.....	23
Tablo 4.3. Süt tozu paketleme ve Kraft torba için enerji, ekserji ve karbondioksit emisyon miktarları.....	30
Tablo 4.4. Süt tozu üretiminde kümülatif enerji ve ekserji kullanımı ile toplam CO ₂ emisyonu.....	37

KISALTMALAR

$\dot{m}$	: Kütlesel Akış Hızı
x_{dm}	: Yağsız Kuru Madde
x_f	: Yağ Miktarı
Q	: Isı
W	: İş
Q_k	: Isı kaybı
T_0	: Başlangıç sıcaklığı
T_s	: Referans çevre sıcaklığı
$\dot{E}x_{yıkım}$	: Ekserjetik yıkım
E	: Enerji
E_x	: Ekserji
KM	: Kuru Madde Oranı
CEnc	: Kümülatif Enerji
CExC	: Kümülatif Ekserji
CCO_2	: Kümülatif Karbondioksit Emülsiyonu
PE	: Polietilen
CO_2	: Karbondioksit

1. GİRİŞ

Son yıllarda enerji kullanımının artması ve mevcut enerji kaynaklarının giderek tükeniyor olması, var olan enerjinin daha verimli kullanılması yönünde olan çalışmaları hızlandırmıştır. Günümüzde insanlık, giderek artan enerji tüketimi ve ekosistem bozulmalarını kapsayan çevre sorunları ile karşı karşıyadır. En önemli problemler arasında küresel iklim değişikliği ile atmosferdeki sera gazı etkisi öne çıkmaktadır. Enerji tüketiminden kaynaklanan karbondioksit salımı toplam sera gazı salımlarının yaklaşık üçte ikisini oluşturmaktadır. Bilinçsiz fosil yakıt kullanımı da karbondioksit emisyonuna sebep olmaktadır (Dincer, 2011). Bu enerji temelli çevresel sorunların artmasının en önemli nedeni mevcut sektörde tüketilen yakıtın büyük ölçüde fosil yakıtlar olmasıdır. Birçok ülkede, güneş, rüzgar ve diğer yenilenebilir enerji teknolojileri temiz bir enerji geleceği için çözüm yolu olarak görülmektedir. Bu yüzden son yıllarda alternatif enerji kaynakları araştırılması ve mevcut enerji kaynaklarının verimli bir şekilde kullanım çalışmaları yoğun bir şekilde artmıştır. Bilim insanları, mühendisler ve araştırmacılar tarafından özellikle enerjinin verimli tüketimi yani mevcut sektörlerdeki kayıp enerjinin tekrar geri kazanımı amacıyla yapılan çalışmalarda bir artış gözlenmiştir. Enerji tüketimi fazla olan sektörler; kağıt, demir-çelik, petrol ve kimya işleme sektörleridir. Gıda işleme sektörü de enerji tüketimi fazla olan sektörler arasında 5. sırada bulunmaktadır. Bu nedenle fabrikaların enerji kullanımından kaynaklanan sistem verimsizliklerini belirleyerek enerji ve ekserji analizleri ile daha verimli ve sürdürülebilir enerji kullanımı sağlanmalıdır (Yıldırım ve Genc, 2017). Endüstriyel proseslerin enerji ve ekserji analizlerini gerçekleştirmede termodinamiğin birinci ve ikinci yasası önemli bir rol oynamaktadır. İlk yasa enerjinin korunumuna dayanır. Enerji korunumu ilkesine göre, bir hal değişimi sırasında kapalı bir sistemin toplam enerjisindeki net değişim, sisteme giren toplam enerji ile sistemden çıkan toplam enerjinin farkına eşittir. Fakat sistem verimsizliklerinin belirlenmesi ve verimsizliklerin en iyi nasıl giderileceği konularına ilk yasa yanıt aramaz (Akpınar ve diğerleri, 2006; Dincer, 2011). İkinci yasa süreçlerin tersinir veya tersinmezliğini ile entropi kavramını içerir. İkinci yasanın da kullanıldığı analizler ekserji analizleri olarak bilinmektedir ve ekserji analizleri enerji sistemleri analizinde çok önemlidir. Bu nedenle son yıllarda enerji ve enerji verimlilikleri üzerine ekserji ve ekserji analizleri yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Kurutma gıda endüstrisinde yaygın kullanılan bir yöntemdir. Gelişmiş ülkelerde ulusal enerjinin %9-25'ini tüketen yoğun enerji kullanımının olduğu bir temel işlemdir (Goh ve diğerleri, 2011). Kurutma işleminin çok fazla enerji harcaması enerji verimliliği açısından

önemli bir sorundur. Süt ve süt ürünleri ise günlük olarak sürekli ve çok miktarlarda tüketilen temel bir gıda grubudur. Bu nedenle süt işleme fabrikalarında yapılacak olan ekserji analizleri enerji kullanımını daha verimli hale getirmede büyük önem taşımaktadır (Mojarab ve diğerleri, 2015).

Bu çalışmada, tam yağlı süt tozu üretiminde enerji kullanımı, karbondioksit emisyonu ve ekserji kaybının, çiftlikteki hayvanın yemlenmesinden başlayarak nihai ürünün tarladan sofraya tüm sürecinin hesaplandığı bir yaklaşımla sunulacaktır. Çiftlikte çiğ haldeki sütü üreten hayvanın tükettiği otun enerjisinden başlayıp, nihai ürün olan tam yağlı süt tozuna kadar süren üretimdeki tüm işlem basamakları belirlenerek hesaplanmıştır. Bu hesaplamalarla tam yağlı süt tozu üretiminin termodinamik analizi yapılarak, çevresel etkileri incelenmiş ve bu şekilde daha sürdürülebilir bir üretim süreci için çeşitli önerilerde bulunulmuştur.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

2.1. Kurutma Teknolojisi

Gıdaların kurutulması eski zamanlardan günümüze kadar devam eden bir temel işlemdir. Gıda işleminde kurutma, yeni ürün formülasyonlarının tasarlanabilmesine ve aynı zamanda meyve ve sebzelerin raf ömürlerinin uzatılabilmesine olanak sağlamaktadır. Gıda ürünlerinde nem miktarı gıdanın güvenliği, raf ömrü ve besin değerleri açısından ürünün kalitesini belirleyen önemli bir parametredir (Beigi ve diğerleri 2017; Sarker ve diğerleri, 2015). Kurutma, ürünlerdeki sıvının uzaklaştırılması olarak tanımlanır. Kurutma işlemi ile;

- Gıdadaki nem içeriğinin düşürülerek kuru madde oranının artmasıyla paketlenme, depolama ve taşıma işlemlerinin maliyetleri azaltılır.
- Mikroorganizma etkinliği minimuma düşürülerek ürünün raf ömrü arttırılır.
- Kurutulmuş gıdaların her mevsim tüketilmesi sağlanır.
- Kurutulmuş gıda üretimi diğer saklama yöntemlerinden daha az işçilik ve daha az donanım gerektirdiğinden besinlerin saklanması en ekonomik yöntemlerden birisidir.

Bu nedenlerden dolayı gıdaların kurutularak saklanması yaygın olarak kullanılan yöntemlerdendir (Goh ve diğerleri, 2011).

Kurutma işlemi gazlardan, sıvılardan, katılardan su veya diğer sıvıların uzaklaştırılmasıdır. Kurutma genellikle katı maddelerden ısı yöntemleri ile su veya uçucu diğer maddelerin giderilmesi işlemi şeklinde tanımlanmaktadır. Kurutma işlemi ısı ve kütle transferinin aynı anda gerçekleştiği bir olaydır. İşlem sırasında kurutulan gıdada gazdan katıya doğru ısı transferi gerçekleşir. Kurutma işleminde kurutulan gıdanın kalitesi ve raf ömrünün sıcaklıktan olumsuz etkilenmesinden dolayı, bu işlemde son kurutma derecesi çok önemlidir. Bu sebeple kurutma ortam şartlarının optimize edilerek kontrollü bir şekilde gerçekleştirilmesi önemlidir (Terehovics ve diğerleri, 2017; Güngör, 2013). Kurutma sistemleri geleneksel ve endüstriyel olmak üzere iki metoda dayanmaktadır. Geleneksel yöntemlerde kurutma işleminin uzun sürede gerçekleşmesi en önemli dezavantajdır. Uzun süreli kurutma işleminde üründe mikrobiyal bozulma oluşmakta, bu da ürünün fiziksel ve kimyasal kalitesini olumsuz

etkilemekte, standart ürün elde edilmesini engellemektedir. Bu sorunları aşmak için endüstriyel kurutucular geliştirilmiştir. Gıda kurutmada çok çeşitli kurutucular kullanılabilmektedir. Bunlar içerisinde endüstriyel olarak en yaygın kullanılan kurutucu tipleri; kabin/tünel tipi kurutucular, akışkan yatak kurutucular, ısı pompalı kurutucular, güneş enerjisi destekli/güneş kollektörlü kurutucular, liyofilizatörler (dondurarak kurutma) ve püskürtmeli kurutuculardır. Bu kurutma yöntemlerinde çok fazla enerji harcanması, enerji verimliliğinin az olması gibi önemli sorunlar vardır (Beigi ve diğerleri, 2017; Sarker ve diğerleri, 2015). Ekserji analizleri kütlenin ve enerjinin korunumu prensipleri ile termodinamiğin ikinci yasa prensiplerinin birleştirilerek beraber uygulanmasını içerir. Atıkların ve kayıpların yerlerinin, türlerinin ve gerçek büyüklüklerinin yanı sıra, sistemin gerçek verimliliklerinin tanımlanmasını sağlayarak enerji verimliliğini geliştirir. Sistem tasarımının daha verimli ve mevcut sistemlerdeki verimsizliklerinin azaltılmasını sağlar. Enerji ve diğer kaynak kullanımının çevre üzerindeki etkilerine değinir ve bu etkinin azaltılmasını sağlar. Tüm gıdalar için uygun tek bir kurutma yönteminden bahsetmek mümkün değildir. Bu nedenle nihai ürünün istenilen kalite kriterlerine uygun olması ve aynı zamanda da ekonomik olarak üretilebilmesi için farklı ürünlere farklı kurutma işlemleri uygulanmalıdır. Günümüzde birçok kurutma yöntemi mevcuttur. Bu kurutma yöntemleri tek başlarına bir ürünün kurutulmasında kullanılabileceği gibi, farklı kurutma yöntemlerinin beraber kullanılmasıyla da gerçekleştirilir. Günümüzde artan insan nüfusu ve paralelindeki iyi yaşam beklentileri endüstriyel üretimde enerjinin daha etkin kullanılması yönündeki çalışmaları arttırmıştır. Endüstriyel ölçekte modern kurutma cihazlarıyla enerjiyi daha verimli kullanmakla beraber daha kaliteli nihai ürün elde edilir.

2.2. Kurutma Yöntemleri ve Püskürtmeli Kurutucular

Gıda endüstrisinde kullanılan kurutma yöntemleri güneş enerjisiyle kurutma, dondurarak kurutma ve sıcak hava ile kurutma olarak üç başlık altında toplanabilir. Bilinen en eski kurutma yöntemi güneşte kurutmadır. Kurutma işleminin doğrudan güneş altında gerçekleşmesi geleneksel bir yöntemdir. Güneş enerjisi destekli kurutucular ise güneş enerjisinden yararlanarak sıcak hava akımı ile kurutarak çalışan basit kurutucu tipleridir. Güneşte kurutmanın en büyük avantajı düşük maliyetli olmasıdır. Gıda ürünlerinin güneşte kurutulması sırasında toprak, toz, yağmur, böcek ve diğer hayvanların etkisine maruz kalmasıyla kalitenin olumsuz yönde etkilenmesi önemli bir dezavantajdır. Bu tür dezavantajlar nedeniyle, güneş enerjisi kaynaklı endüstriyel kurutma sistemleri tasarlanmıştır. Meyve, sebze, hububat, baharat ve çayın kurutulmasında tercih edilmektedir (Güngör, 2013).

Dondurarak kurutma yöntemi donmuş hâldeki ürüne vakum altında kontrollü bir şekilde ısı verilerek içindeki donmuş hâldeki suyun süblime edilerek üründen uzaklaştırılması işlemidir. Dondurarak kurutma işlemi temel olarak; dondurma işlemi, ürünün içerdiği serbest haldeki suyun uzaklaştırılması, ürünün içindeki kimyasal bağlı olarak bulunan suyun uzaklaştırılması işlemlerinden oluşur. Diğer kurutma yöntemleriyle karşılaştırıldığında en kaliteli ürün dondurarak kurutma yöntemi ile elde edilebilir. Dondurarak kurutmanın en belirgin avantajları, ürünlerin duyuşal özelliklerinin ve besin değerlerinin korunarak bozulma reaksiyonlarını minimuma indirmesi bununla birlikte üründe daha az tat ve aroma kaybına neden olmasıdır. Dondurarak kurutma yöntemi kurutma hızının çok düşük olması ve çok yüksek enerji kullanılmasını gerektiren vakum içermesinden dolayı hem pahalı hemde çok tercih edilmeyen bir yöntemdir. Kahve, çay, hazır çorba, gibi yüksek piyasa değerine sahip ürünlerin üretilmesinde tercih edilebilmektedir (Odas ve diğerleri, 2010).

Sıcak hava ile çalışan kurutucularda ürüne, içinde bulunan nemin buharlaştırılması için gerekli olan gizli ısı, hava tarafından sağlanır. Ürünün içindeki nem üründen hava yolu ile uzaklaştırılır. Hava ile ürün arasında ısı ve nem transferi aynı anda gerçekleşir ürünün su aktivitesi azaltılır.

Tünel, tepsili ve bantlı kurutucular genellikle meyve kurutmada tercih edilmektedirler. Tepsili kuruculara benzemelerine rağmen tünel kurutucularda tepsiler hava akımına paralel veya zıt

yönde ilerlerler. Tünel kurutucular basit olmalarına rağmen verimli çalışırlar. Büyük miktarlarda ürünlerin kurutulmasına imkan sağlayan tünel kurutucular endüstriyel kurutmada sık kullanılan kurutuculardır. Tepsili kurutucularda dezavantaj, tepsiler üzerinde aynı kurutma hızının sağlanamamasıdır. Bu nedenle tepsili kurutuculara laboratuvar ölçekli çalışmalarda tercih edilmektedir.

Bantlı kurutucular tünel ve tepsili kurutuculara göre daha fazla miktarda ürünün standart kalitede üretilmesini sağlar. Yaklaşık 60 metre uzunluğundaki bantlı bir kurutucuda saatte iki tondan yedi tona kadar ürün kurutulabilmektedir (Kantar ve Isci, 2015).

Sıvı haldeki gıdaların toz forma dönüştürülmesinde ise en çok tercih edilen kurutucu tipi püskürtmeli kurutuculardır. Püskürtmeli kurutucunun patenti ilk olarak 1872 yılında Samuel Percy tarafından alınmıştır. 1920'li yıllarda sanayide ilk kullanımı süt tozu ve deterjan üretimidir (Odabaş, 2017).

Püskürtmeli kurutma, süt, kahve gibi ürünler başta olmak üzere, gıda, biyokimya, kimya, tarım ve ilaç alanlarında yaygın olarak kullanılmaktadır. Endüstriyel ölçekli püskürtmeli kurutma sistemleri; sisteme giren sıvının atomizasyon bölümüne pompalanması, atomizasyon bölümünde basınç uygulanarak damlacıklar halinde sıcak ortama püskürtülmesi ve bu damlacıkların sıcak ortamda kurutularak toz halinde prosesten çıkarıldığı bir kurutma işlemidir. Kurutmada kurutma ortam sıcaklığı, kurutma ortamı kütle akış hızı, besleme kütle akış hızı, hava-damla ilişkisi sprey kurutucuların tasarımını ve üretilen toz ürünün özelliklerini etkileyen parametrelerdir (Aghbashlo ve diğerleri, 2013). Kuruma süresinin çok kısa olması nedeniyle ısıya duyarlı gıdaların kurutulması için de uygundur. Püskürtmeli kurutma sistemleri partikül boyutu, şekli, nem içeriği gibi özelliklerinin kontrol edilebilir olması gibi önemli avantajlar sağlamaktadır. Kurutmada buharlaşma gizli ısı ve kurutmanın yüksek sıcaklıklarda gerçekleşmesi fazla miktarda enerji kullanımı sistem verimsizliklerine neden olmaktadır. Bunlar, kurutma endüstrisinin en önemli zorluklarından birisidir. Dolayısıyla, kurutma sistemlerinin optimizasyonu enerjisel verimlilik açısından önemlidir (Erbay ve Koca, 2012), (Aghbashlo ve diğerleri, 2012c).

Püskürterek kurutma sistemlerinde kurutma 4 basamakta gerçekleşir;

- Püskürtücüye giren beslemenin püskürtülmesi (atomizasyon)
- Püskürtülen beslemenin sıcak hava ile teması
- Püskürtülen beslemenin kuruması
- Kurutulmuş ürünün havadan ayrılması

Püskürtmeli kurutucuda kurutulacak olan gıda ürünü sıvı formda, bir besleme pompası ile atomizere pompalanır. Besleme atomizer ile istenilen damlacık boyutunda sıcak ortama püskürtülür. Ürün sıcak ortam havası ile temas eder. Beslenen ürünün içerisindeki nem buharlaşır. Sıcak ortama püskürtülen sıvı damlacıklar sıcak hava akımında nemini kaybetmesi ile kuru taneciklere dönüşür. Elde edilen kuru ürün son ürün olarak hava çıkışında genellikle bir siklon ayırıcı ile ayrılır.

İstenilen son ürün özelliklerine göre püskürtmeli kurutucular farklı şekillerde tasarlanabilir.

- Hava ısıtıcı: Hava ısıtıcıları fan, hava filtresi gibi farklı ekipmanlar ile birlikte kullanılabilir.
- Atomizer: Atomizer sıvı ürünün kurutma kabineine düzgün ve homojen damlacıklar halinde püskürtülmesini sağlar. Böylelikle son üründe istenilen tanecik boyutlarına göre farklı damlacık çaplarında besleme yapılabilir. Pompa, tank, besleme ısıtıcısı gibi ekipmanlar ile desteklenebilir.
- Kurutma kabini/kulesi: Hava ile beslemenin temas ettiği kısımdır. Farklı boyutlarda olabilir.
- Ürünün taşınması, paketlenmesi ve hava çıkışı: borular, fanlar yardımı ile istenilen tasarımlar yapılır.
- Püskürtmeli kurutucu tasarımında sıcak hava ve besleme akış yönleri değişebilir. Sıcak hava ile ürün aynı yönde akış gösterirse, hızlı bir kuruma sağlanır. Ürün çıkışta daha düşük sıcaklıkta olacaktır. Hava ile beslemenin ters akışlı olduğu durumlarda besleme sıcak hava ile daha düşük sıcaklıkta karşılaşır üründe daha yavaş kuruma meydana gelir (Odabaş, 2017).

Püskürtmeli kurutucular kısa sürede kurutma işlemini gerçekleştirebilen, sıcaklığa hassas ürünlerin kurutulmasında kullanılabilen, yüksek kapasiteli ve sürekli sistemlerdir. Bu avantajlarının yanında püskürtmeli kurutucuların yüksek enerji tüketimleri önemli bir dezavantajlarıdır. Son yıllarda kurutma sistemlerinde az maliyetli, güvenilir, sürdürülebilir ve çevre dostu bir kurutma işlemi için enerji tüketimi azaltılmakta ve kontrol edilmektedir. Ekserji analizler yoğun enerji harcayan püskürtmeli kurutma sistemleri için sistemde öngörülemeyen verimsizlikleri iyileştirmek ve çözüm önerileri geliştirmek için yeni bir bakış açısı sağlayabilir. Süreçlerin değerlendirilmesi, optimizasyonu ve modelleme içinde ekserji analizleri kullanılmaktadır. Kurutma prosesinin ekserjetik modellemesi ile sürdürülebilir

enerji kullanımı, verimli ekipman tasarımı, proses kontrolü, yakıt tüketiminin yönetimi ve egzoz havasının geri dönüşümü noktalarında birçok çözüm yolu sağlamaktadır (Aghbashlo ve diğerleri, 2012c).

2.3. Süt Tozu

İnsan yaşamında önemli yeri olan süt, yeterli ve dengeli beslenme için gerekli olan hayvansal kaynaklı bir besin grubudur. Süt sanayisinde sütün belli işlemlerden geçirilerek farklı süt ürünlerine dönüştürülmeside mümkündür. Süt ve süt ürünleri gurubunda yoğurt, ayran, tereyağı, peynir, krema, süt tozu gibi süttten yapılan besinler geniş bir yelpazeye sahiptir (Nergiz ve Besler, 2008). Süt tozu, süt suyunun buharlaştırılıp yoğunlaştırılmasıyla oluşan kuru maddenin toz hâline getirilmesiyle elde edilen dayanıklı ve besin değeri yüksek bir süt ürünüdür. Süt tozu, dondurma, çikolata, çözünür kahve, bebek maması, çikolata, bisküvi, unlu mamüller gibi bir çok alanda kullanılmaktadır. Ayrıca süt tozu, süt ve süt ürünleri üretiminde sütün kuru madde miktarını ayarlamak için de kullanılır. Pastacılık ve fırıncılık sektöründe hamur kabartıcı ve su tutucu olarak kullanılan süt tozu; günümüzde gıda sektöründe önemli bir paya sahiptir. Türk Gıda Kodeksi Koyulaştırılmış Süt ve Süttozu Tebliği'ne göre süt tozu yüksek yağlı süt tozu, tam yağlı süt tozu, yarım yağlı süt tozu, yağsız süt tozu piyasaya sunulmaktadır. Tam yağlı süt tozu ağırlıkça en fazla %5 nem, %26-%42 oranları arasında süt yağı içeriğine sahip olmalıdır (Anonim, 2005).

Süt tozu üretim amaçları;

- Normal şartlarda en fazla 3 gün bekletilebilen süt, sütün süt tozu olarak 6 ay ile 1 yıl arasında raf ömrüne sahiptir ve sütün dayanımı artırılır..
- Sütün bol bulunduğu dönemlerde süt tozuna dönüştürülerek, sütün ham madde olarak kullanıldığı sektörlerdeki süt ihtiyacı her mevsim karşılanır.
- Sadece süte dönüştürülmesi ile değil, başlı başına ayrı bir ürün olarak da süt tozu önemlidir. Örneğin, çikolata üretiminde kritik bir bileşendir. Şekerli ürünler sanayisinde yapı düzeltici olarak kullanılır. Unlu mamullerde ise hacim artırıcı, su bağlama niteliğini iyileştirici ve böylece tazeliği daha uzun süre koruyucu olarak ilave edilir (Yetişmeyen ve diğerleri, 1983; McCarthy, O.J., 2011).

Püskürtmeli kurutma yöntemi, sütün dehidrasyonunda uygulanan en gelişmiş yöntemlerden biridir. Buradaki prensip, ürünün bir kurutma kabinine üflenerek sıcak hava içerisinde küçük damlacıklar halinde atomize edilerek (kuruma yüzey alanının artırılması ile) püskürtülmesi

ve böylece sıcak hava içinde hızlı bir kuruma sağlanarak toz ürün elde edilmesidir. Püskürtmeli kurutucularda ürün atomize edilerek çok küçük damlacıklara dönüştürüldüğünden ve geniş bir yüzey kazandırıldığından dolayı dehidrasyon hızı çok yükselmektedir. Kuruma çoğunlukla 3-10 saniye gibi kısa bir sürede gerçekleşmekte ve kullanılan kurutma havasının sıcaklığı 180-230 °C ürün sıcaklığı ise 50-70°C aralığında olmaktadır. Bu özellikleriyle süt tozu üretiminde en çok kullanılan kurutucu tipi püskürtmeli kurutuculardır. Püskürtmeli kurutucularda süt tozu üretimi genelde koyulaştırma ve kurutma olmak üzere 2 aşamada gerçekleştirilir. Süt tozu üretiminde süt bazı ön işlemlerden geçmektedir. Süt tozu üretimindeki ön işlemler; çiğ sütün klarifikatörden geçirilerek ön temizleme yapılması, standardizasyon, pastörizasyon ve homojenizasyondur. Ön işlemleri tamamlanmış olan süt, evaporatörlerde %48-52 kuru madde içerecek şekilde koyulaştırılır. İkinci aşamada koyulaştırılmış süt püskürtmeli kurutucuya verilerek kurutulur (McCarthy, O.J., 2011).

2.4. Ekserji Analizleri ve Gıda Sektöründeki Uygulamaları

Gıda sanayii, gerek üretim sürecinde, gerekse üretimden sonra gıdaların tazeliğinin ve güvenilirliğinin korunabilmesi için enerjiye bağımlıdır. Gıda sanayi enerji kaynağını fosil yakıtlardan karşılamakta ve son yıllarda yenilenebilir enerji kaynaklarına olan yönelim, gıda üretim sektörünü de bu yöndeki çalışmalara yöneltmiştir. Özellikle fabrikalarda üretim sürecinde sürdürülebilir çevre politikaları ve verimli enerji kullanımları daha önemli bir hale gelmiştir.

Termodinamik verimliliğin artırılması konusunda enerji analizleri tek başına yetersiz kalmaktadır. Bu nedenle son yıllarda ekserji analizleri enerji verimliliği üzerine daha çok çalışılan bir analiz yöntemidir. Termodinamiğin birinci yasasına göre enerji korunur, var veya yok edilemez. Birinci yasada, sistemdeki entropi üretiminden meydana gelen kayıplar dikkate alınmaz. Ekserji analizleri ile sistemdeki tersinmezliklerden meydana gelen kayıplar da hesaplanır. Bu kayıpların yeri, tipi ve miktarını ekserji analizleri ile belirlemek mümkündür. Genellikle yoğun enerjinin kullanıldığı kurutma işlemleri ekserji analizleri için önemli bir çalışma alanıdır. Bu alanda yapılan çalışmalar sadece cihazlar üzerinde durulduğu gibi daha spesifikleştirilerek de ekserji analizleri yapılmaktadır.

Ekserji analizlerinin gıda alanındaki uygulamaları cihaz analizi, fabrika analizi ve tarladan sofraya tüm sürecin incelenerek analiz edildiği üç genel başlık altında toplanabilir.

Ekserji analizlerinin gıda sektöründeki uygulama çalışmaları incelendiğinde, analizin uygulanma yöntemi açısından çalışmalar üç başlık altında toplanabilir:

- İşlem/Cihaz Analizi
- Genel Süreç/Fabrika Analizi
- Tarladan Sofraya Tüm Süreç Analizi

İşlem/Cihaz Analizi: Bu yöntemde, ürüne uygulanacak işlem veya işlemi gerçekleştiren cihaz incelenir. İlgili işlemde veya işlemin gerçekleştirildiği cihazda enerji, ekserji kullanım ve kayıpları analiz edilir. Bu kapsamda literatürde çok farklı uygulamalar bulunsa da, en çok çalışma kurutma işlemi ve kurutucularla ilgili yapılmıştır. Tablo 2.1.'de literatürde gıda kurutması konusunda işlem/cihaz analizi kapsamında yapılmış çalışmaların bir bölümü listelenmiştir.

Tablo 2.1. Ekserji analizinin işlem/cihaz analizi şeklindeki uygulamalarının yapıldığı kurutucu tipleri ve kurutulan gıda ürünleri.

Sistem	İşlenen Ürün	REFERANS
Akışkan Yataklı Kurutucular	Patates, Havuç, Pirinç, Soya, Nane	(Beigi et al., 2017), (Azadbakht et al., 2017), (Sarker et al., 2015), (Ranjbaran & Zare, 2013), (Syahrul, Hamdullahpur, & Dincer, 2002), (Ceylan & Gürel, 2016), (Nazghelichi, Kianmehr, & Aghbashlo, 2010)
Püskürtmeli Kurutucular	Süt Tozu, Balık Yağı, Microenkapsülasyonu, Toz Beyaz Peynir	(Yildirim & Genc, 2017), (Mortaza Aghbashlo, Mobli, Rafiee, & Madadlou, 2012), (Erbay & Koca, 2012)
Dondurarak Kurutma	Sığır eti,	(Liu et al., 2007)
Isı Pompalı Sistemler	Rezene, Ebegümece, Kekik, Nane ve zeytin yaprağı, Havuç	(Aktaş, Khanlari, Amini, & Şevik, 2016), (Erbay & Icier, 2009), (Colak, Kuzgunkaya, & Hepbasli, 2008), Gungor, Erbay, & Hepbasli, 2011)
Güneş Kollektörlü Sistemler	Kırmızı Fıstık, zencefil Yosunu, Nane, Muz	(Celma & Cuadros, 2009), (Maia, Ferreira, Cabezas-Gómez, de Oliveira Castro Silva, & de Morais Hanriot, 2017), (Midilli & Kucuk, 2003), (Boulemtafes-Boukadoum & Benzaoui, 2011), (Rabha, Muthukumar, & Somayaji, 2017), (Fudholi, Sopian, Yazdi, et al., 2014)

Genel Süreç/Fabrika Analizi: Bu yöntemde, incelenecek genel sürecin veya fabrikanın ekserji analizi yapılırken, genel süreç/fabrika en çok enerji harcanan ünitelere bölünür ve her bir ünite ayrı ayrı analiz edilir. Tablo 2.2.'de gıda işletmeleri ile ilgili olarak literatürde yapılmış çalışmalar örneklenmiştir.

Tablo 2.2. Gıda işletmeleri ile ilgili genel süreç/fabrika analizinin yapıldığı ekserji analizi çalışmaları

İŞLENEN ÜRÜN	REFERANS
Şarap Üretimi	(Genc, Genc, & Goksungur, 2017)
Dondurma Üretimi	(Dowlati, Aghbashlo, & Mojarab Soufiyan, 2017)
UF Peynir Üretimi	(Nasiri et al., 2017)
Yoğurt Üretimi	(Jokandan et al., 2015)
UHT Süt Üretimi	(Mojarab Soufiyan et al., 2015)
Ayran Üretimi	(Mojarab Soufiyan & Aghbashlo, 2017)
Domates Salçası Üretimi	(Mojarab Soufiyan et al., 2016)

Tarladan Sofraya Tüm Süreç Analizi: Bu yöntemde, işlenen ürünün tarladan nihai ürün haline gelene kadarki tüm süreci, termodinamiğin ikinci yasasını da içerecek şekilde ayrıntılı olarak analiz edilir. Bu teknikte, tüm süreçteki girdi ve çıktıların ekserji değerleri kümülatif olarak değerlendirilir. Girdi kapsamında yenilenebilir olsun veya olmasın tüm enerji kaynakları değerlendirilir. Tablo 2.3.'de literatürde bu kapsamda olan ve gıda işlenmesi ile ilgili yapılmış çalışmalar derlenmiştir. Gıda fabrikaları için yapılan enerji ve ekserji analizleri araştırıldığında bir çok proses için modelleme yapıldığı görülmüştür.

Tablo 2.3. Gıda ürünlerinin tarladan sofraya tüm üretim süreci yaklaşımı ve kümülatif ekserji analizi yöntemi ile incelendiği çalışmalar

Ürün	Referanslar
Yoğurt Üretimi	(Sorgüven & Özilgen, 2012)
Ekmek Üretimi	(Degerli, Nazir, Sorgüven, Hitzmann, & Özilgen, 2015)
Zeytinyağı Üretimi	(Özilgen & Sorgüven, 2011)

Genc ve ark. yapmış olduğu çalışmada üzüm ve bağcılık sektörü üzerinde durmuştur. Yazarlar, üzüm ve şarap, ekonomik açıdan değerli bir gıda olduğu için kırmızı şarap üretim sisteminin ekserji analizlerini incelemiştir. Bu çalışmada şarap üretim sistemi için fiziksel ekserji analizinin kimyasal ekserji analizine göre daha önemli olduğu vurgulanmıştır. Açık fermentör sistemin, kapalı fermentör sisteme göre daha fazla ekserji yıkımına neden olduğunu söylemiştir (Yildirim ve Genc, 2017).

Soufiyan ve ark. yapmış oldukları çalışmada domates salçası üreten bir fabrikanın ekserji analizini incelemiştir. Domates salçası fabrikasının buhar ünitesinde en fazla ekserji yıkımı, buhar ünitesindeki hava kompresörü ve enjeksiyon sisteminde gerçekleşmiştir. Bu kısımda meydana gelen ekserji yıkımı, giren ekserjinin %71'ini, buhar sisteminin ise %95'ini oluşturmaktadır. Genel olarak tüm sisteme bakıldığında domates salçası fabrikasının ekserji yıkımının %82'si buhar ünitesinde gerçekleşmektedir. Buhar ünitesindeki ekserjetik performansın türbülator kullanılarak artırılabilirliğini söylemişlerdir. Domates üretim hattında en fazla ekserji yıkımı 2.etkili epeparator, eşanjör ve pompa ünitelerinde gerçekleşmiştir. 2.Etkili evaporatördeki ekserji yıkımı, tüm sisteme göre değerlendirildiğinde ikinci sırada yer almaktadır. Çalışmada, domates üretimi için kullanılan ekserjinin %96'dan fazlasının fosil yakıt kaynaklarından sağlandığı belirlenmiştir. Buradan hareketle, çevre dostu ve daha verimli bir enerji kullanımı için ekipman ve fabrika tasarımının ekserji verimliliği açısından değerlendirilmesinin önemi vurgulanmıştır (Soufiyan ve diğerleri, 2016).

Süt ve süt ürünleri gıda sektörünün en önemli besin gruplarından birisidir. Ekserji analizlerinin fabrika uygulamaları da en çok süt ürünleri işleyen fabrikalarda gerçekleştirilmiştir. UHT süt üretimi için Agbashlo ve ark. yapmış oldukları çalışmada, üretim sistemini buhar ünitesi, soğutma ünitesi, süt standardizasyonu ve UHT süt üretim hattı olmak üzere fabrikayı dört kısma ayırarak ekserji analizini yapmışlardır. En fazla ekserji kaybının buhar jeneratorünün kazan ve hava kompresöründe meydana geldiğini bu kaybın toplam ekserji kaybının %89'unu oluşturduğu vurgulamışlardır. UHT süt üretiminin önemini ve bu üretimde yapılacak ekserji analizleri ile üretimdeki termodinamik verimsizliklerin belirlenerek iyileştirileceğini önermiştir. Süt alanında gelecekteki çalışmalarda uygun maliyetli ve çevre dostu üretim için ekserji, eksergonomi ve eksergoenvironmental analizlerin önemli olduğunu vurgulamıştır. Süt ve süt ürünlerinde çiftlikten çatala bakış açısıyla daha spesifik ve kontrollü üretiminde gerçekleştirilebileceğini önermektedir(Soufiyan ve diğerleri, 2015).

Aghbaslo ve ark. bir diğer çalışmalarında, endüstriyel ölçekli bir UF peynir, ayran, yoğurt ve dondurma üretim tesisinin detaylı bir ekserji analizini gerçekleştirmişlerdir. Yazarlar yapmış oldukları çalışmada, fabrikayı yine 4 ana üniteye ayırarak incelemişlerdir. Buhar üretim ünitesindeki en fazla ekserji yıkımının kazan ve kompresör sisteminde gerçekleştiği belirlenmiştir. En düşük ekserji veriminin ise yoğunlaşma tankında hesaplandığı ve tanktaki yalıtımın geliştirilmesi ile bu verimsizliğin iyileştirilebileceğini vurgulanmıştır. Soğutma ünitesinde en fazla ekserji kaybı su-buz karıştırıcı tankındadır. Yine sistemin geneline göre en fazla ekserji kaybı buhar ünitesinde gerçekleşmiştir. Bu nedenle, bu tür sistemlerin verimsizliği güç-ısı kojenerasyonu (CHP) sistemleri kullanılarak büyük ölçüde geliştirilebileceği vurgulanmıştır. Çalışmada, güneş, rüzgar, biyokütle ve jeotermal gibi yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanılması önerilmektedir (Nasiri ve diğerleri, 2017; Jokanda ve diğerleri, 2015; Soufiyan ve Aghbashlo, 2017).

Sorgüven, E., ve Özilgen, M., buğday ve çavdar ekmeği ile hamburger ekmeği üretim süreçlerinin enerji ve ekserji verimliliğini, Türkiye ve Almanya'dan elde edilen verilere göre değerlendirmişlerdir. Türkiye'de buğday üretimi için Almanya'ya göre daha fazla araziye ihtiyaç olduğu ve Türkiye'de güneş enerjisinin tahıl kütlelerine dönüşüm verimliliğinin düşük olduğu yorumlanmıştır. Çavdar ekmeği üretimi için enerji kullanımının Türkiye ve Almanya için eşit olduğunu gözlemlemişlerdir. Buğday ve hamburger ekmeği üretimi için enerji kullanımının Almanya'ya göre daha fazla olduğunu bulmuşlardır (Degerli ve diğerleri, 2015).

Özilgen, M., ve Sorgüven, E., yaptıkları bir diğer çalışmada, aromalı yoğurt üretim süreçlerinin çevre üzerindeki etkisini enerji, ekserji kullanımı ve karbondioksit emisyonu açısından incelemişlerdir. Yapmış oldukları çalışmaya göre, (i) tarımsal ürün üretmek için güneş enerjisinin bitkiler tarafından kullanılması; (ii) et ve süt üretmek için otoburların yem tüketimi; (iii) karıştırma, soğutma, ısıtma vb. işlemleri yapmak için endüstriyel işlemlerde fosil yakıt tüketimi, gıda üretimindeki üç farklı enerji kullanım mekanizmasıdır. Bu üç mekanizmayı içeren çilek aromalı yoğurt üretimi termodinamik olarak incelenmiştir. Analiz, bileşenlerin yetiştirilmesiyle başlar ve nihai ürünün pazara aktarılmasıyla sona erer. Sonuçlar, toplam ekserji kaybının %53'ünün süt üretimi sırasında meydana geldiğini ve toplam iş girdisinin %80'inin sade yoğurt üretimi sırasında tüketildiğini göstermektedir. Çalışma sonucunda, fosil yakıtlar yerine hidroelektrik ve alg biyodizel gibi yenilenebilir enerji kaynakları kullanılması önerilmektedir (Sorgüven ve Özilgen, 2012).

Özilgen, M., ve Sorgüven, E., soya fasulyesi yağı, ayçiçek yağı ve zeytinyağı üretiminin aynı yöntem ile enerji, ekserji kullanımı ve karbondioksit emisyonu üzerine etkilerini de

incelemişlerdir. Üç yağ içerisinde en fazla enerji ve ekserji kullanılan sürecin tarım süreci olduğu saptanmıştır. Dizel tüketiminin iyi tarım uygulamaları ile azaltılması ve yenilenebilir kaynaklardan biyodizel ile ikame edilmesi, kümülatif ekserji tüketimini de azaltacağını gözlemlemişlerdir (Özilgen ve Sorgüven, 2011).

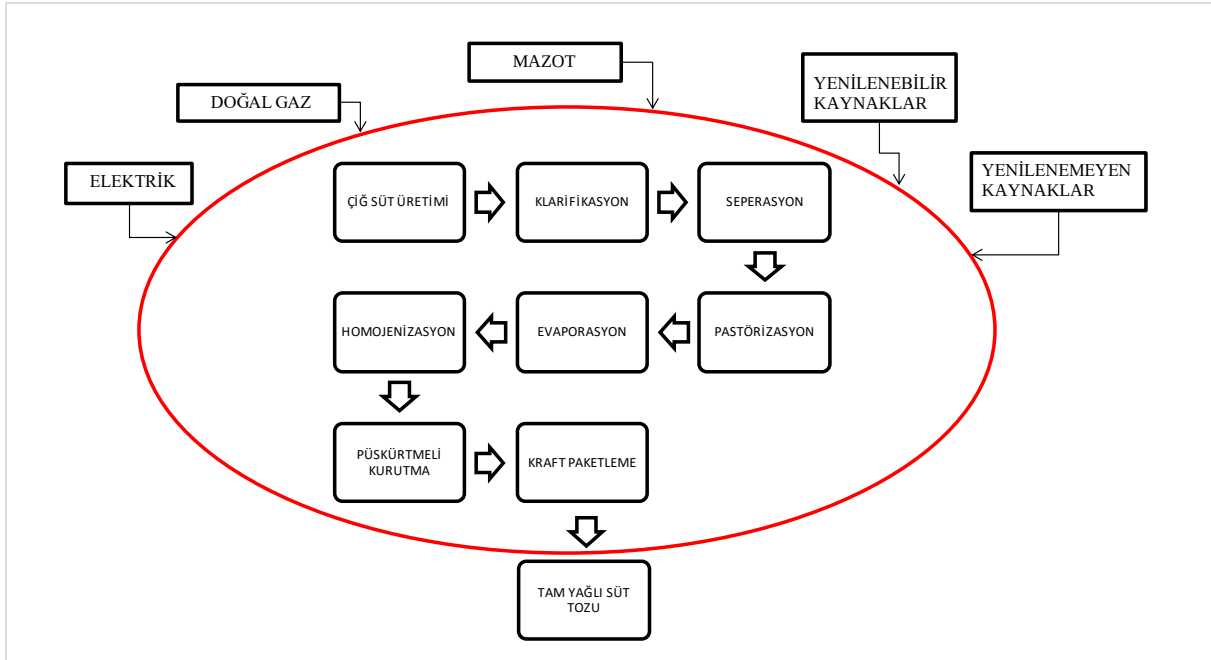


3. MALZEME VE YÖNTEM

3.1. Yöntem

Tam yağlı süt tozu üretimi için sisteme giren tüm girdiler, yenilenebilir ve yenilenemeyen kaynaklar Şekil 3.1.'deki gibi ana hatları ile belirlenmiştir. Sistem basamakları belirlendikten sonra çiğ süt üretimi, süt tozu üretimi ve süt tozu paketlenme basamakları için kütle denge denklikleri kurulmuştur. Kütle denge denklikleri hesaplandıktan sonra Özilgen ve arkadaşlarının meyveli yoğurt üretimi, zeytinyağı üretimi ve ekmek üretimi için kullandıkları kümülatif analiz yöntemi tam yağlı süt tozu üretimi için uygulanmıştır (Degerli ve diğerleri, 2015; Özilgen ve Sorgüven, 2011; Sorgüven ve Özilgen, 2012).

Bu çalışmada, tam yağlı süt tozu üretiminin analizinde sistem 3 bölüme ayrılarak incelenmiştir. Bu bölümler çiğ süt üretimi, tam yağlı süt tozu üretimi ve paketlenme bölümleridir. Her üç bölüm için de sisteme giren yenilenebilir ve yenilenemeyen enerji kaynakları belirlenmiştir. Kümülatif enerji, ekserji ve karbondioksit emisyonu hesaplamaları yapılmıştır. Bu hesaplamalar için literatürden bulunan spesifik enerji, spesifik ekserji ve spesifik CO_2 emisyonu değerleri Tablo 3.1., Tablo 3.2. ve Tablo 3.3.'te gösterilmiştir.



Şekil 3.1. Tam yağlı süt tozu üretimi genel akış şeması şeklindeki gibidir.

Tablo 3.1. Tam yağlı süt tozu üretimi için tüm girdilerin spesifik enerji değerleri.

Yenilenebilir Girdiler	Spesifik CEnC¹	Birim	Kaynak
Yonca otu	1,59	MJ/kg	(Kokin, Praks, Poikalainen, & Ruus, 2012)
Mısır silajı	2,33	MJ/kg	(Kokin et al., 2012)
Saman	2,77	MJ/kg	(Kokin et al., 2012)
Yenilenemeyen Girdiler			
Mazot (dizel)	47,6	MJ/kg	(Solomon & Banerjee, 2006)
Elektrik	11,93	MJ/kWh	(Sefeedpari, 2012)
Doğal gaz	55,5	MJ/kg	(Solomon & Banerjee, 2006)
PE	9,3	MJ/kg	(Worrell, Phylipsen, Einstein, & Martin, 2000)
Kağıt	17,3	MJ/kg	(Luis & Bruggen, 2014)

¹ CEnC: Kümülatif enerji tüketimi

Tablo 3.2. Tam yağlı süt tozu üretimi için tüm girdilerin spesifik ekserji değerleri.

Yenilenebilir girdiler	Spesifik CExC	Birim	Kaynak
Yonca otu	7,9	MJ/kg	(Huysveld et al., 2020)
Mısır silajı	7,9	MJ/kg	(Huysveld et al., 2020)
Saman	7,9	MJ/kg	(Huysveld et al., 2020)
Yenilenemeyen girdiler			
Mazot (dizel)	42,3	MJ/kg	(Solomon & Banerjee, 2006)
Elektrik	4,17	KJ/KJ	(Sorgüven & Özilgen, 2012)
Doğal gaz	51,7	MJ/kg	(Solomon & Banerjee, 2006)
PE	86,0	MJ/kg	(Dewulf & Langenhove, 2004)
Kağıt	60,85	MJ/kg	(Branch, Soleyman, & Branch, 2014)

² CExC: Kümülatif ekserji tüketimi

Tablo 3.3. Tam yağlı süt tozu üretimi için tüm girdilerin spesifik CO_2 emisyon değerleri.

Yenilenebilir girdiler	Spesifik CO_2	Birim	Referans
Yonca otu	0,24	kg/kg	(Daneshi, Esmaili-sari, Daneshi, & Baumann, 2014)
Mısır silajı	0,06	kg/kg	(Daneshi et al., 2014)
Saman	0,14	kg/kg	(Daneshi et al., 2014)
Yenilenemeyen girdiler			
Mazot (dizel)	3,18	kg/kg	(Macián, Tormos, Ruíz, & Ramírez, 2015)
Elektrik	0,18	Kg/MJ	(Nejat, Jomehzadeh, Mahdi, & Gohari, 2015)
Doğal gaz	0,05	Kg/MJ	(Nejat et al., 2015)
PE	0,45	Kg/kg	(Sorgüven & Özilgen, 2012)
Kâğıt	0,30	Kg/kg	(Laurijssen, Marsidi, Westenbroek, Worrell, & Faaij, 2010)

³ CCO_2 : Kümülatif ekserji tüketimi

Çalışmada incelenen 3 bölümden ikincisi olan tam yağlı süt tozu üretimindeki işlem basamakları ve giren/çıkan akımların numaraları Şekil 3.2’de gösterilmiştir. Çalışma kapsamında kullanılan kütleli akış hızları, kütle dengesi oluşturularak belirlenmiştir. Kütle dengesi ile ilgili hesaplamalar yapılırken, genel kütle dengesinin yanı sıra, kuru bazda ve yağ bazında kütle dengeleri de oluşturulmuştur. Kütle dengesi ile ilişkili kullanılan genel denge denklemleri aşağıdaki gibidir.

Genel Kütle Denge Denkliği:

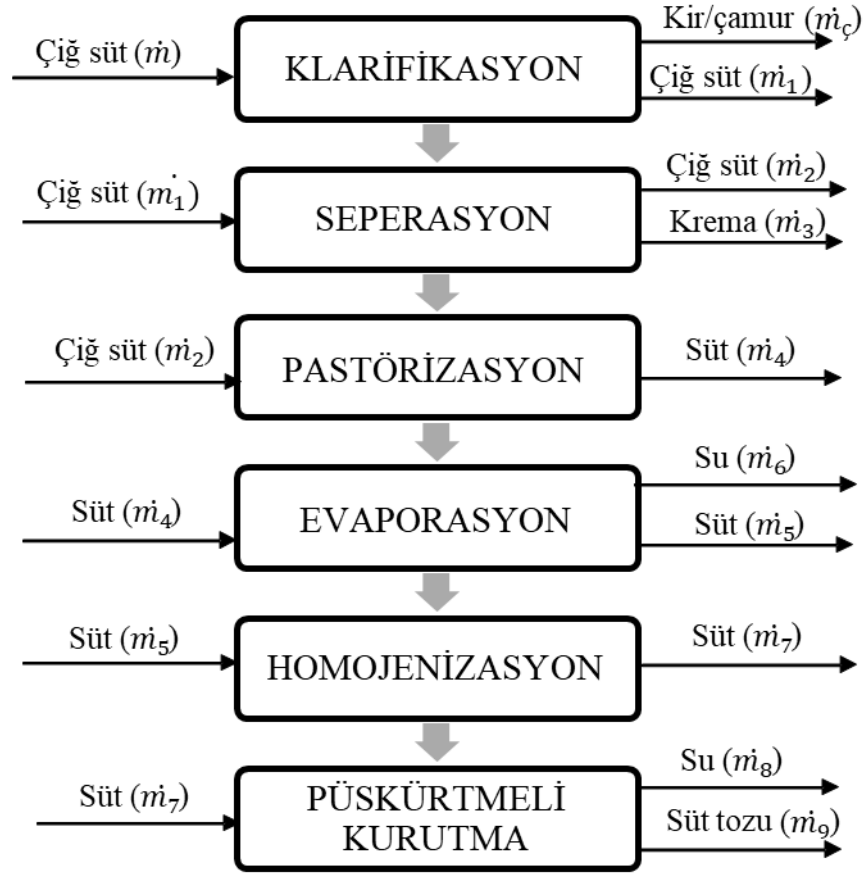
$$\sum \dot{m}_{giren} - \sum \dot{m}_{çıkan} = 0 \quad (1)$$

Kuru Madde Denge denkliği:

$$\sum \dot{m}_{giren} * \dot{X}_{dm} = \sum \dot{m}_{çıkan} * \dot{X}_{dm} \quad (1a)$$

Yağ Denge Denkliği:

$$\sum \dot{m}_{giren} * \dot{X}_f = \sum \dot{m}_{çıkan} * \dot{X}_f \quad (1b)$$



Şekil 3.2. Süt tozu üretim proses akış şeması

İşlem basamaklarında kütle dengesi oluşturulduktan sonra, analiz hesaplamalarında aşağıda verilen genel enerji ve ekserji denge denkliklerinden yararlanılmıştır. Kümülatif enerji ve kümülatif ekserji hesaplamaları yapılırken Tablo 3.1. ve Tablo 3.2. deki spesifik indikasyonlar kullanılarak yapılmıştır. Ek-B ve Ek-C bölümünde ayrıntılı hesaplamalar verilmiştir.

Enerji Denge Denkliği:

$$\sum \dot{E}_{giren} - \sum \dot{E}_{çıkan} = \dot{Q} - \dot{W} \quad (2)$$

Ekserji Denkliği:

$$\sum \dot{E}x_{giren} - \sum \dot{E}x_{çıkan} - \sum_k \dot{Q}_k \left(1 - \frac{T_0}{T_s}\right) - \dot{W} = \dot{E}x_{yıkım} \quad (3)$$

3.2. Malzeme

Tam yağlı süt tozu üretimi proses makineleri Türkiye pazarına göre firma ve piyasa araştırması yapılarak belirlenmiştir. Öner seperatör marka Sait 350TXL model, 10-12 ton/h kapasiteli klarifikatör kullanılmıştır. Öner seperatör marka Powerplus 460CXL model, 7,5-10 ton/h kapasite seperatör makinesi süt tozu üretimi için kullanıma uygun olarak seçilmiştir. STK makine, Hommak N-HM100 model, 12,5 ton/h kapasite homojenizasyon işlemi için seçilmiştir. STK makine, 10 ton/h kapasiteli evaporatör ve aynı kapasite özelliğine sahip pastörizatör seçilmiştir. Sütak makine, 1 ton/h kapasiteli püskürtmeli kurutucu seçilmiştir. Paketleme işlemi 25 kg'lık kraft torbalarda yapılacaktır. Bunun için ayrı bir paketleme cihazı kullanılmamıştır. Esit makine, VBF ventilli torbalama kantarı, 4 torba/dk kapasiteli paketleme ünitesi püskürtmeli kurutucu cihazları ile birlikte satılmaktadır. Paketleme cihazı püskürtmeli kurutucu ile birlikte satıldığı için ayrıca fiyat alınmamıştır. Bu makinelerin tüm fiyat ve güç/performans bilgileri Tablo 3.4.'te verilmiştir.

Tablo 3.4. Süt tozu üretimi için kullanılan makinelerin kapasite, enerji kullanımı ve fiyat bilgileri

Makine	Kapasite	Enerji kullanımı	Fiyat*
Klarifikatör	10-12 ton/h	15 kW~54Mj/h	38.000 Euro
Seperatör	7,5-10 ton/h	22 kW~79,2 Mj/h	40.000 Dolar
Homojenizatör	12,5 ton/h	54 kW~194,40 Mj/h	40.000 Dolar
Evaporatör	10 ton/h	50 kW~180 Mj/h 1000 kg buhar/h	100.000 Euro
Pastörizatör	10 ton/h	10 kW~36 Mj/h 800 kg buhar/h	40.000 Dolar
Püskürtmeli Kurutucu	1 ton/h	90 kW~ 324 Mj/h 130 m ³ /h	450.000 Euro
Kraft Paketleme	4 torba/dk	5.5 kW ~ 19,8 Mj/h	-

* Fiyatlar Ocak-Haziran 2020 tarih aralığındaki yaklaşık piyasa fiyatlarıdır.

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1. Süt tozu üretimi Kütle Denge Denkliği

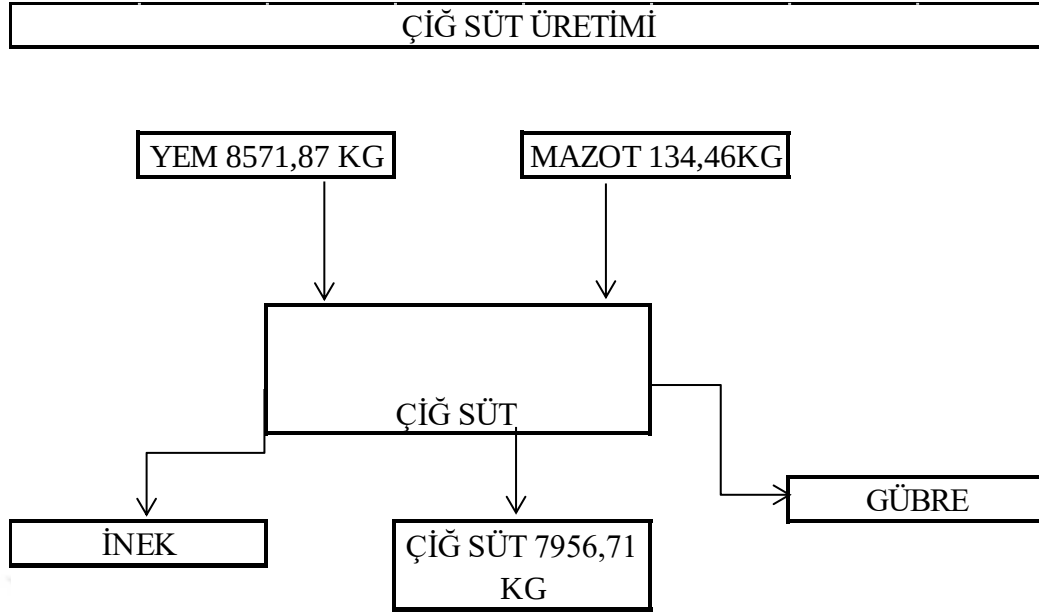
Tam yağlı süt tozu üretimi Şekil 3.2.'de gösterilen akış şemasına göre kütle denkliği, kuru madde denkliği ve yağ denkliği kurularak işlem sonunda 1 ton tam yağlı süt tozu üretimi hedeflenerek hesaplamalar yapılmıştır. Proseslere giren ve çıkan tüm ürünlerin hesaplama verileri Tablo 4.1.'de gösterilmektedir. 1 ton tam yağlı süt tozu elde etmek için hesaplama verilerine göre 7956,71 kg çiğ süt gerekmektedir. Klarifikatörde işlenen çiğ süt hacminin %0,1'i kir ve çamur olarak ayrılır. Kir ve çamurun %15 kuru madde ve %0,3 yağ içerdiği kabul edilmiştir (McCarthy, O.J., 2011). Seperatörde %4 yağ içeren çiğ süt % 3,57 yağ içeriğine standardize edilir. Şekil 3.2.'te gösterilen kremanın (m_{s2} ve m_{s3}) %35 yağ ve %37,5 kuru madde içerdiği, yağsız sütün ise (m_{s1}) %0,05 yağ içerdiği kabul edilmiştir (Anonim, 2005). Evaporasyon işleminden sonra püskürtmeli kurutucuya girerek işlenen sütün kuru maddesinin %48-50 olması gerekmektedir. Evaporasyon işleminde işlenen sütün %48 kurumadde içeriğine kadar koyulaştırıldığı kabul edilmiştir (Westergaard, V. 2004). Püskürtmeli kurutma işleminde elde edilen süt tozunun %28 yağ, %98 kuru madde içerdiği kabul edilmiştir (Anonoim, 2005).

Tablo 4.1. Tam yağlı süt tozu üretimi kütle denge denkliği ile hesaplanan kütle, kuru madde, nem, ve yağ değerleri.

Madde	Kod	Kuru Madde (%)	Nem (%)	Yağ (%)	Kütle (kg)
Süt Tozu	$\dot{m}_9$	98,00	2,00	28,00	1.000,00
Su	$\dot{m}_8$	-	100,00	-	1.041,67
Süt	$\dot{m}_7$	48,00	52,00	13,71	2.041,67
Su	$\dot{m}_6$	-	100,00	-	5.798,33
Süt	$\dot{m}_5$	48,00	52,00	13,71	2.041,67
Süt	$\dot{m}_4$	12,50	87,50	3,57	7.840,00
Krema	$\dot{m}_3$	37,50	62,50	35,00	108,75
Yağsız Süt	$\dot{m}_{s1}$	18,10	81,90	0,05	7.050,39
Krema	$\dot{m}_{s2}$	37,50	62,50	35,00	898,36
Krema	$\dot{m}_{s3}$	37,50	62,50	35,00	789,61
Çiğ Süt	$\dot{m}_2$	12,50	87,50	3,57	7.840,00
Çiğ Süt	$\dot{m}_1$	12,84	87,16	4,00	7.948,75
Çamur/Kir	$\dot{m}_ç$	15,00	85,00	0,30	7,96
Çiğ Süt	$\dot{m}$	12,84	87,16	4,00	7.956,71

4.2. Çiğ Süt Üretimi Kümülatif Enerji, Ekserji ve CO_2 Emisyonu

Sorgüven ve ark. (2012) meyveli yoğurt üretiminde 2367 kg çiğ süt üretmek için 2550 kg yem, 40 kg mazot kullanmışlardır (Sorgüven & Özilgen, 2012). Tam yağlı süt tozu üretimi için bu bilgiler referans alınmıştır. 7956,71 kg çiğ süt üretimi için; 134,46 kg mazot, 8571,87 kg yeme ihtiyaç olduğu hesaplanmıştır. Türkiye’de kaba yem üretiminde kuru ve yeşil ot olarak en çok mısır silajı, yonca otu ve saman kullanılmaktadır (Alçiçek, Kılıç, Ayhan, Özdoğan, 2008). Bu bilgiye dayanarak %30 yonca otu, %30 mısır silajı, %40 saman oranlarında kaba yem kullanıldığı varsayılmıştır. Çiğ süt üretimi için en önemli enerji kullanım kaynakları mazot ve yem olarak belirlenmiştir.



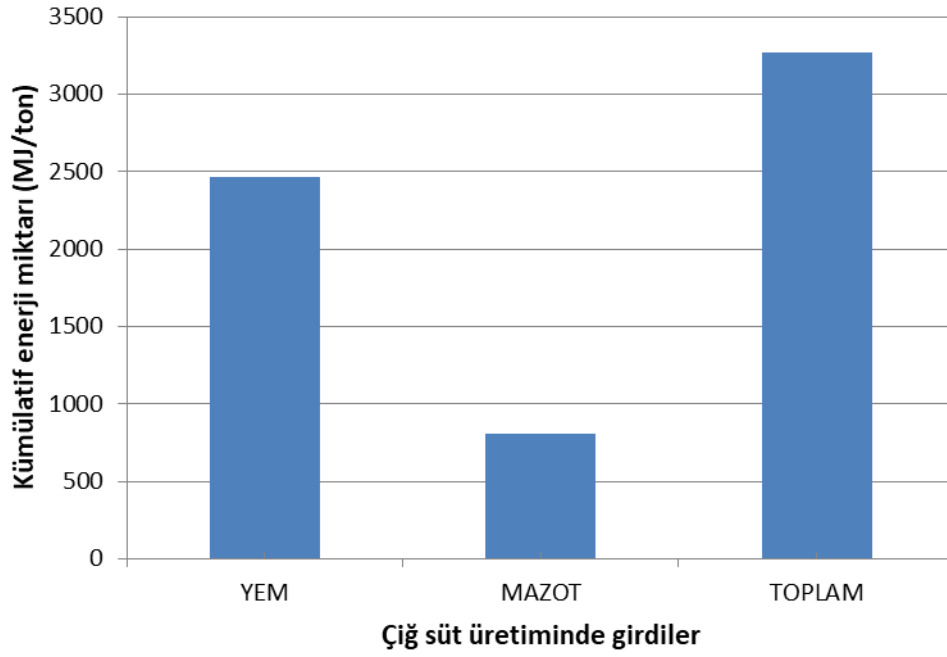
Şekil 4.1. Çiğ süt üretimi enerji hesaplamaları akım şeması

Çiğ süt üretimi kümülatif enerji, kümülatif ekserji ve karbondioksit emisyonu hesaplamaları Tablo 4.2.'de gösterilmektedir. Bu verilere göre toplamda 7956,71 kg çiğ süt üretmek için 3266,14 MJ/ton enerji kullanımı ile 9229,6 MJ/ton ekserji kullanımı ve 208,96 kg/ton karbondioksit emisyonu gerçekleşmektedir. Üç kümülatif değer içinde yemin mazota göre daha yoğun enerji kullanımına sahip olduğu gözlenmiştir.

Tablo 4.2. 1 ton süt tozu üretmek için gerekli çiğ sütün eldesinde enerji ve ekserji tüketimleri ile CO_2 emisyon miktarları.

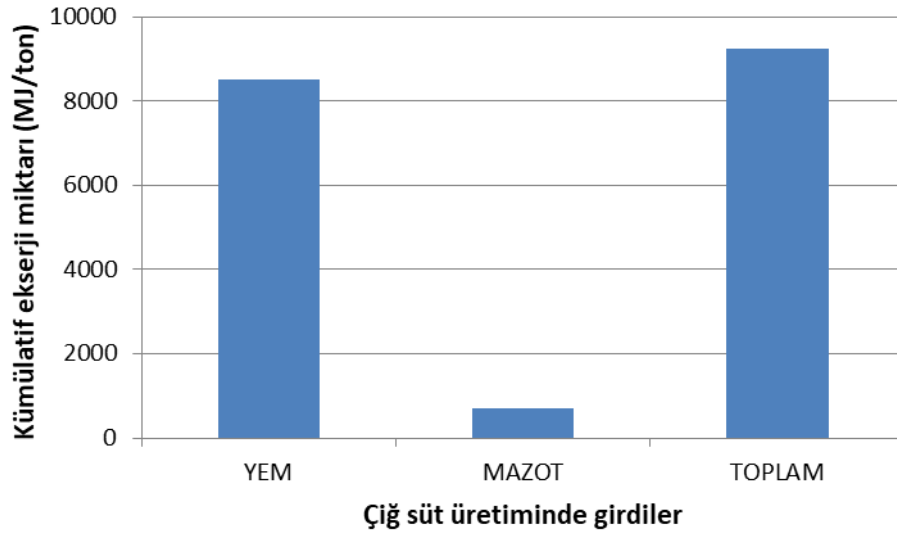
Aktivite	Enerji kullanımı (MJ/ton)	Ekserji kullanımı (MJ/ton)	Karbondioksit emisyonu (kg/ton)
Yem	2461,74	8514,75	155,21
Mazot	804,4	714,83	53,75
TOPLAM	3266,14	9229,6	208,96

Kümülatif enerji hesaplamaları Tablo 4.2.'de gösterilmektedir. Çiğ süt üretimi için yemden gelen enerji kullanımı 2461,74 MJ/ton'dur. Mazottan gelen enerji kullanımı ise 804,4 MJ/kg'dır. Yemdeki enerji kullanımı mazota göre 3 kat daha fazladır. Şekil 4.2'de yem ve mazotun enerji kullanımları ve toplam değerleri gösterilmektedir.



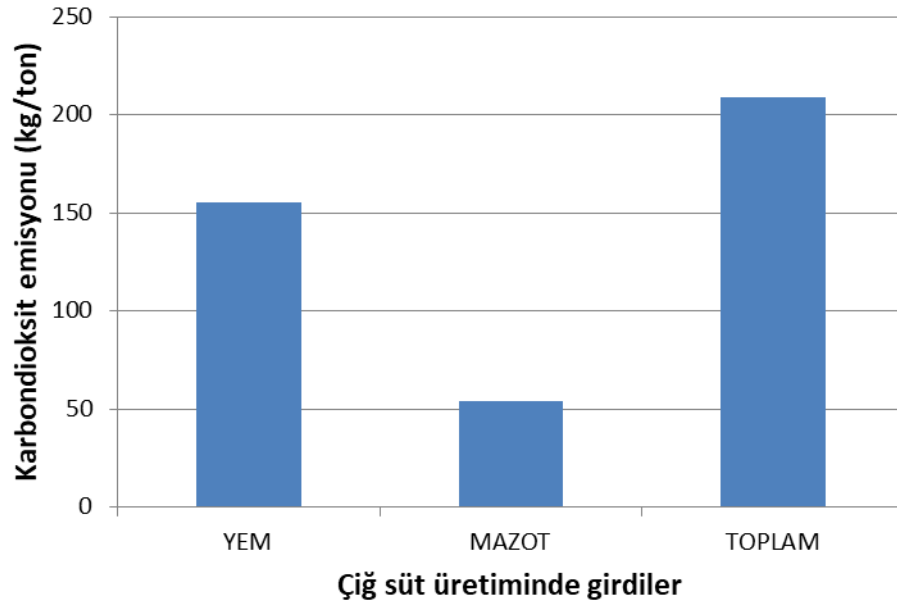
Şekil 4.2. 1 ton süt tozu üretmek için gerekli çiğ sütün eldesindeki girdilerin enerji gereksinimleri.

1 ton süt tozu üretimi için gerekli olan çiğ sütün eldesinde yemden gelen ekserji kullanımı 8514,75 MJ/ton'dur. Mazottan gelen ekserji kullanımı ise 714,83 MJ/kg'dır. Bu kümülatif hesaplamalara göre yemdeki ekserji kullanımı enerji kullanımına göre daha fazladır. Şekil 4.3'te yem ve mazotun ekserji kullanımları ve toplam tüketim değerleri gösterilmektedir. Toplam ekserji kullanımının çok büyük bir bölümünün yemden kaynaklandığı görülmektedir (%92.3).



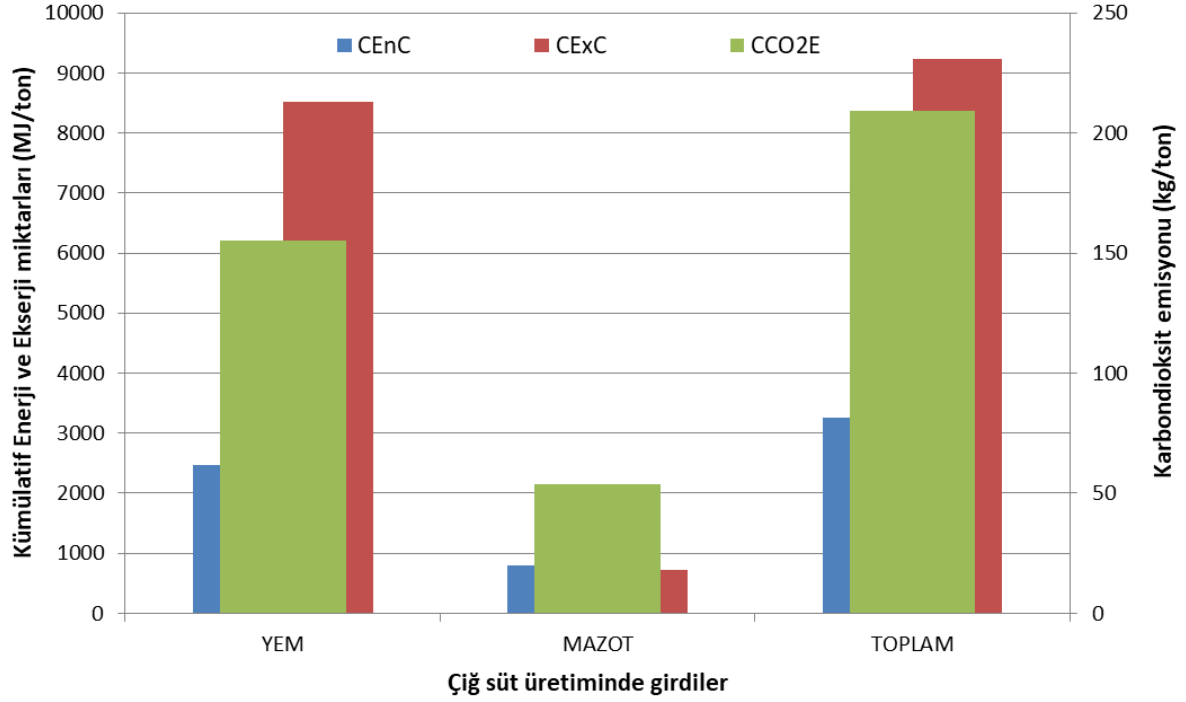
Şekil 4.3. 1 ton süt tozu üretmek için gerekli çiğ sütün eldesindeki girdilerin ekserji gereksinimleri.

Çiğ süt eldesi sürecinde girdilerden kaynaklı ortaya çıkan karbondioksit emisyonu değerleri Şekil 4.4'te gösterilmektedir. Toplamda 208,96 kg/ton karbondioksit emisyonunun 155,21 kg/ton'u yemden, 53,75 kg/ton'u mazottan gelmektedir.



Şekil 4.4. 1 ton süt tozu üretmek için gerekli çiğ sütün eldesindeki girdilerin CO₂ emisyon miktarları.

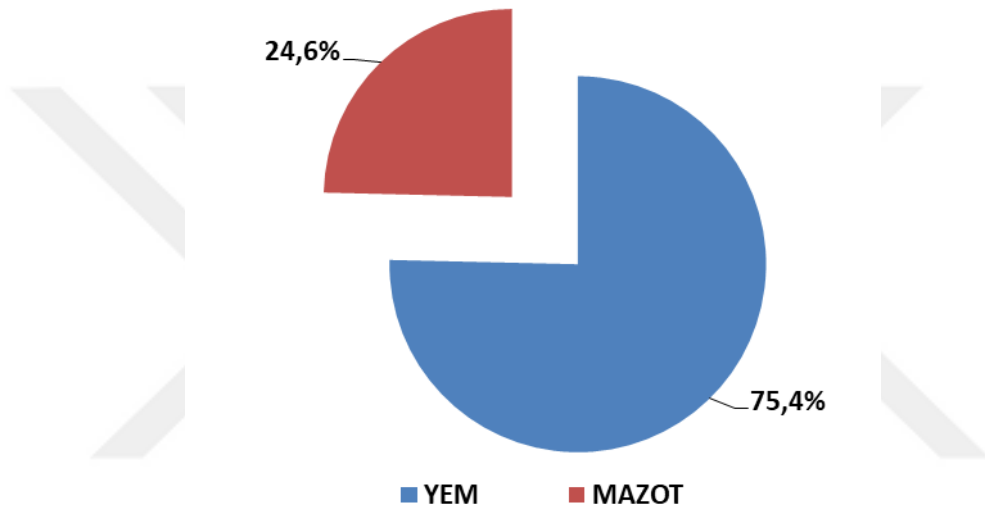
Kümülatif enerji ve ekserji kullanımı ile karbondioksit emisyonunun beraber incelendiği grafik Şekil 4.5'te gösterilmektedir. Çiğ süt üretimi için üç değere birlikte baktığımızda en fazla payın yeme ait olduğu görülmektedir.



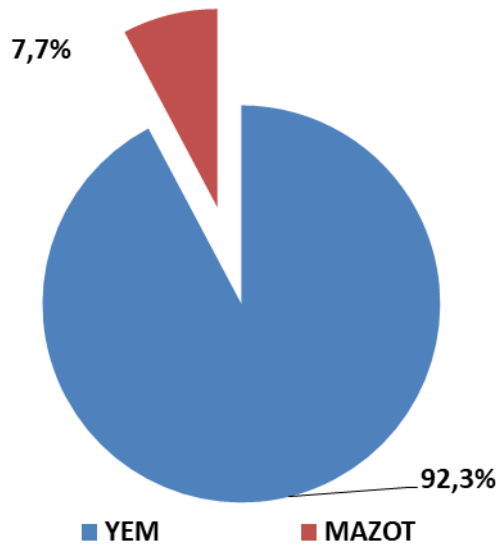
Şekil 4.5. 1 ton süt tozu üretmek için gerekli çiğ sütün eldesindeki girdilerin enerji ve ekserji kullanımları ile CO₂ emisyon miktarları

Çiğ süt üretimi tek başına incelendiğinde termodinamik açıdan verimsiz bir süreçtir. Sorgüven ve ark. yapmış oldukları meyveli yoğurt çalışmasında çiğ süt üretim sürecinin kimyasal ekserjisini hesaplamışlardır. Buna dayanarak çiğ süt üretimine giren enerji ve ekserjinin büyük kısmı yenilenebilir kaynaklardan, yani hayvana yem olarak verilen bitkilerden gelir. Çiğ süt üretiminde kaybolan ekserjinin süt, gübre gibi faydalı ürünlere dönüştüğü vurgulanmaktadır. Bu da süreci yenilenebilir bir hale getirmektedir. Ayrıca çiğ süt üretiminde hayvanın besleneceği ot sürdürülebilir tarımsal uygulamalar ile üretilerek verimli enerji kullanımı sağlanabilir. Bununla birlikte, tarımda, optimum düzeyde enerji kullanılarak yüksek mahsul verimi elde edilebilir. Ayrıca tarımda dengeli enerji kullanımı tarımsal faaliyetten kaynaklanan çevresel sorunları azaltacaktır (Yildizhan, 2017; Sorgüven & Özilgen, 2012).

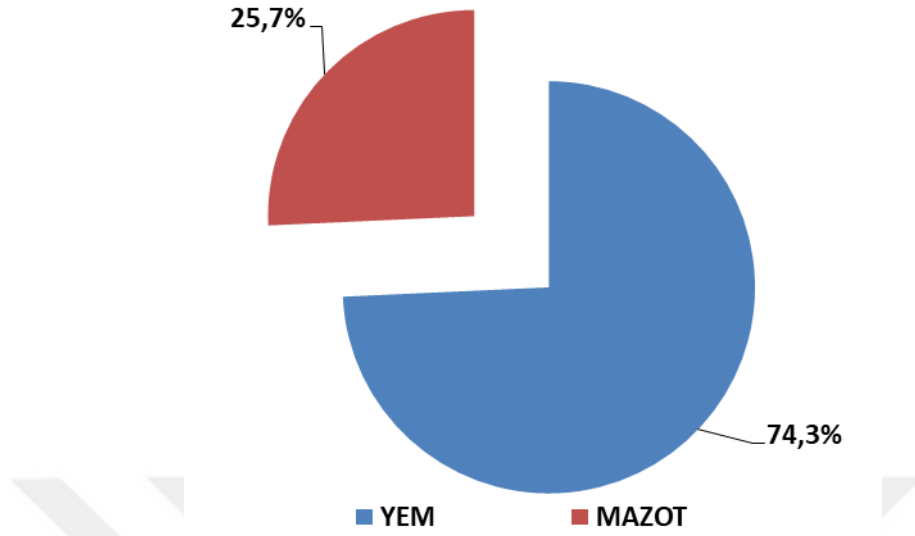
Çiğ süt üretiminde kullanılan girdilerin enerji ve ekserji kullanımları ile karbondioksit emisyonlarının dağılımları oransal olarak Şekil 4.6-4.8’de ayrı ayrı verilmiştir. Buna göre, çiğ süt üretiminde toplam kümülatif enerji kullanımının %24,6’sının mazot %75,4’ünün ise yemden kaynaklandığı görülmektedir (Şekil 4.6). Aynı durum ekserji kullanımı açısından değerlendirildiğinde toplamın %7,7’sinin mazot %92,3’ünün ise yemden kaynaklandığı (Şekil 4.7), karbondioksit emisyonu açısından ise %25,7’sinin mazot ve %74,3’ünün yemden kaynaklandığı hesaplanmıştır (Şekil 4.8).



Şekil 4.6. Çiğ süt üretiminde kullanılan girdilerin enerji kullanımına göre oransal dağılımı.



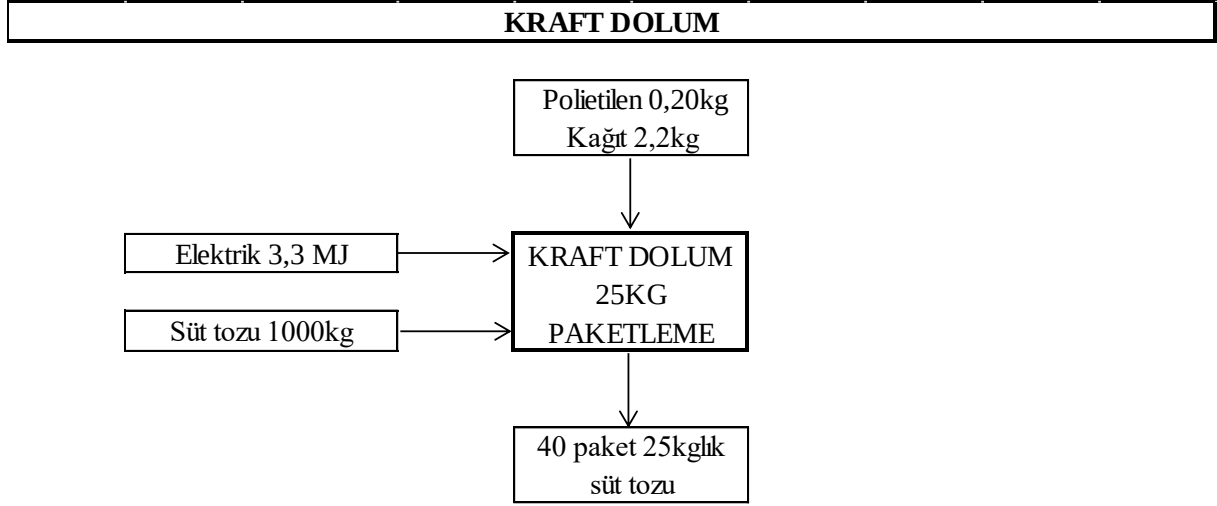
Şekil 4.7. Çiğ süt üretiminde kullanılan girdilerin ekserji kullanımına göre oransal dağılımı.



Şekil 4.8. Çiğ süt üretiminde kullanılan girdilerin karbondioksit emisyonlarına göre oransal dağılımı.

4.3. Tam Yağlı Süt Tozu Paketleme Kümülatif Enerji, Ekserji ve CO_2 Emisyonu

Süt tozu paketlemede kümülatif enerji ve ekserji kullanımı ile karbondioksit emisyonu hesaplamaları yapılırken kraft ambalajdan gelen enerji kullanımı ve paketleme makinesinden gelen enerji kullanımı da birlikte hesaplanmıştır. Şekil 4.9’da paketleme prosesi akım şeması gösterilmiştir. 1 ton süt tozu üretimi için makine 3,3 MJ’lük bir enerji kullanır. Kraft torba polietilen ve kraf kağıttan üretilmektedir. Paketlemede kümülatif hesaplamalar için paketleme makinesi, polietilen ve kraft kağıttan gelen enerji kullanımına göre hesaplamalar yapılmıştır. Hesaplamaların ayrıntısı Ek-D’de verilmiştir. 1 ton süt tozu 25 kg’lık 40 adet kraft torbayla paketlenir. 1 torba 0,60 kg gelmektedir. Tüm paketleme işlemi için 40 adet kraft torba toplamda 2,4 kg gelmektedir. Bu kraft torbanın 2,2 kg’lık bölümü kraft kağıdından, 0,2 kg’lık bölümü ise polietilenden oluşturmaktadır. Kümülatif enerji ve ekserji kullanımı ile karbondioksit emisyonu hesaplamaları bu bilgiler ile yapılmıştır.



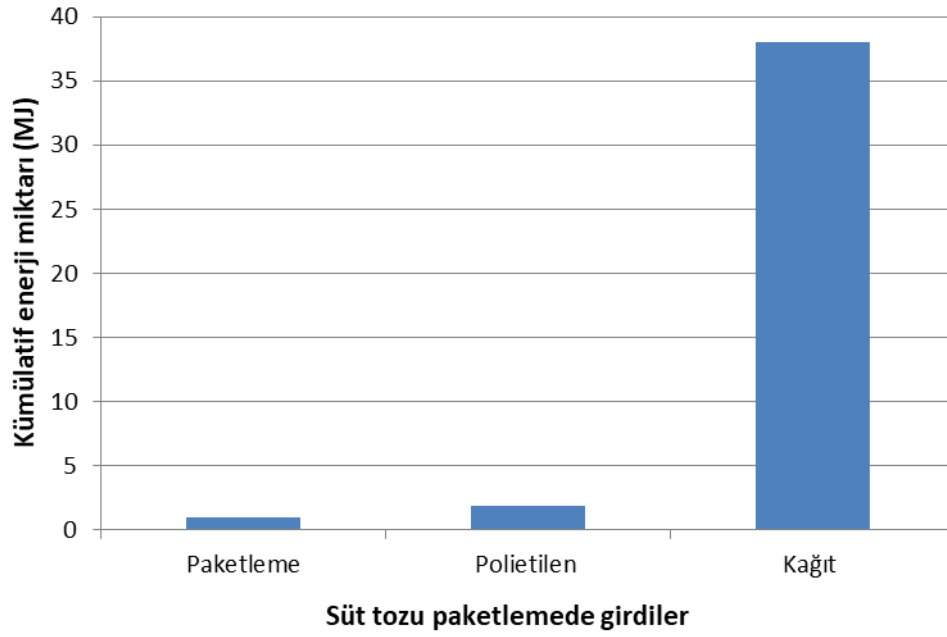
Şekil 4.9. Kraf dolum ve paketleme akım şeması.

Süt tozu paketleme prosesi kümülatif enerji ve ekserji ile karbondioksit emisyonu hesaplamaları Tablo 4.3.'te gösterilmektedir. Bu verilere göre toplamda 1 ton tam yağlı süt tozu paketlemek için 40,01 MJ enerji kullanımı, 164,84 MJ ekserji kullanımı ve 1,35 kg karbondioksit emisyonu gerçekleşmektedir. En yoğun enerji kullanımının kağıttan geldiği görülmektedir.

Tablo 4.3. Süt tozu paketleme ve Kraft torba için enerji, ekserji ve karbondioksit emisyon miktarları.

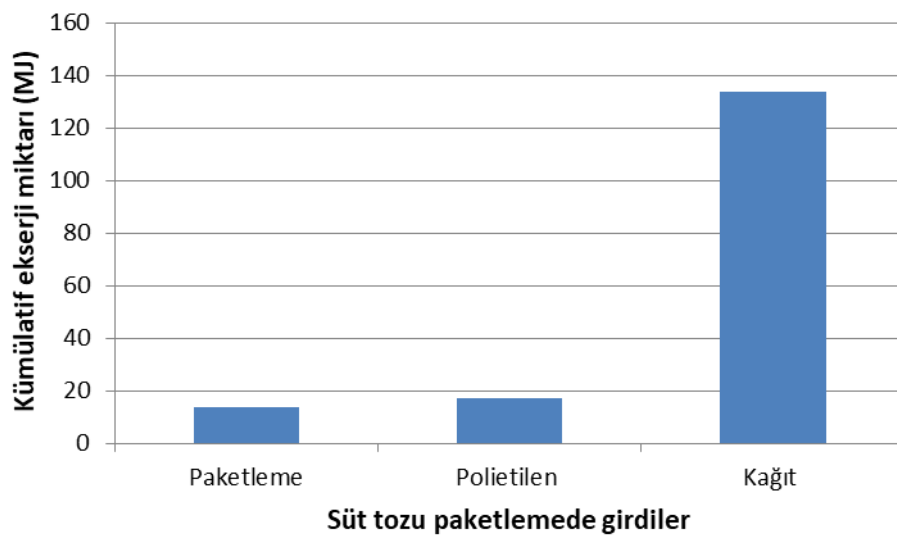
Süt tozu paketleme	Enerji kullanım (MJ)	Ekserji kullanımı (MJ)	Karbondioksit emisyonu(kg)
Paketleme makinesi	0,99	13,77	0,6
Polietilen	1,86	17,20	0,09
Kağıt	38,06	133,87	0,66
TOPLAM	40,01	164,84	1,35

Şekil 4.10.'da görüldüğü gibi paketleme bölümündeki kümülatif enerji kullanımının 38,06 MJ'ü ambalaj materyali olan kağıttan gelmektedir. En az enerji kullanımını ise paketleme makinesinde gerçekleşmektedir. Kümülatif enerji hesaplamaları Tablo 4.3'te gösterilmiştir. Kraft paketlemede kağıttan gelen enerjinin polietilene göre daha fazla olmasının sebebi odundan kağıt üretilmesi sırasında, odunun yongalanması, pişirilmesi selülozun ayrılması gibi kimyasal işlemlerin çok olması nedeniyle yoğun enerji gerektiren prosesler olmasıyla açıklanabilir (Anonim, 1997).



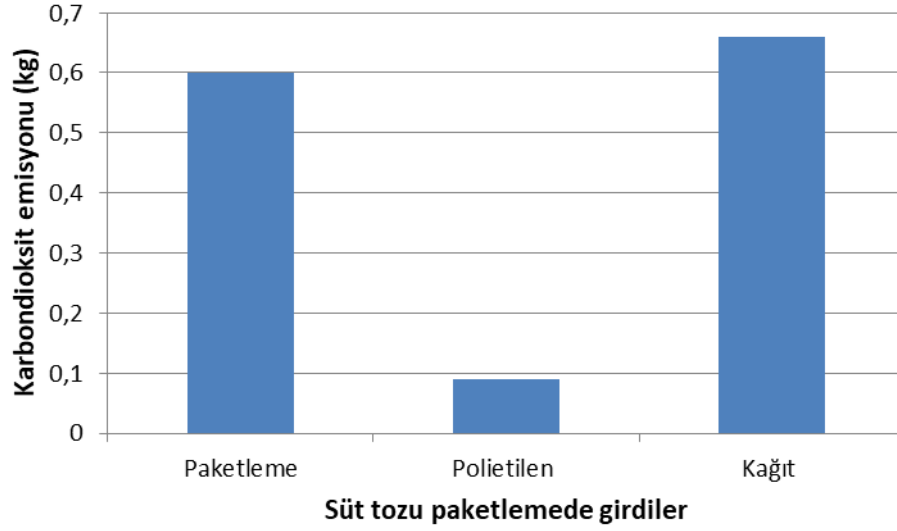
Şekil 4.10. Süt tozu paketleme ve Kraft torba için girdilerden gelen enerji kullanımı.

Paketleme bölümündeki kümülatif ekserji kullanımının önemli bir kısmı (%81,2) ambalaj materyali olan kağıttan geldiği Şekil 4.11.'de gösterilmektedir. Kağıttaki ekserji kullanımı paketleme makinesi ve polietilene oranla yaklaşık 7 kat daha fazladır.



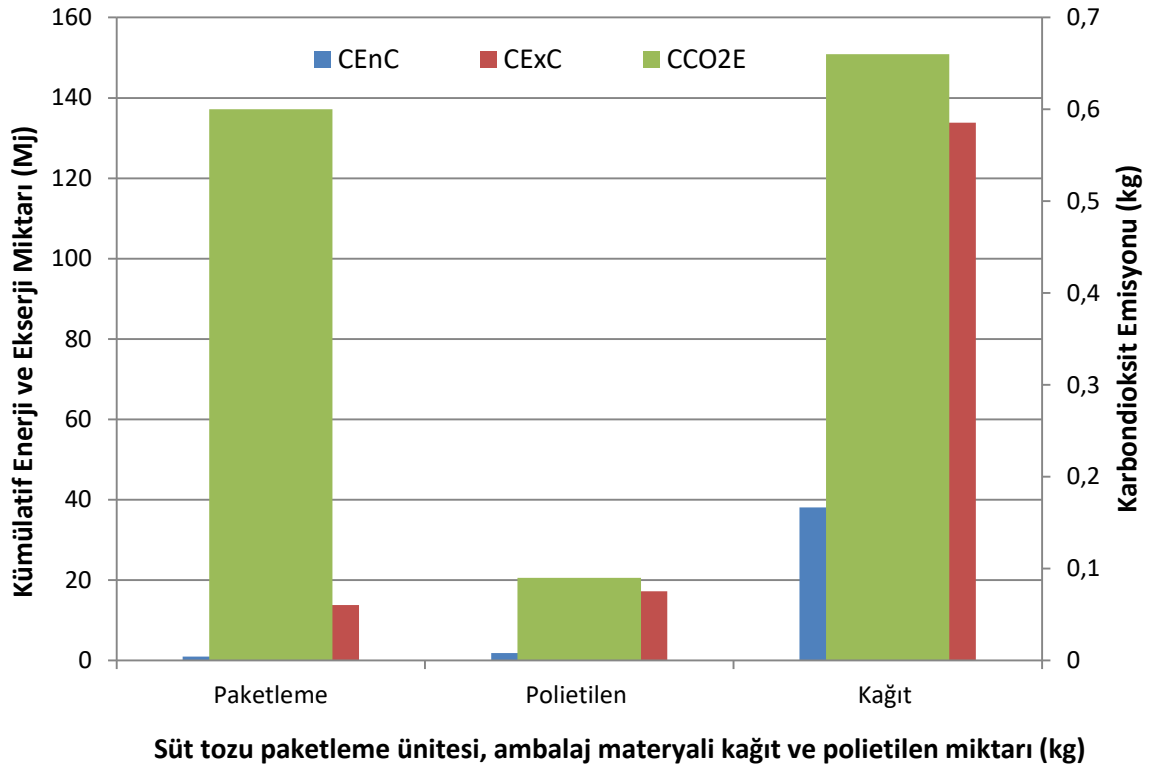
Şekil 4.11. Süt tozu paketleme ve Kraft torba için girdilerden gelen ekserji kullanımı.

Paketleme prosesi toplam karbondioksit emisyonu Şekil 4.12’de gösterildiği gibi toplamda 1,35 kg’dır. Polietilenden gelen karbondioksit emisyonu 0,09 kg’dır. Kâğıt ve paketleme makinesinin karbondioksit emisyonu 0,6 kg ve 0,66 kg’dır.



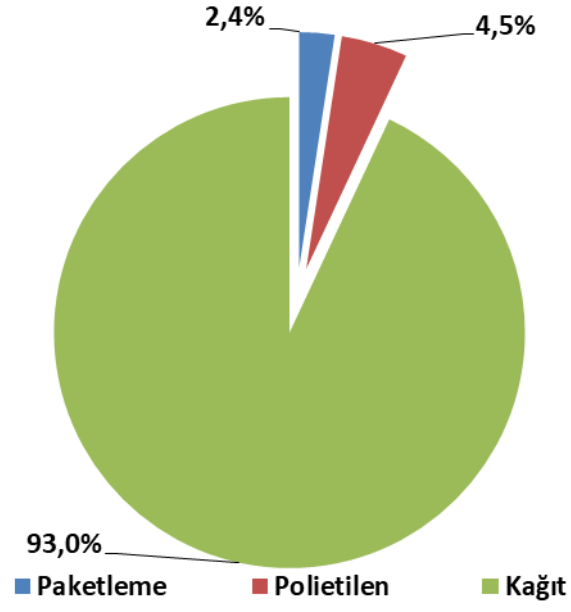
Şekil 4.12. Süt tozu paketleme ve Kraft torba için girdilerden gelen karbondioksit emisyonu.

Şekil 4.13’te süt tozu paketleme cihazı ve kraft ambalajdan gelen kümülatif enerji ve ekserji kullanımı ile karbondioksit emisyonu gösterilmiştir. Tüm kümülatif hesaplamalar için en fazla kullanım kağıttan, en az kullanımı ise polietilenden gelmiştir. Kağıt üretiminin yoğun enerji gerektiren bir proses olması ile açıklanabilir.

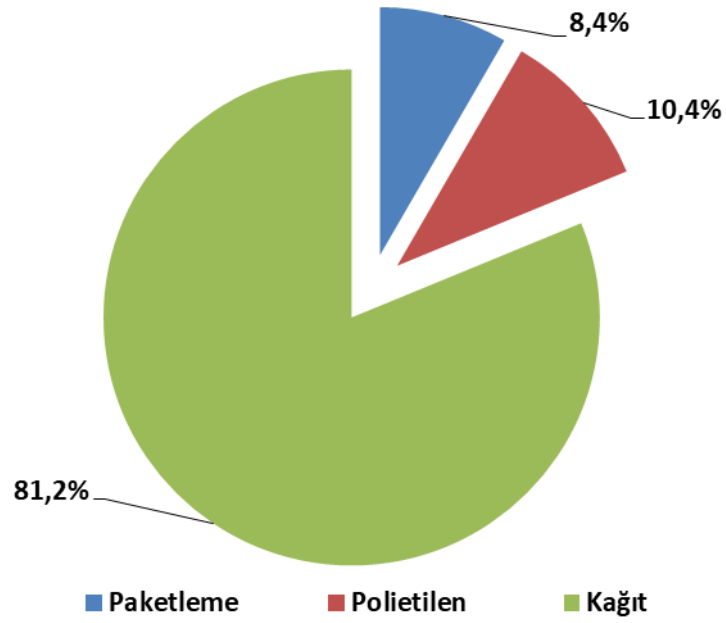


Şekil 4.13. Süt tozu paketleme ve Kraft torba için girdilerden gelen kümülatif enerji ve ekserji kullanımı ile karbondioksit emisyonu.

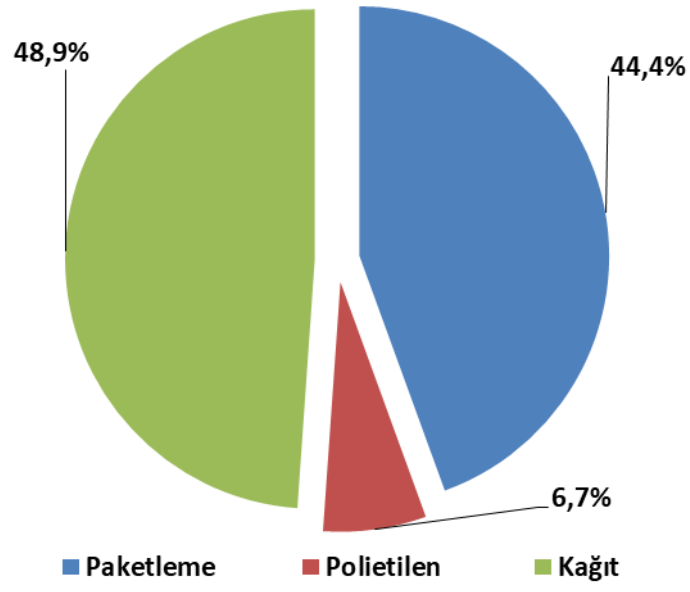
Şekil 4.14'te görüldüğü gibi süt tozu paketlemede kümülatif enerji kullanımı %2,4 paketleme cihazından, %4,5 polietilenden, %93,0 ise kağıttan gelmiştir. Süt tozu paketleme bölümü kümülatif ekserji kullanımının %81,2 oranıyla en fazla ambalaj materyali olan kağıttan geldiği görülmüştür (Şekil 4.15). Paketleme cihazının kümülatif ekserji kullanımı %8,4 polietilenin kümülatif ekserji kullanımı ise %10,4'tür. Kümülatif ekserji kullanımında da yine en fazla enerji kullanımı süt tozu ambalajından gelmektedir. Şekil 4.16'da süt tozu paketleme bölümü karbondioksit emisyonu oranları gösterilmiştir. Ambalaj materyali polietilenin karbondioksit emisyonu %6,7 ile en azdır. Kağıt ve paketleme cihazının karbondioksit emisyonu oranları birbirine çok yakındır.



Şekil 4.14. Süt tozu paketlemede kullanılan girdilerin enerji kullanımlarına göre oransal dağılımı.



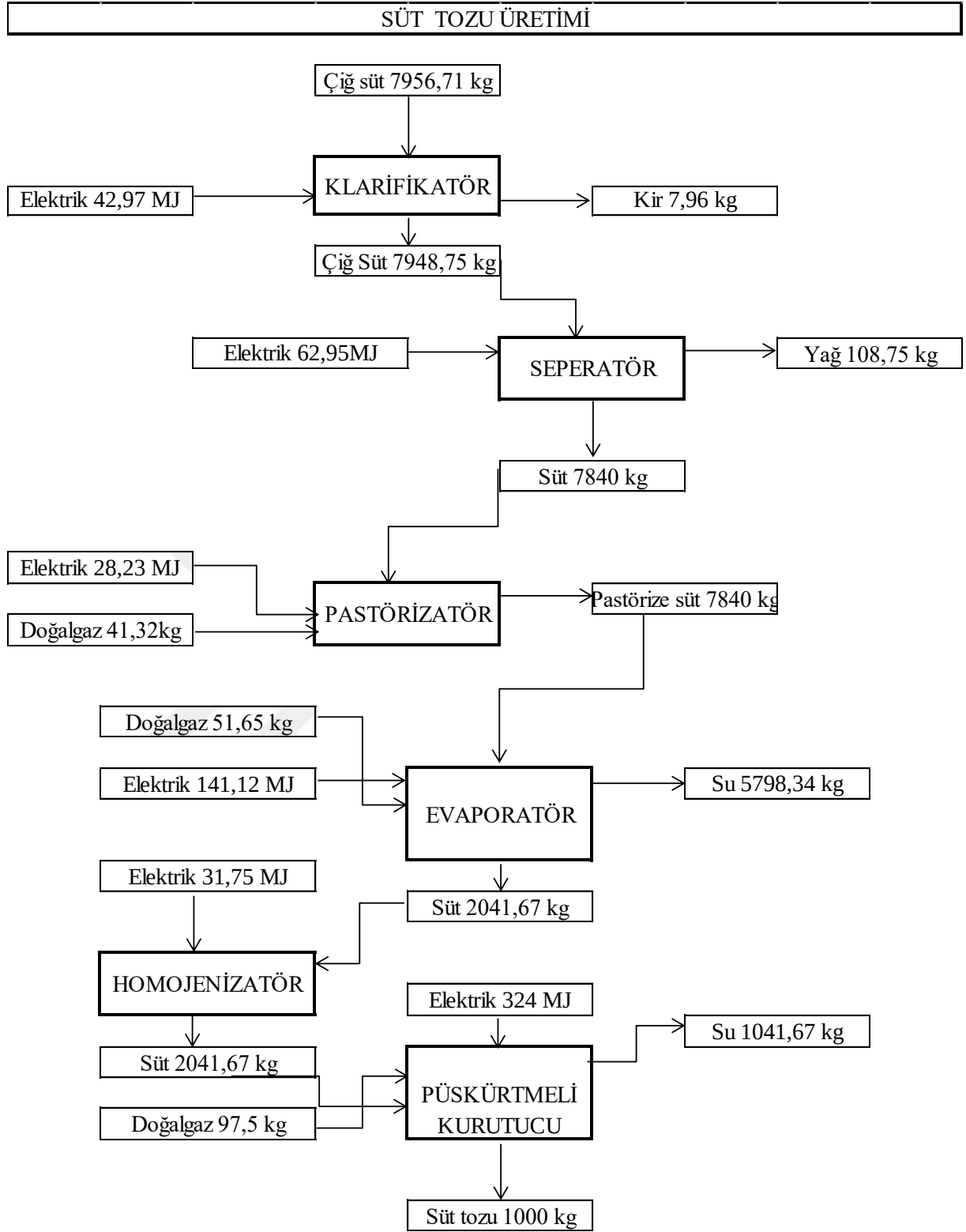
Şekil 4.15. Süt tozu paketlemede kullanılan girdilerin ekserji kullanımlarına göre oransal dağılımı.



Şekil 4.16. Süt tozu paketlemede kullanılan girdilerin karbondioksit emisyonuna göre oransal dağılımı.

4.4. Tam Yağlı Süt Tozu Üretimi Kümülatif Enerji, Ekserji ve CO_2 Emisyonu

Tam yağlı süt tozu üretimi kümülatif enerji ve ekserji kullanımı ile karbondioksit emisyonu hesaplamaları için cihazların kullandıkları enerji kaynakları belirlenmiştir. Tasarlanan süt tozu üretimi hattındaki cihazlar ya sadece elektrikle çalışmakta ya da elektrikle beraber doğalgaz da tüketmektedir. Cihazların elektrik ve doğal gaz kullanımları hesaplanarak belirlenmiştir. Şekil 4.17’de süt tozu üretiminde kullanılan cihazlar, cihazların kullandığı enerji, süt tozu üretiminde işlenen madde ve sistemden çıkan madde miktarları gösterilmiştir. Tablo 4.4.’te süt tozu üretimi kümülatif enerji ve ekserji kullanımı ile karbondioksit emisyonu hesaplama sonuçları gösterilmiştir. 1 ton tam yağlı süt tozu üretmek için 36789,27 MJ kümülatif enerji ve 86080,76 MJ kümülatif ekserji kullanımı ile 2306,2 kg karbondioksit emisyonu hesaplanmıştır. Genel olarak süt tozu üretiminde en çok enerji kullanımı püskürtmeli kurutucu prosesinde gerçekleşirken, en az enerji kullanımı ise homojenizatör prosesinde gerçekleşmiştir.



Şekil 4.17. Tam yağlı süt tozu üretimi akım şeması.

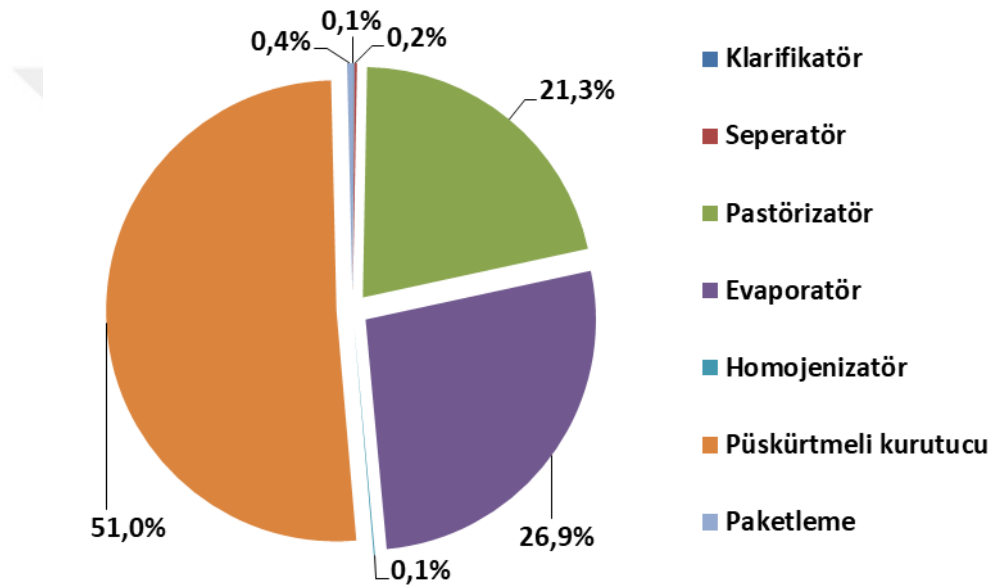
Tablo 4.4'te tüm prosesin kümülatif enerji ve ekserji ile karbondioksit emisyonu değerleri verilmiştir. En fazla enerji çiğ süt üretiminde harcanmıştır. Daha sonra sırasıyla püskürtmeli kurutucu, evaporatör ve pastörizasyon işlemleri yoğun enerji kullanımının gerçekleştiği bölümlerdir.

Tablo 4.4. Süt tozu üretiminde kümülatif enerji ve ekserji kullanımı ile toplam CO₂ emisyonu.

Proses	Ana ürün	Toplam enerji kullanımı (MJ)	Toplam ekserji kullanımı (MJ)	Toplam karbondioksit emisyonu (kg)
Çiğ süt üretimi	7956,71 kg çiğ süt	25987,73	73437,25	1662,63
Klarifikatör	7948,75 kg süt	12,97	179,18	7,74
Seperatör	7840 kg süt	19	262,5	11,33
Pastörizatör	7840 kg süt	2301,78	2253,96	119,74
Evaporatör	2041,67 kg süt	2909,15	3258,78	168,73
Homojenizatör	2041,67 kg süt	9,6	132,4	5,72
Püskürtmeli kurutucu	1000 kg süt tozu	5509,03	6391,85	328,96
Süt tozu paketleme	1 ton süt tozu	40,01	164,84	1,35
TOPLAM		36789,27	86080,76	2306,2

Süt tozu üretimi proses cihazlarının kümülatif enerji kullanım oranları Şekil 4.18.'de gösterilmiştir. En çok enerji kullanımı %51,0 oranı ile püskürtmeli kurutucu, %26,9 oranı ile evaporatör ve %21,3 oranı ile pastörizatörün olduğu görülmüştür. Bunun nedeni buharlaştırma ve yoğun ısı ile gerçekleşen proses işlemlerindeki yüksek enerji kullanımındır.

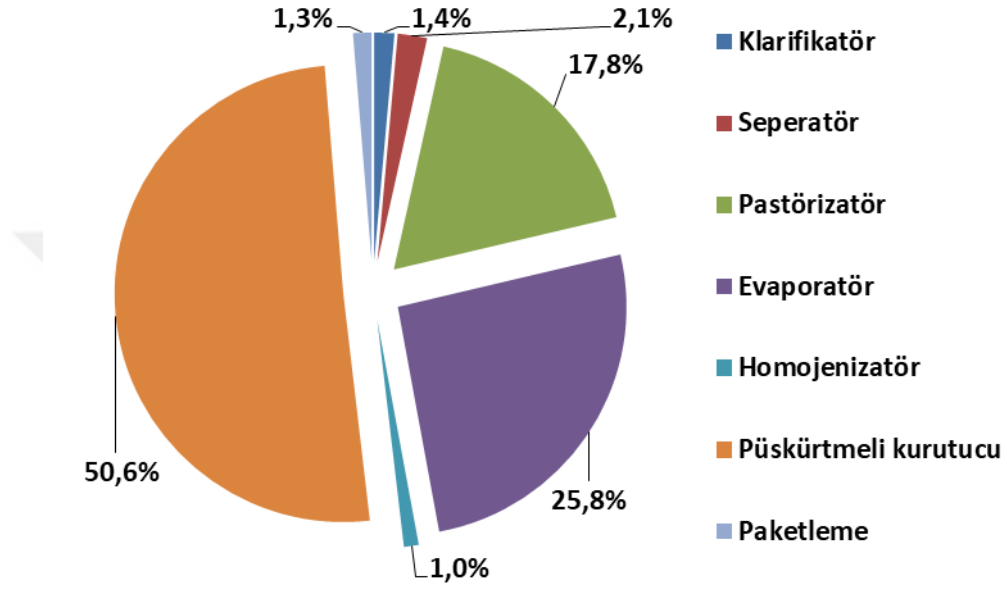
Püskürtmeli kurutucuda sıvı formda olan süt, besleme pompası ile atomizere pompalanır. Atomizerden sıcak ortama püskürtülen sıvı damlacıklar sıcak hava akımında nemini kaybetmesi ile kuru taneciklere dönüşür. Kurutma işlemiyle sıvı formdan ki süt katı forma geçerken buharlaşma gizli ısıyla hem faz değiştirir hemde yüksek sıcaklıkta gerçekleşen kütle transferi yoğun enerji kullanımına neden olmaktadır.



Şekil 4.18. Süt tozu üretim proseslerindeki enerji kullanımının yüzdelik dağılımı.

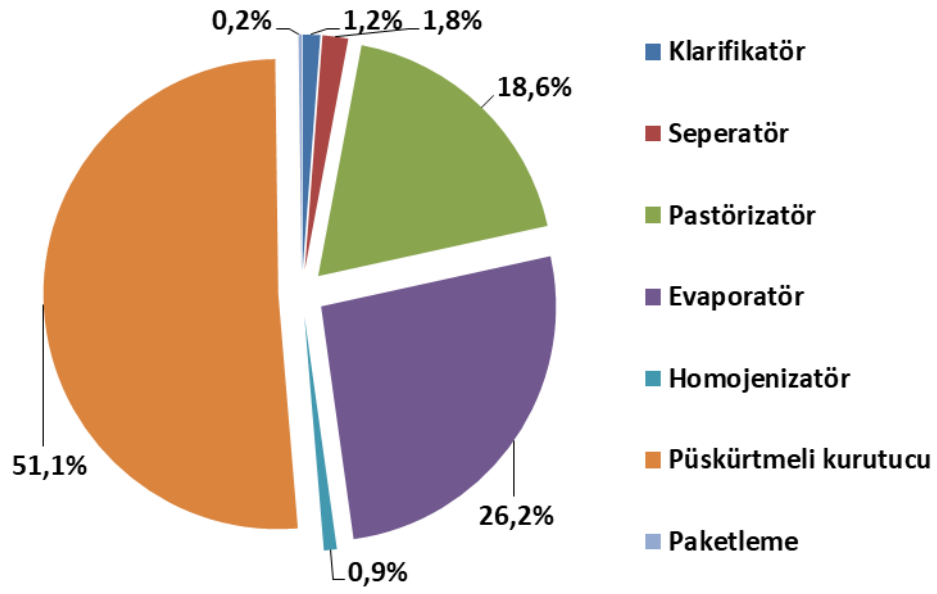
Evaporasyon buharlaştırma işleminin gerçekleştiği prosestir. Genel olarak buharlaştırılması gereken kısım sudur. Sıvı haldeki suyu buhar haline getirmek için gereken ısı miktarına veya yoğunlaşma sırasında buhardan alınan ısı miktarına buharlaşma gizli ısı denilmektedir. Su molekülleri katı solüsyondan ya da kolayca buharlaşamayan sıvıdan buhar olarak ayrılabilmek için yeterli enerjiyi elde ettiklerinde evaporasyon oluşur. Bu nedenle buharlaşma gizli ısının olduğu bu evaporatörler yoğun enerji kullanımının ve ekserji kayıplarının gerçekleştiği proseslerdir. Pastörizasyon işleminde ise ısı transferinin gerçekleşmesi, yüksek sıcaklıklarda uygulanan pastörizasyon sırasında entropinin yükselmesi ile enerji kullanımının artmasına ve ekserji kayıplarının fazla olması neden olmaktadır.

Şekil 4.19’da süt tozu üretimi proses cihazlarının kümülatif ekserji kullanım oranları gösterilmiştir. Ekserji kullanımının en çok gerçekleştiği cihaz %50,6 ile püskürtmeli kurutucu, onu takiben %25,8 ile evaporatör ve %17,8 ile pastörizatör olarak belirlenmiştir. Seperatör, klarifikatör, homojenizatör ve paketlenme cihazlarının ekserji kullanımlarının toplamdaki payı %2,1’in altında çıkmıştır.



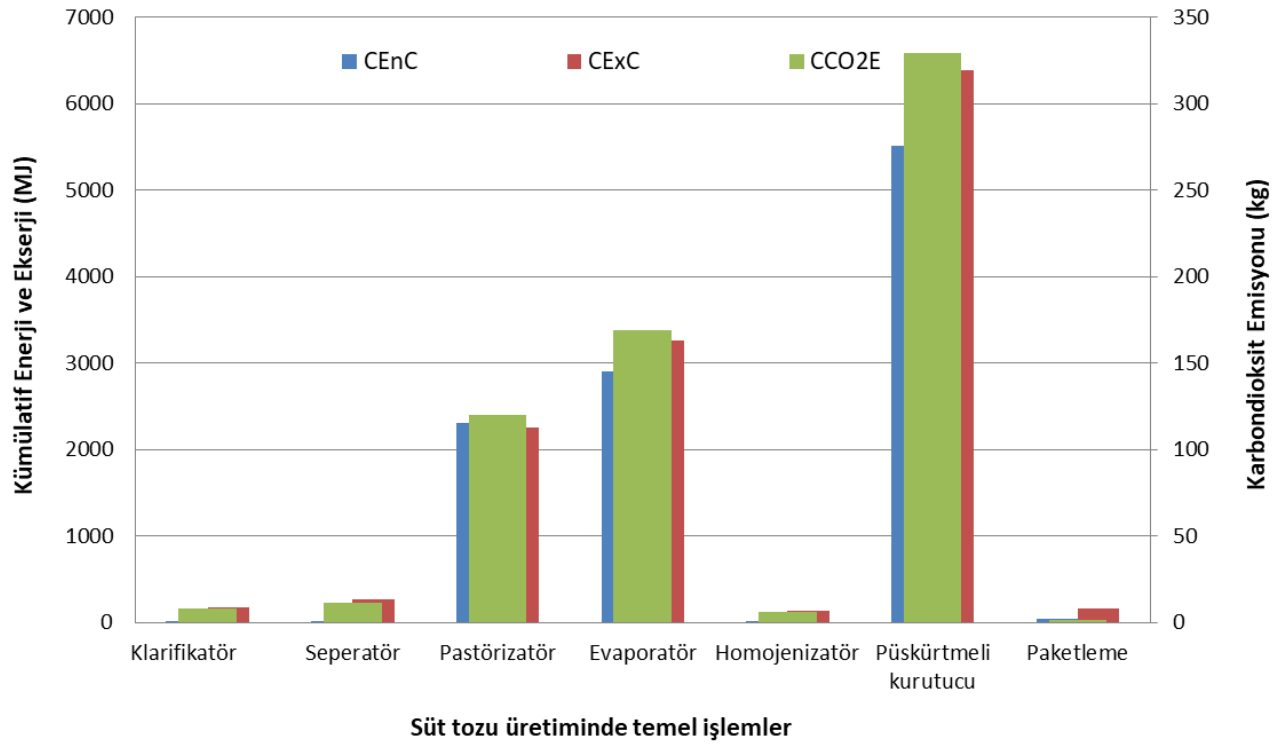
Şekil 4.19. Süt tozu üretim proseslerindeki ekserji kullanımının yüzdelik dağılımı.

Şekil 4.20.’da süt tozu üretimi proses cihazlarının karbondioksit emisyonu kullanım oranları gösterilmiştir. En çok karbondioksit emisyonu %51,1 oranı ile püskürtmeli kurutucu, %26,2 oranı ile evaporatör ve %18,6 oranı ile pastörizatörün olduğu görülmüştür. Homojenizatör karbondioksit emisyonu %0,9 oranı ile en düşüktür.



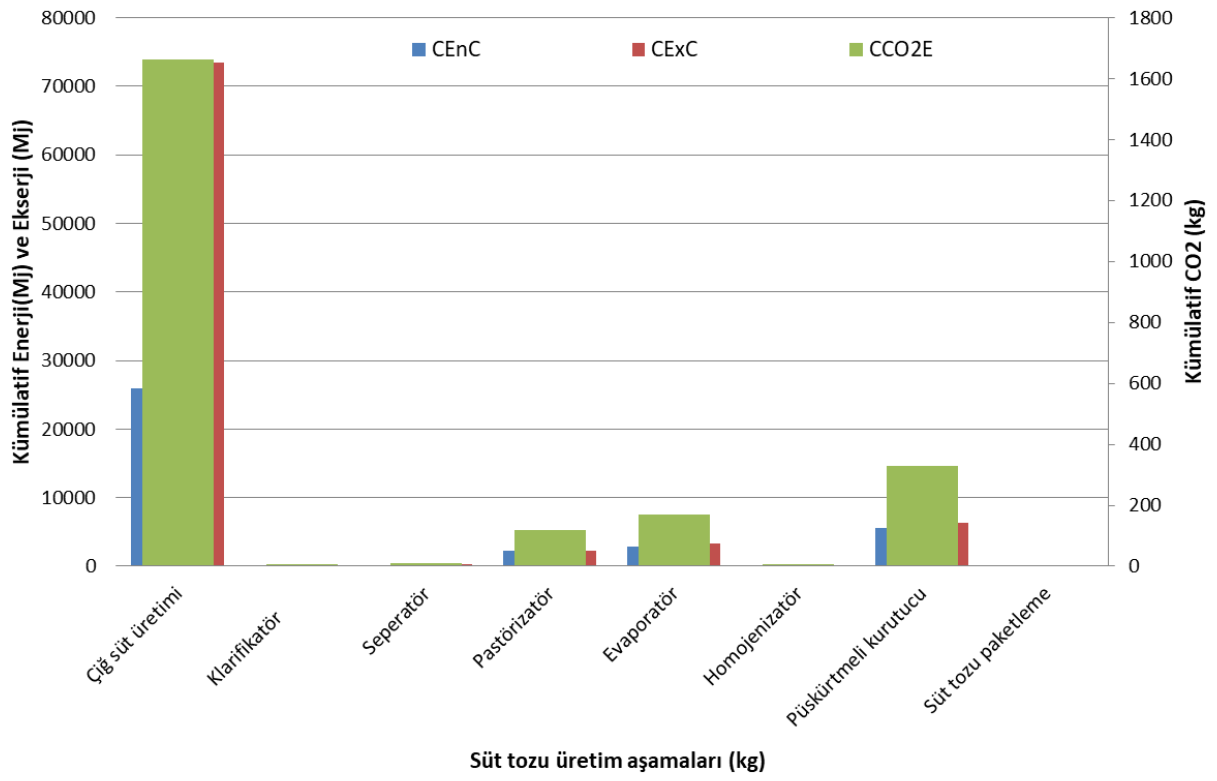
Şekil 4.20. Süt tozu üretim proseslerindeki karbondioksit emisyonunun yüzdelik dağılımı.

Şekil 4.21’de süt tozu üretimi proses cihazlarının kümülatif enerji ve ekserji kullanımı ile karbondioksit emisyonu kullanımları birlikte gösterilmiştir. Şekil 4.21.’de de görüldüğü gibi en çok enerji kullanımı %51,0, ekserji kullanımı %50,6 ve karbondioksit emisyonu %51,1 oranları ile püskürtmeli kurutucu makinesinde kullanılmıştır. En az enerji kullanımı %0,1, ekserji kullanımı %1,0 ve karbondioksit emisyonu %0,2 oranları ile ise homojenizatör cihazında kullanılmıştır.



Şekil 4.21. Süt tozu üretim prosesleri enerji, ekserji kullanımı ve karbondioksit emisyonu.

Şekil 4.21.'de süt tozu üretiminin tarladan sofraya gelene kadarki tüm süreçlerin enerji kullanımı, ekserji kullanımı ve karbondioksit emisyonu verileri gösterilmiştir. Genel olarak en yoğun enerji ve ekserji kullanımı ile karbondioksit emisyonu çiğ süt eldesi sürecinde gerçekleşmiştir. Daha sonra en çok enerji ve ekserji kullanımı ile karbondioksit emisyonu püskürtmeli kurutucu, evaporatör ve pastörizatörde gerçekleşmiştir.



Şekil 4.22. 1 ton süt tozu üretimi için tüm sürecin enerji, ekserji kullanımı ve CO₂ emisyonu.

5. SONUÇLAR

Bu çalışmada tam yağlı süt tozu üretiminin ekserjetik açıdan değerlendirilmesi amaçlanmıştır. 1 ton tam yağlı süt tozu elde etmek için tarladan sofraya bakış açısıyla sistem sınırları belirlenmiştir. Sistem çiğ süt üretimi, süt tozu üretimi ve paketleme olarak üç kısma ayrılarak enerji ve ekserji hesaplamaları yapılmıştır. Bu üretim için sisteme giren yenilenebilir ve yenilenemeyen enerji kaynakları belirlenmiştir. Bu enerji kaynaklarının spesifik enerji, spesifik ekserji ve spesifik karbondioksit emisyonu değerleri literatürde daha önce yapılmış çalışmalardan elde edilerek tüm sürecin kümülatif hesaplamaları yapılmıştır. Süt tozunun paketlenmesi için 25kg'lık kraft torba ambalaj olarak seçilmiştir. 1 ton tam yağlı süt tozu elde etmek için 7956,71 kg çiğ süte ihtiyaç olmaktadır. 1 ton tam yağlı süt tozu üretmek için 36789,27 MJ kümülatif enerji, 86080,76 MJ kümülatif ekserji ve 2306,2 kg kümülatif karbondioksit emisyonu kullanılmıştır. Kümülatif enerji kullanımının 25987,73 MJ'ü, kümülatif ekserji kullanımının 73437,25 MJ'ü ve 1662,63kg'mı çiğ süt üretiminden gelmektedir. Tam yağlı süt tozu üretim süreci kümülatif enerji kullanımı %70,6, kümülatif ekserji kullanımı %85,3 ve kümülatif karbondioksit emisyonu kullanımı %72,1 oranları ile tüm süreci en fazla çiğ süt üretimi oluşturmaktadır.

Tam yağlı süt tozu üretimi bölümünde ise en fazla kümülatif enerji ve ekserji kullanımı ile karbondioksit emisyonu sırasıyla püskürtmeli kurutucu, evaporatör ve pastörizatörde gerçekleşmiştir. Süt tozu üretiminde makinelerin enerji kullanımlarına göre %51 oranla 5509,03 MJ en fazla enerji kullanımı püskürtmeli kurutucuda gerçekleşmiştir. Evaporatörde kümülatif enerji kullanımı 2909,15 MJ, pastörizatörde kümülatif enerji kullanımı ise 2301,78 MJ'dür. Evaporatör ve pastörizatörün kümülatif enerji kullanım oranları sırasıyla süt tozu üretim bölümünün %26,9 ve %21,3'ünü oluşturmaktadır. Süt tozu üretiminde 6391,85 MJ ekserji kullanımı ile en fazla ekserji kullanımı püskürtmeli kurutucuda gerçekleşmiştir. Evaporatörde kümülatif ekserji kullanımı 3258,78 MJ, pastörizatörde kümülatif ekserji kullanımı ise 2253,96 MJ'dür. Püskürtmeli kurutucu, evaporatör ve pastörizatörün kümülatif ekserji kullanımları kümülatif enerji hesaplamalarına göre oranca daha fazladır. Bunun nedeni ekserji analizlerinin sistem içersindeki tersinmezlikleri göz önüne alarak ekserji kayıplarında hesaplamasından kaynaklanır. Karbondioksit emisyonlarına bakıldığında püskürtmeli kurutucu 328,96 kg, evaporatör 168,73 kg, pastörizatör ise 119,74 kg olarak hesaplanmıştır. Makinelerin enerji kullanımı olarak elektrik ve doğal gaz kullanması ve bu enerjilerin fosil

yakıtlardan elde ediliyor olması karbondioksit emisyonu üzerine en büyük etkendir. Yenilenebilir enerji kaynakları kullanılarak karbondioksit emisyonu azaltılabilir. Süt tozu paketleme bölümünde hesaplanan kümülatif enerji, kümülatif ekserji ve kümülatif karbondioksit değerleri genele oranla ihmal edilebilir düzeydedir.

Sonuç olarak tam yağlı süt tozu üretimi için kümülatif enerji ve ekserji kullanımı ve karbondioksit emisyonu hesaplamaları yapılmıştır. Burada enerji analizlerinin tek başına bir anlamının olmadığı ancak ekserji analizleri ile daha net ve kesin sonuçlar verecektir. Ekserji analizleri ile daha verimli ve sürdürülebilir enerji kullanımı sağlanmalıdır.



6. ÖNERİLER

Tam yağlı süt tozu üretimi ekserjetik açıdan değerlendirilmiştir. Kümülatif enerji ve ekserji kullanımı ile karbondioksit emisyonu hesaplama sonuçlarına göre sistemde en çok enerjinin harcandığı ve en çok ekserji kayıpları sırasıyla çiğ süt üretimi, püskürtmeli kurutucu, evaporatör ve pastörizatörde gerçekleşmiştir.

Çiğ süt üretimi tek başına incelendiğinde termodinamik açıdan tüketim çoktur. Fakat çiğ süt üretiminde kullanılan enerji ve ekserjinin büyük kısmı yenilenebilir kaynaklardan yani hayvana beslenen bitkilerden gelir. Yemin enerjisi ve ekserjisi hayvanların metabolik aktiviteleri için kullanılır. Çiğ süt üretiminde kaybolan ekserji süt, gübre gibi faydalı ürünlere dönüştürülebilir. Çiğ süt üretimi için, hayvanın besleneceği tarım ürünlerinde, optimum düzeyde enerji kullanılarak yüksek mahsul verimi elde edilebilir. Tarımda dengeli enerji kullanımı tarımsal faaliyetten kaynaklanan çevresel sorunları azaltacak, çiğ süt üretiminde termodinamik açıdan daha verimli hale getirecektir.

Püskürtmeli kurutucu, evaporatör ve pastörizatör makinelerin enerji kullanımı olarak elektrik ve doğal gaz kullanması ve bu enerjilerin fosil yakıtlardan elde ediliyor olması karbondioksit emisyonu üzerine en büyük etkidir. Yenilenebilir enerji kaynakları kullanılarak karbondioksit emisyonu azaltılabilir. Bu makinelerin tasarımlarında enerji verimliliğinin daha ön planda olduğu tasarımlar yapılabilir. Pastörizatör için plaka sayısı arttırılarak pastörizasyon sırasında ısı transferi ile ekserji kayıpları azaltılabilir. Enerji kullanımı daha az indirilebilir. Fakat plaka sayısının arttırılması eksergoekonomik analizlerde bakılmasını gerektir mektedir. Evaporatörde daha fazla ısı ve yalıtım izolasyonu ile enerji verimliliği arttırılabilir. Evaporasyonda kaybolan ekserji azalacaktır. Püskürtmeli kurutucu sisteminden ortama atılan çıkış havasının sisteme geri beslenmesi ile enerji ve ekserjinin geri kazanımı mümkündür. Çıkış havası, filtrelerden geçirilerek sisteme geri beslenebilir veya direkt olarak ısı değiştirici aracılığıyla giriş havasını ısıtmada kullanılabilir. Böylece daha verimli bir tam yağlı süt tozu üretimi sağlanabilir.

KAYNAKLAR DİZİNİ

- Akpınar, E. K., Midilli, A., & Bicer, Y. (2006). The first and second law analyses of thermodynamic of pumpkin drying process. *Journal of Food Engineering*, 72(4), 320–331. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2004.12.011>
- Aktaş, M., Khanlari, A., Amini, A., & Şevik, S. (2017). Performance analysis of heat pump and infrared–heat pump drying of grated carrot using energy-exergy methodology. *Energy Conversion and Management*, 132, 327–338. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2016.11.027>
- Alçiçek, A., Kılıç, A., Ayhan, V., Özdoğan, M., (2008). *Türkiye’de kaba yem üretimi ve sorunları*, 1–10.
- Aghbashlo, M., Mobli, H., Madadlou, A., & Rafiee, S. (2012). Integrated optimization of fish oil microencapsulation process by spray drying. *Journal of Microencapsulation*, 29(8), 790–804. <https://doi.org/10.3109/02652048.2012.692398>
- Aghbashlo, M., Mobli, H., Rafiee, S., & Madadlou, A. (2012a). Energy and exergy analyses of the spray drying process of fish oil microencapsulation. *Biosystems Engineering*, 111(2), 229–241. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2011.12.001>
- Aghbashlo, M., Mobli, H., Rafiee, S., & Madadlou, A. (2012b). Optimization of emulsification procedure for mutual maximizing the encapsulation and exergy efficiencies of fish oil microencapsulation. *Powder Technology*, 225, 107–117. <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2012.03.040>
- Aghbashlo, M., Mobli, H., Rafiee, S., & Madadlou, A. (2012c). The use of artificial neural network to predict exergetic performance of spray drying process: A preliminary study. *Computers and Electronics in Agriculture*, 88, 32–43. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2012.06.007>
- Aghbashlo, M., Mobli, H., Madadlou, A., & Rafiee, S. (2012d). Influence of spray dryer parameters on exergetic performance of microencapsulation process. *International Journal of Exergy*, 10(3), 267–289. <https://doi.org/10.1504/Ijex.2012.046812>

- Aghbashlo, M., Mobli, H., Rafiee, S., & Madadlou, A. (2013). A review on exergy analysis of drying processes and systems. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 22, 1–22. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.01.015>
- Anonim.(2005). Koyulaştırılmış süt ve süttozu tebliği. *Türk Gıda Kodeksi, T.C. Gıda Tarım ve Hayvancılık Bakanlığı, Gıda ve Kontrol Genel Müdürlüğü. Tebliğ No:2005/18.*
- Anonim.(1997). Enerjinin etkin kullanımı ve enerji tasarrufu. *Tübitak TTGV Bilim ve Teknoloji Sanayi Tartışmaları, Enerji Teknolojileri Politikası.*
- Azadbakht, M., Aghili, H., Ziaratban, A., & Torshizi, M. V. (2017). Application of artificial neural network method to exergy and energy analyses of fluidized bed dryer for potato cubes. *Energy*, 120, 947–958. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2016.12.006>
- Branch, M. S., Soleyman, M., & Branch, D. (2014). *Exergy Modeling And Performance Evaluation Of Pulp And Paper Production Process Of Bagasse, A Case Study*, 18(4), 1399–1412. <https://doi.org/10.2298/TSCI110715141A>
- Beigi, M., Tohidi, M., & Torki-Harchegani, M. (2017). Exergetic analysis of deep-bed drying of rough rice in a convective dryer. *Energy*, 140, 374–382. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2017.08.100>
- Boulemtafes-Boukadoum, A., & Benzaoui, A. (2011). Energy and exergy analysis of solar drying process of mint. *Energy Procedia*, 6, 583–591. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2011.05.06>
- Celma, A. R., & Cuadros, F. (2009). Energy and exergy analyses of OMW solar drying process. *Renewable Energy*, 34(3), 660–666. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2008.05.019>
- Ceylan, I., & Gürel, A. E. (2016). Solar-assisted fluidized bed dryer integrated with a heat pump for mint leaves. *Applied Thermal Engineering*, 106, 899–905. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2016.06.077>
- Colak, N., Kuzgunkaya, E., & Hepbasli, A. (2008). Exergetic assessment of drying of mint leaves in a heat pump dryer. *Journal of Food Process Engineering*, 31(3), 281–298. <https://doi.org/10.1111/j.1745-4530.2007.00155.x>

- Colak, N., & Hepbasli, A. (2009). A review of heat pump drying: Part 1 - Systems, models and studies. *Energy Conversion and Management*, 50(9), 2180–2186. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2009.04.031>
- Colak, N., & Hepbasli, A. (2009). A review of heat-pump drying (HPD): Part 2 - Applications and performance assessments. *Energy Conversion and Management*, 50(9), 2187–2199. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2009.04.037>
- Daneshi, A., Esmaili-sari, A., Daneshi, M., & Baumann, H. (2014). Greenhouse gas emissions of packaged fluid milk production in Tehran. *Journal of Cleaner Production*, 80, 150–158. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.05.057>
- Degerli, B., Nazir, S., Sorgüven, E., Hitzmann, B., & Özilgen, M. (2015). Assessment of the energy and exergy efficiencies of farm to fork grain cultivation and bread making processes in Turkey and Germany. *Energy*, 93, 421–434. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2015.08.095>
- Dewulf, J., & Langenhove, H. Van. (2004). *Thermodynamic optimization of the life cycle of plastics by exergy analysis*, 976(June), 969–976. <https://doi.org/10.1002/er.1007>
- Dincer, I. (2011). Exergy as a potential tool for sustainable drying systems. *Sustainable Cities and Society*, 1(2), 91–96. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2011.04.001>
- Dincer, I., & Sahin, A. Z. (2004). A new model for thermodynamic analysis of a drying process. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 47(4), 645–652. <https://doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2003.08.013>
- Dowlati, M., Aghbashlo, M., & Mojarab Soufiyan, M. (2017). Exergetic performance analysis of an ice-cream manufacturing plant: A comprehensive survey. *Energy*, 123, 445–459. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2017.02.007>
- Erbay, Z., & Icier, F. (2009). Optimization of drying of olive leaves in a pilot-scale heat pump dryer. *Drying Technology*, 27(3), 416–427. <https://doi.org/10.1080/07373930802683021>
- Erbay, Z., & Koca, N. (2012). Energetic, Exergetic, and Exergoeconomic Analyses of Spray-Drying Process during White Cheese Powder Production. *Drying Technology*, 30(4), 435–444. <https://doi.org/10.1080/07373937.2011.647183>

- Fudholi, A., Sopian, K., Othman, M. Y., & Ruslan, M. H. (2014). *Energy and exergy analyses of solar drying system of red seaweed. Energy and Buildings*, 68(PARTA), 121–129. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2013.07.072>
- 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, 47–54. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2013.10.019>
- Fudholi, A., Sopian, K., Alghoul, M. A., Ruslan, M. H., & Othman, M. Y. (2015). Performances and improvement potential of solar drying system for palm oil fronds. *Renewable Energy*, 78, 561–565. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2015.01.050>
- 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. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2017.02.009>
- Gielen, D., Renewable, I., Agency, E., & Tam, C. (2014). *Proposal for Energy and CO2 Emission Indicators in the Petrochemical Sector In support of the G8 Plan of Action Proposal for Energy and CO 2 Emission Indicators in the Petrochemical Sector Feedstock Substitutes, Energy efficient Technology and CO2 Reduction for, (July).*
- Goh, L. J., Othman, M. Y., Mat, S., Ruslan, H., & Sopian, K. (2011). Review of heat pump systems for drying application. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15(9), 4788–4796. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2011.07.072>
- Granovskii, M., Dincer, I., & Rosen, M. A. (2007). *Exergetic life cycle assessment of hydrogen production from renewables*, 167(January), 461–471. <https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2007.02.031>
- Gungor, A., Erbay, Z., & Hepbasli, A. (2011). Exergetic analysis and evaluation of a new application of gas engine heat pumps (GEHPs) for food drying processes. *Applied Energy*, 88(3), 882–891. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2010.09.007>
- Güngör, A., (2013). *Kurutucular Ve Kurutma Teknolojileri*, 43–63.

- Huysveld, S., Van, V., Meester, S. De, Peiren, N., Muylle, H., Lauwers, L., & Dewulf, J. (2020). Resource use assessment of an agricultural system from a life cycle perspective – a dairy farm as case study. *Agricultural Systems*, 135(2015), 77–89. <https://doi.org/10.1016/j.agry.2014.12.008>
- Jokandan, M. J., Aghbashlo, M., & Mohtasebi, S. S. (2015). Comprehensive exergy analysis of an industrial-scale yogurt production plant. *Energy*, 93, 1832–1851. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2015.10.003>
- Kalogirou, S. A., Karellas, S., Braimakis, K., Stanciu, C., & Badescu, V. (2016). Exergy analysis of solar thermal collectors and processes. *Progress in Energy and Combustion Science*, 56, 106–137. <https://doi.org/10.1016/j.pecs.2016.05.002>
- Kantar, N. K., & Isci, A. (2015). *Thin layer drying models in food systems*, (January). <https://doi.org/10.15237/gida.GD14031>
- Kokin, E., Praks, J., Poikalainen, V., & Ruus, A. (2012). *Energy consumption in animal production - Case farm study*, (January).
- Küçükçalı, R., (2003). *Buhar Sistemlerinde Enerji Tasarrufu*.
- Laurijssen, J., Marsidi, M., Westenbroek, A., Worrell, E., & Faaij, A. (2010). Resources , Conservation and Recycling Paper and biomass for energy ? The impact of paper recycling on energy and CO 2 emissions. “*Resources, Conservation & Recycling*,” 54(12), 1208–1218. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2010.03.016>
- Liu, Y., Zhao, Y., & Feng, X. (2007). Exergy analysis for a freeze-drying process. *Applied Thermal Engineering*, 28(7), 675–690. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2007.06.004>
- Liapis, A. I., & Bruttini, R. (2008). Exergy analysis of freeze drying of pharmaceuticals in vials on trays. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 51(15–16), 3854–3868. <https://doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2007.11.048>
- Luis, P., & Bruggen, B. Van Der. (2014). *Exergy analysis of energy-intensive production processes : advancing towards a sustainable chemical industry*, (May). <https://doi.org/10.1002/jctb.4422>

- Macián, V., Tormos, B., Ruíz, S., & Ramírez, L. (2015). *Potential of low viscosity oils to reduce CO₂ emissions and fuel consumption of urban buses fleets*, 39, 76–88. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2015.06.006>
- Maia, C. B., Ferreira, A. G., Cabezas-Gómez, L., de Oliveira Castro Silva, J., & de Moraes Hanriot, S. (2017). Thermodynamic analysis of the drying process of bananas in a small-scale solar updraft tower in Brazil. *Renewable Energy*, 114, 1005–1012. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2017.07.102>
- McCarthy, O.J., (2011). *Centrifuges and Separators: Applications in the Dairy Industry*. Encyclopedia of Dairy Sciences, USA.
- Midilli, A., & Kucuk, H. (2003). Energy and exergy analyses of solar drying process of pistachio. *Energy*, 28(6), 539–556. [https://doi.org/10.1016/S0360-5442\(02\)00158-5](https://doi.org/10.1016/S0360-5442(02)00158-5)
- Mojarab Soufiyan, M., Aghbashlo, M., & Mobli, H. (2015). *Exergetic performance assessment of a long-life milk processing plant: A comprehensive survey*. *Journal of Cleaner Production*, 140. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.11.066>
- Mojarab Soufiyan, M., Dadak, A., 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. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2016.06.030>
- Mojarab Soufiyan, 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. <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2016.10.008>
- Mortazavi, A., & Ameri, M. (2018). Conventional and advanced exergy analysis of solar flat plate air collectors. *Energy*, 142, 277–288. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2017.10.035>
- Nasiri, F., Aghbashlo, M., & Rafiee, S. (2017). Exergy analysis of an industrial-scale ultrafiltrated (UF) cheese production plant: a detailed survey. *Heat and Mass Transfer/Waerme- Und Stoffuebertragung*, 53(2), 407–424. <https://doi.org/10.1007/s00231-016-1824-3>

- Nejat, P., Jomehzadeh, F., Mahdi, M., & Gohari, M. (2015). A global review of energy consumption, CO₂ emissions and policy in the residential sector (with an overview of the top ten CO₂ emitting countries). *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 43, 843–862. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.11.066>
- Nergiz, R., & Besler, T. (2008). *Beslenmede sütün önemi*.
- Odabaş, M. T. T., (2017). *Gıda Analiz Teknikleri, Püskürtmeli Kurutma, (1), 1–6*.
- Odas, S., Tezlerine, L., & Deste, S. (2010). *Gıda İşlemede Kurutma Teknolojilerinin Temel İlkeleri*, İstanbul Sanayi Odası, İstanbul.
- Özkan, B., Fert, C., & Karadeniz, C. F. (2007). *Energy and cost analysis for greenhouse and open-field grape production*, 32, 1500–1504. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2006.09.010>
- Rabha, D. K., Muthukumar, P., & Somayaji, C. (2017). Energy and exergy analyses of the solar drying processes of ghost chilli pepper and ginger. *Renewable Energy*, 105, 764–773. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2017.01.007>
- Sarker, M. S. H., Ibrahim, M. N., Abdul Aziz, N., & Punan, M. S. (2015). Energy and exergy analysis of industrial fluidized bed drying of paddy. *Energy*, 84, 131–138. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2015.02.064>
- Seckin, C. (2016). Extended Exergy Accounting analysis of IGCC processes *Determination of environmental remediation cost of refinery and coke processing waste. Journal of Cleaner Production*, 119, 178–186. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.01.088>
- Sefeedpari, P. (2012). *Assessment and Optimization of Energy Consumption in Dairy Farm: Energy Efficiency*, 3(3), 213–224. <https://doi.org/10.5829/idosi.ijee.2012.03.03>
- Sorgüven, E., & Özilgen, M. (2012).6 Energy utilization, carbon dioxide emission, and exergy loss in flavored yogurt production process. *Energy*, 40(1), 214–225. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2012.02.003>
- Solomon, B. D., & Banerjee, A. (2006). *A global survey of hydrogen energy research , development and policy*, 34, 781–792. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2004.08.007>

- Syahrul, S., Hamdullahpur, F., & Dincer, I. (2002). *Thermal analysis in fluidized bed drying of moist particles. Applied Thermal Engineering*, 22(15), 1763–1775.
[https://doi.org/10.1016/S1359-4311\(02\)00079-0](https://doi.org/10.1016/S1359-4311(02)00079-0)
- Terehovics, E., Veidenbergs, I., & Blumberga, D. (2017). Energy and exergy balance methodology. Wood chip dryer. *Energy Procedia*, 128, 551–557.
<https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.09.008>
- Westergaard, V. (2004). *Milk Powder Technology Evaporation and Spray Drying*. Niro A/S Publishing, Copenhagen, Denmark.
- Worrell, E., Phylipsen, D., Einstein, D., & Martin, N. (2000) *Department of Energy under Contract No. DE-AC03-76SF00098., (April)*.
- Yetişmeyen, A., Bektaş, V., Demir, S., (1983). *İnstat Süttozu Elde Edilme Tekniği ve Özellikleri*, Ankara Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Süt Teknolojisi Ana Bilim Dalı, Ankara.
- Yildirim, N., & Genc, S. (2017). *Energy and exergy analysis of a milk powder production system. Energy Conversion and Management*, 149, 698–705.
<https://doi.org/10.1016/j.enconman.2017.01.064>
- Yildizhan, H. (2017). *Energy, Exergy Utilization and CO₂ Emission of Strawberry Production in Greenhouse and Open Field. Energy*. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2017.10.139>
- Zhao, Q., Ding, S., Wen, Z., & Toppinen, A. (2019). *Energy Flows and Carbon Footprint in the Forestry-Pulp and Paper Industry*.

ÖZGEÇMİŞ

1993 yılında Adana’da doğmuştur. T.C. vatandaşıdır. Adana Nigahi Soykan İlkokulu’nda ilköğretim ve orta öğretimini tamamlamıştır. Adana Ramazan Atıl Anadolu Lisesi’nde lise öğretimini tamamlamıştır. 2017 yılında Mersin Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Gıda Mühendisliği Bölümü’nden mezun olmuştur. Aynı yıl Alparslan Türkeş Bilim ve Teknoloji Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Gıda Mühendisliği Ana Bilim Dalı’nda Süt Teknolojisi alanında yüksek lisansa başlamıştır. 2 yıldır özel sektörde Gıda Mühendisi olarak çalışmaktadır.



EKLER

Ek A. Kütle Denge Denkliği Hesaplamaları

Ek B.  ığ Süt  retimi Kümülatif Enerji, Ekserji ve CO_2 Hesaplamaları

Ek C. Süt Tozu  retim Prosesi Kümülatif Enerji, Ekserji ve CO_2 Hesaplamaları

EK D. Süt Tozu Paketleme Kümülatif Enerji, Ekserji ve CO_2 Hesaplamaları



EK- A

Klarifikatör Prosesinde Kütle Denkliği Hesaplamaları

$$\sum \dot{m}_{giren} - \sum \dot{m}_{çıkan} = 0 \quad (1)$$

$$m = m_{\zeta} + m_1$$

$$m_{\zeta} = \frac{m * 0,1}{100} = m * 0,001$$

$$m = m * 0,001 + 7948,75$$

$m = 7956,71 \text{ kg}$ süt klarifikatörde işlenen çiğ süt miktarıdır.

$m_{\zeta} = 7956,71 * \frac{0,1}{100} = 7,96 \text{ kg}$ kir/çamur klarifikatörde çiğ süttten temizlenir.

$$m_{giren} * x_{dm} = m_{çıkan} * x_{dm} \quad (1a)$$

$$m * x_{dm} = m_{\zeta} * x_{dm} + m_1 * x_{dm}$$

$$m * x_{dm} = 7,96 * 15 + 7948,75 * 12,84$$

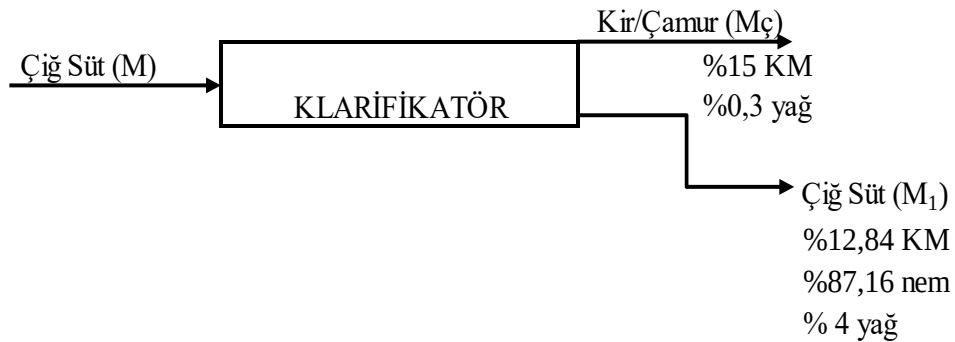
$$x_{dm} = 12,84$$

$$m_{giren} * x_f = m_{çıkan} * x_f \quad (1b)$$

$$m * x_f = m_{\zeta} x_f + m_1 x_f$$

$$7956,71 * x_f = 7,96 * 0,30 + 7948,75 * 4$$

$$x_f = 4$$



Ek A1. Klarifikatör prosesi akım şeması

Seperatör Prosesinde Kütle Denkliği Hesaplamaları

$$\sum \dot{m}_{giren} - \sum \dot{m}_{çıkan} = 0 \quad (1)$$

$$m_1 = m_2 + m_3$$
$$m_1 = 7840,01 + m_3$$

$$m_{giren} * x_f = m_{çıkan} * x_f \quad (1b)$$

$$m_1 * x_f = m_2 x_f + m_3 x_f$$
$$m_1 * 4 = m_2 3,57 + 7840,01 * 35$$
$$m_1 = 7948,76 \text{ ve } m_3 = 108,75$$

$$m_{giren} * x_{dm} = m_{çıkan} * x_{dm} \quad (1a)$$

$$m_1 * x_{dm} = m_2 * x_{dm} + m_3 * x_{dm}$$
$$7948,76 * x_{dm} = 7840,01 * 12,5 + 108,75 * 37,5$$
$$x_{dm} = 12,84$$

$$\sum \dot{m}_{giren} - \sum \dot{m}_{çıkan} = 0 \quad (1)$$

$$m_{s1} + m_{s3} = m_2$$
$$m_{s1} + m_{s3} = 7948,76$$

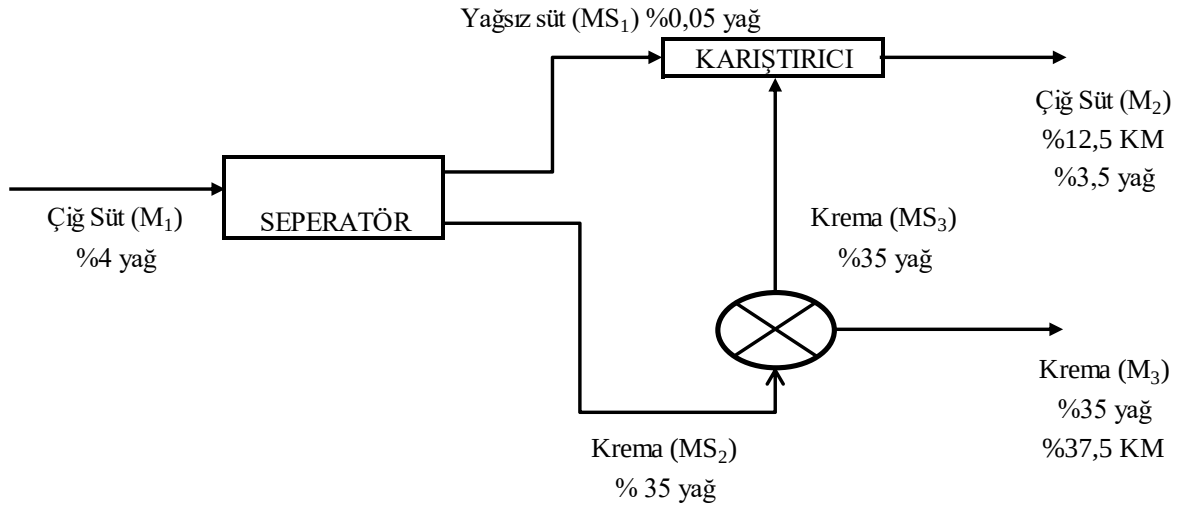
$$m_{giren} * x_f = m_{çıkan} * x_f \quad (1b)$$

$$m_{s1} * x_f + m_{s3} x_f = m_2 x_f$$
$$m_{s1} * 0,05 + m_{s3} 35 = m_2 3,57$$
$$m_{s1} + m_{s3} = 7948,76$$

$m_{s1} = 7050,4 \text{ kg}$ ve $m_{s3} = 789,61 \text{ kg}$ olarak hesaplanır.

$$m_{giren} * x_{dm} = m_{çıkan} * x_{dm} \quad (1a)$$

$$m_{s1} * x_{dm} = m_{s3} * x_{dm} + m_2 * x_{dm}$$
$$7050,4 * x_{dm} = 789,61 * 37,5 + 7840,01 * 12,5$$
$$x_{dm} = 18,10$$



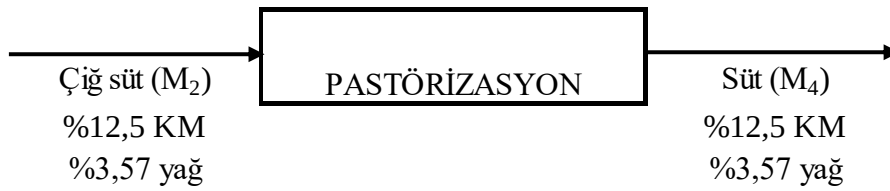
Ek A2. Seperatör prosesi akım şeması

Pastörizasyon Prosesinde Kütle Denkliği Hesaplamaları

$$\sum \dot{m}_{giren} - \sum \dot{m}_{çıkan} = 0 \quad (1)$$

$$m_2 = m_4$$

$$7840,01 = m_4$$



Ek A3. Pastörizasyon prosesi akım şeması

Evaporasyon Prosesinde Kütle Denkliği Hesaplamaları

$$\sum \dot{m}_{giren} - \sum \dot{m}_{çıkan} = 0 \quad (1)$$

$$m_4 = m_5 + m_6$$

$$7840,01 = m_6 + 2041,67$$

$$m_6 = 5798,34$$

$$m_{giren} * x_{dm} = m_{çıkan} * x_{dm} \quad (1a)$$

$$m_4 * x_{dm} = m_6 * x_{dm} + m_5 * x_{dm}$$

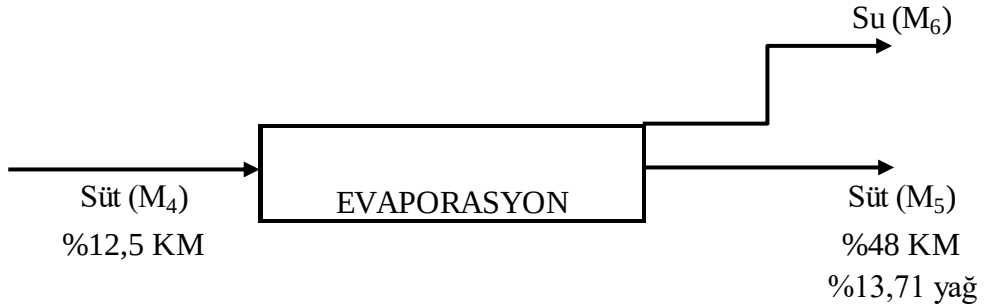
$$m_4 * 12,5 = m_6 * 0 + m_5 * 48$$

$$m_{giren} * x_f = m_{çıkan} * x_f \quad (1b)$$

$$m_4 * x_f = m_5 x_f + m_6 x_f$$

$$7840,01 * x_f = 2041,67 * 13,71 + 5798,34 * 0$$

$$x_f = 3,57$$



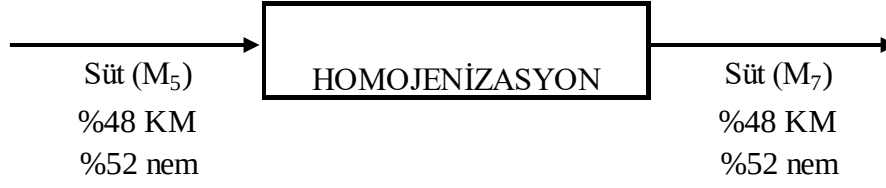
Ek A4. Evaporasyon prosesi akım şeması

Homojenizatör Prosesinde Kütle Denkliği Hesaplamaları

$$\sum \dot{m}_{giren} - \sum \dot{m}_{çıkan} = 0 \quad (1)$$

$$m_5 = m_7$$

$$m_5 = 2041,67 = m_7$$



Ek A5. Homojenizasyon prosesi akım şeması

Püskürtmeli Kurutma Prosesinde Kütle Denkliği Hesaplamaları

$$\sum \dot{m}_{giren} - \sum \dot{m}_{çıkan} = 0 \quad (1)$$

$$m_7 = m_8 + m_9$$

$$m_7 = m_8 + 1000$$

$$2041,67 = m_8 + 1000$$

$$m_8 = 1041,67 \text{ kg su}$$

$$m_{giren} * x_{dm} = m_{çıkan} * x_{dm} \quad (1a)$$

$$m_7 * x_{dm} = m_8 * x_{dm} + m_9 * x_{dm}$$

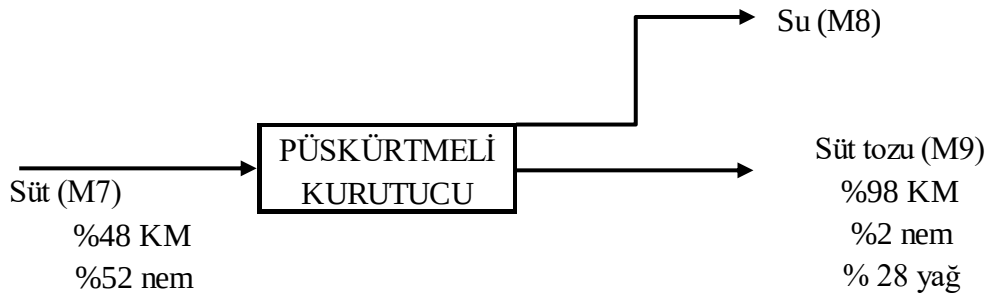
$$m_7 * 48 = m_8 * 0 + m_9 * 98$$

$$m_{giren} * x_f = m_{çıkan} * x_f \quad (1b)$$

$$m_7 * x_f = m_8 x_f + m_9 x_f$$

$$2041,67 * x_f = 1041,67 * 0 + 1000 * 28$$

$$x_f = 13,71$$



Ek A6. Püskürtmeli kurutma prosesi akım şeması

Ek B

Çiğ Süt Üretimi Kümülatif Enerji, Ekserji ve CO₂ Hesaplamaları

1 kg mazottan gelen enerji miktarı 47,6 MJ/kg'dır. 7956,71 kg çiğ süt üretmek için mazottan gelen enerji miktarı:

$$\frac{47,6 \text{ MJ}}{\text{Kg}} * 134,46 \text{ kg mazot} = 6400,30 \text{ MJ}$$

$$6400,3 \text{ MJ} * \frac{1000 \text{ kg}}{1 \text{ ton}} * \frac{1}{7956,71 \text{ kg}} = 804,4 \text{ MJ/ton}$$

1kg yem %30 yonca otu, %30 mısır silajı ve %40 saman (kuru ot) olduğu varsayılarak bir paçal hazırlanmıştır.

$$\text{Yonca otundan gelen enerji: } 8575,87 \text{ kg yem} * \frac{30}{100} * 1,59 \frac{\text{MJ}}{\text{kg}} = 4090,7 \text{ MJ}$$

$$\text{Mısır silajından gelen enerji: } 8575,87 \text{ kg yem} * \frac{30}{100} * 2,33 \frac{\text{MJ}}{\text{kg}} = 5994,55 \text{ MJ}$$

$$\text{Samanda (kuru ot) gelen enerji: } 8575,87 \text{ kg yem} * \frac{40}{100} * 2,77 \frac{\text{MJ}}{\text{kg}} = 9502,06 \text{ MJ}$$

Yemden gelen toplam enerji: 19587,31 MJ

7956,71 kg çiğ süt üretmek için yemden gelen enerji miktarı:

$$19587,31 \text{ MJ} * \frac{1}{7956,71 \text{ kg}} * \frac{1000 \text{ kg}}{1 \text{ ton}} = 2461,74 \text{ MJ/ton}$$

1 kg mazotun spesifik ekserji değeri 42,3 MJ/kg'dır. 7956,71 kg çiğ süt üretimi için 134,46 kg mazot kullanılmaktadır.

7956,71 kg çiğ süt üretmek için mazottan gelen ekserji miktarı:

$$42,3 \frac{\text{MJ}}{\text{kg}} * 134,46 \text{ kg} = 5687,66 \text{ MJ}$$

$$5687,66 \text{ MJ} * \frac{1000 \text{ kg}}{1 \text{ ton}} * \frac{1}{7956,71} = 714,83 \frac{\text{MJ}}{\text{ton}}$$

1kg yemin spesifik ekserji değerleri yonca otu 7,9 MJ/kg , mısır silajı 7,9 MJ/kg ve saman (kuru ot) 7,9 MJ/kgdır.

$$\text{Yonca otundan gelen ekserji: } 8575,87 \text{ kg yem} * \frac{30}{100} * 7,9 \frac{\text{MJ}}{\text{kg}} = 20324,82 \text{ MJ}$$

$$\text{Mısır silajından gelen ekserji: } 8575,87 \text{ kg yem} * \frac{30}{100} * 7,9 \frac{\text{MJ}}{\text{kg}} = 20324,82 \text{ MJ}$$

$$\text{Samanda (kuru ot) gelen ekserji: } 8575,87 \text{ kg yem} * \frac{40}{100} * 7,9 \frac{\text{MJ}}{\text{kg}} = 27099,75 \text{ MJ}$$

Yemden gelen toplam ekserji: 67749,4MJ

7956,71 kg çiğ süt üretmek için yemden gelen ekserji miktarı:

$$67749,4 \text{ MJ} * \frac{1}{7956,71 \text{ kg}} * \frac{1000 \text{ kg}}{1 \text{ ton}} = 8514,75 \text{ MJ/ton}$$

1 kg mazottan gelen spesifik CO_2 miktarı 3.18 g/g'dır.

7956,71 kg çiğ süt üretmek için mazottan gelen CO_2 miktarı:

$$\frac{3180 \text{ g}}{\text{kg}} * 134,46 \text{ kg} = 427582,8 \text{ g} = 427,6 \text{ kg}$$

$$427,6 \text{ kg} * \frac{1000 \text{ kg}}{1 \text{ ton}} * \frac{1}{7956,71 \text{ kg}} = 53,75 \frac{\text{kg}}{\text{ton}}$$

1kg yemin spesifik CO_2 yonca otu 239g/kg , mısır silajı 57 g/kg ve saman (kuru ot) 138 g/kgdır.

$$\text{Yonca otundan gelen } CO_2 : 8575,87 \text{ kg yem} * \frac{30}{100} * 239 \frac{\text{g}}{\text{kg}} = 614889,88 \text{ g}$$

$$\text{Mısır silajından gelen } CO_2 : 8575,87 \text{ kg yem} * \frac{30}{100} * 57 \frac{\text{g}}{\text{kg}} = 146647,4 \text{ g}$$

$$\text{Samanda (kuru ot) gelen } CO_2 : 8575,87 \text{ kg yem} * \frac{40}{100} * 138 \frac{\text{g}}{\text{kg}} = 473388,02 \text{ g}$$

Yemden gelen toplam CO_2 : 1234925,3 g

7956,71 kg çiğ süt üretmek için yemden gelen CO_2 miktarı:

$$1234925,3 \text{ g} * \frac{1}{7956,71 \text{ kg}} * \frac{1000 \text{ kg}}{1 \text{ ton}} * \frac{1 \text{ kg}}{1000 \text{ g}} = 155,21 \text{ kg/ton}$$



Ek C

Süt Tozu Üretim Prosesi Kümülatif Enerji, Ekserji ve CO₂ Hesaplamaları

Makine enerji kullanımı: $54 \frac{Mj}{h} * \frac{h}{10 ton} = 5,4 Mj/ton$

$$5,4 \frac{Mj}{ton} * 7956,71 kg * \frac{1 ton}{1000kg} = 42,97 Mj$$

Klarifikatör prosesinde 7956,71 kg çiğ sütü işlemek için 42,97 Mj elektrik enerjisine ihtiyaç vardır.

Elektirik enerjisinden gelen kümülatif hesaplamalar aşağıdaki gibidir.

$$CEnC = 42,97 Mj * \frac{kWh}{11,93 Mj} * \frac{3,6 Mj}{1 kWh} = 12,97 Mj$$

$$CExC = 42,97 Mj * 4,17 \frac{kJ}{kJ} = 179,18 Mj$$

$$CCO_2E = 42,97 Mj * 0,18 \frac{kg}{Mj} = 7,74 kg$$

Yağ ayırma işlemi için Seperatörün enerji kullanımı: $79,2 \frac{Mj}{h} * \frac{h}{10 ton} = 7,92 Mj/ton$

$$7,92 \frac{Mj}{ton} * 7948,75 kg * \frac{1 ton}{1000kg} = 62,95 Mj$$

Seperatör prosesinde 7948,75 kg çiğ sütü işlemek için 62,95 Mj elektrik enerjisine ihtiyaç vardır.

Elektirik enerjisinden gelen kümülatif hesaplamalar aşağıdaki gibidir.

$$CEnC = 62,95 Mj * \frac{kWh}{11,93 Mj} * \frac{3,6 Mj}{1 kWh} = 19 Mj$$

$$CExC = 62,95 Mj * 4,17 \frac{kJ}{kJ} = 262,5 Mj$$

$$CCO_2E = 62,95 Mj * 0,18 \frac{kg}{Mj} = 11,33 kg$$

7840 kg çiğ sütü pastörize etmek için pastörizatör enerji kaynağı olarak elektririk ve doğalgaz kullanmaktadır. Doğalgaz kullanımı için 800kg buhar/h olan makinenin enerji birimi m^3 birimine çevrilerek kümülatif enerji değerleri hesaplandı.

$$\text{Çiğ süt pastörizasyonu için enerji kullanımı: } 36 \frac{Mj}{h} * \frac{h}{10 \text{ ton}} = 3,6 \frac{Mj}{\text{ton}}$$

$$3,6 \frac{Mj}{\text{ton}} * 7840 \text{ kg} * \frac{1 \text{ ton}}{1000 \text{ kg}} = 28,23 Mj \text{ elektrik enerjisi gereklidir.}$$

Elektrik enerjisinden gelen spesifik enerji, ekserji ve CO_2 değerlerinin hesaplanması:

$$CEnC = 28,23 Mj * \frac{kWh}{11,93 Mj} * \frac{3,6 Mj}{1 kWh} = 8,52 Mj$$

$$CExC = 28,23 Mj * 4,17 \frac{kJ}{kJ} = 117,72 Mj$$

$$CCO_2E = 28,23 Mj * 0,18 \frac{kg}{Mj} = 5,08 kg$$

Doğalgaz kullanımından gelen spesifik enerji, ekserji ve CO_2 değerlerinin hesaplanması:

%100 verimle 800 kg buhar tüketen pastörizatörün %89,7 verimle çalıştığı varsayılmaktadır Küçükçalı, R., (2003).

$$\frac{800 \text{ kg buhar}}{10000 \text{ süt}} * 7840 \text{ kg süt} = 627,2 \text{ kg buhar}$$

$$\frac{1 \text{ m}^3 \text{ doğalgaz}}{8250 \text{ kcal}} * \frac{650 \text{ kcal}}{1 \text{ kg buhar}} * 627,2 \text{ kg buhar} = 49,42 \text{ m}^3$$

$$\frac{49,42}{89,7} * 100 = 55,09 \text{ m}^3$$

$$\text{yoğunluk} * \text{hacim} = \text{kilogram}$$

$$55,09 \text{ m}^3 * 0,75 = 41,32 \text{ kg doğalgaz}$$

$$CEnC = 41,32 \text{ kg} * \frac{55,5 Mj}{kg} = 2293,26 Mj$$

$$CExC = 41,32 \text{ kg} * 51,7 \frac{Mj}{kg} = 2136,24 Mj$$

$$CCO_2E = 2293,26 Mj * 0,05 \frac{kg}{Mj} = 114,66 kg$$

Pastörizasyon için toplam $CEnC = 2301,78 Mj$, $CExC = 2253,96 Mj$ ve $CCO_2E = 119,74 kg$ 'dir.

7840 kg pastörizasyondan çıkan süt süt tozu üretimi için evaporasyonda koyulaştırılır. Evaporatörde enerji kaynağı olarak elektririk ve doğalgaz kullanılmaktadır. Doğalgaz kullanımı için 1000kg buhar/h olan makinenin enerji birimi m^3 birimine çevrilerek kümülatif enerji değerleri hesaplandı.

$$\text{Evaporasyon için enerji kullanımı: } 180 \frac{Mj}{h} * \frac{h}{10 \text{ ton}} = 18 \frac{Mj}{\text{ton}}$$

$$18 \frac{Mj}{\text{ton}} * 7840 \text{ kg} * \frac{1 \text{ ton}}{1000 \text{ kg}} = 141,12 \text{ Mj elektrik enerjisi gereklidir.}$$

Elektrik enerjisinden gelen spesifik enerji, ekserji ve CO_2 değerlerinin hesaplanması:

$$CEnC = 141,12 \text{ Mj} * \frac{kWh}{11.93 \text{ Mj}} * \frac{3,6 \text{ Mj}}{1 kWh} = 42,58 \text{ Mj}$$

$$CExC = 141,12 \text{ Mj} * 4,17 \frac{kJ}{kJ} = 588,47 \text{ Mj}$$

$$CCO_2E = 141,12 \text{ Mj} * 0,18 \frac{kg}{Mj} = 25,40 \text{ kg}$$

Doğalgaz kullanımından gelen spesifik enerji, ekserji ve CO_2 değerlerinin hesaplanması:

%100 verimle 1000 kg buhar tüketen pastörizatörün %89,7 verimle çalıştığı varsayılmaktadır Küçükçalı, R., (2003).

$$\frac{1000 \text{ kg buhar}}{10000 \text{ süt}} * 7840 \text{ kg süt} = 784 \text{ kg buhar}$$

$$\frac{1 \text{ m}^3 \text{doğal gaz}}{8250 \text{ kcal}} * \frac{650 \text{ kcal}}{1 \text{ kg buhar}} * 784 \text{ kg buhar} = 61,77 \text{ m}^3$$

$$\frac{61,77}{89,7} * 100 = 68,86 \text{ m}^3$$

$$\text{yoğunluk} * \text{hacim} = \text{kilogram}$$

$$68,86 \text{ m}^3 * 0,75 = 51,65 \text{ kg doğal gaz}$$

$$CEnC = 51,65 \text{ kg} * \frac{55,5 \text{ Mj}}{kg} = 2866,57 \text{ Mj}$$

$$CExC = 51,65 \text{ kg} * 51,7 \frac{Mj}{kg} = 2670,31 \text{ Mj}$$

$$CCO_2E = 2866,57 \text{ kg} * 0,05 \frac{kg}{Mj} = 143,33 \text{ kg}$$

Evaporatör için toplam $CEnC = 2909,15Mj$, $CExC = 3258,78 Mj$ ve $CCO_2E = 168,73kg$ 'dir.

Homojenizatör işleminde makine enerji kullanımı 194,40 Mj/h olan birim Mj/ton'a çevrilerek kümülatif enerji hesaplaması yapıldı. 2041,67 kg sütü işlemek için gerekli olan enerji kullanımı aşağıdaki gibi hesaplanmıştır. Kümülatif enerji hesaplaması için makinenin enerji kaynağı olarak Şekil 10'da gösterilidği gibi sadece elektrik enerjisinden geldiği kabul edilmiştir.

Homojenizatörün enerji kullanımı: $194,4 \frac{Mj}{h} * \frac{h}{12,5 ton} = 15,55 Mj/ton$

$$15,55 \frac{Mj}{ton} * 2041,67 kg * \frac{1 ton}{1000kg} = 31,75 Mj$$

$$CEnC = 31,75 Mj * \frac{kWh}{11.93 Mj} * \frac{3,6 Mj}{1 kWh} = 9,6 Mj$$

$$CExC = 31,75 Mj * 4,17 \frac{kJ}{kJ} = 132,4 Mj$$

$$CCO_2E = 31,75 Mj * 0,18 \frac{kg}{Mj} = 5,72 kg$$

Püskürtmeli kurutucuda hesaplamalar 1 ton süt tozu üretmek için püskürtmeli kurutucunun enerji kaynağı olarak elektrik ve doğalgaz kullanmaktadır. Makinenin doğalgaz enerji kullanımı $130 m^3$ tür.

Püskürtmeli kurutma için enerji kullanımı: $324 \frac{Mj}{h} * \frac{h}{1 ton} = 324 \frac{Mj}{ton}$

$324 \frac{Mj}{ton} * 1000 kg * \frac{1 ton}{1000kg} = 324 Mj$ elektrik enerjisi gereklidir.

Elektrik enerjisinden gelen spesifik enerji, ekserji ve CO_2 değerlerinin hesaplanması:

$$CEnC = 324 Mj * \frac{kWh}{11.93 Mj} * \frac{3,6 Mj}{1 kWh} = 97,78 Mj$$

$$CExC = 324 Mj * 4,17 \frac{kJ}{kJ} = 1351,1 Mj$$

$$CCO_2E = 324 Mj * 0,18 \frac{kg}{Mj} = 58,4 kg$$

Doğalgaz kullanımından gelen spesifik enerji, ekserji ve CO_2 değerlerinin hesaplanması:

$$yoğunluk * hacim = kilogram$$

$$130m^3 * 0,75 = 97,5 \text{ kg doğal gaz}$$

$$\frac{97,5 \text{ kg doğal gaz}}{1000 \text{ kg süt}} * \frac{1000 \text{ kg süt}}{h} = 97,5 \text{ kg doğal gaz kullanılır.}$$

$$CEnC = 97,5 \text{ kg} * \frac{55,5 \text{ Mj}}{\text{kg}} = 5411,25 \text{ Mj}$$

$$CExC = 97,5 \text{ kg} * 51,7 \frac{\text{Mj}}{\text{kg}} = 5040,75 \text{ Mj}$$

$$CCO_2E = 5411,25 \text{ kg} * 0,05 \frac{\text{kg}}{\text{Mj}} = 270,56 \text{ kg}$$

Püskürtmeli kurutucu için toplam $CEnC = 5509,03 \text{ Mj}$, $CExC = 6391,85 \text{ Mj}$ ve $CCO_2E = 328,96 \text{ kg}$ 'dir.

EK D

Süt Tozu Paketleme Kümülatif Enerji, Ekserji ve CO₂ Hesaplamaları

Tam yağlı süt tozu üretildikten sonra 25 kg'lık kraft torbalarda ambalajlanır. Bu ambalajlama püskürtmeli kurutucu ünitesine bağlı olarak manuel veya otomasyonla paketlenir. Paketleme sırasında makinenin elektrik kullanımından gelen bir enerji kaynağı vardır. paketleme için diğer enerji kullanım kaynakları ambalaj materyalinden kaynaklanan polietilen ve kraft kağıttır. Paketleme ünitesinden elektrik enerjisinden kaynaklanan enerji kullanımı 19,8Mj/h'dir.

Kraft paketleme makine enerji kullanımı: $19,8 \frac{Mj}{h} * \frac{h}{6 ton} = 3,3 \frac{Mj}{ton}$

$3,3 \frac{Mj}{ton} * 1000 kg * \frac{1 ton}{1000kg} = 3,3 Mj$ elektrik enerjisi gereklidir.

Elektrik enerjisinden gelen spesifik enerji, ekserji ve CO₂ değerlerinin hesaplanması:

$$CEnC = 3,3 Mj * \frac{kWh}{11,93 Mj} * \frac{3,6 Mj}{1 kWh} = 0,99 Mj$$

$$CExC = 3,3 Mj * 4,17 \frac{kJ}{kJ} = 13,77 Mj$$

$$CCO_2E = 3,3 Mj * 0,18 \frac{kg}{Mj} = 0,6 kg$$

Kraft 25 kg'lık torbaların 1 tanesinin ağırlığı 60 gramdır. 40 paket için toplam Kraft torba ağırlığı 2,4 kg'dır. 2,4 kg kraft kâğıt üretimi için 0,20 kg Polietilen ve 2,2 kg kağıt kullanılır.

2,4 kg Kraft torba üretmek için polietilenden gelen enerji miktarı:

$$\frac{9,3 Mj}{Kg} * 0,2 kg polietilen = 1,86 Mj$$

2,4 kg Kraft torba üretmek için polietilenden gelen ekserji miktarı:

$$\frac{86,0 Mj}{Kg} * 0,2 kg polietilen = 17,20Mj$$

2,4 kg Kraft torba üretmek için polietilenden gelen CO_2 miktarı:

$$\frac{0,45 \text{ kg}}{\text{kg}} * 0,2 \text{ kg polietilen} = 0,09 \text{ kg}$$

2,4 kg Kraft torba üretmek için kâğıttan gelen enerji miktarı:

$$\frac{17,3 \text{ MJ}}{\text{Kg}} * 2,2 \text{ kg kağıt} = 38,06 \text{ MJ}$$

2,4 kg Kraft torba üretmek için kâğıttan gelen ekserji miktarı:

$$\frac{60,85 \text{ MJ}}{\text{Kg}} * 2,2 \text{ kg kağıt} = 133,87 \text{ MJ}$$

2,4 kg Kraft torba üretmek için kâğıttan gelen CO_2 miktarı:

$$\frac{0,30 \text{ kg}}{\text{kg}} * 2,2 \text{ kg kağıt} = 0,66 \text{ kg}$$