

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

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**ENDÜSTRİYEL MISIR KURUTMA TESİSLERİNDE ENERJİ VE EKSERJİ
ANALİZİ**

Ahmet KAHRAMAN

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**ŞANLIURFA
2018**

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

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**ENDÜSTRİYEL MISIR KURUTMA TESİSLERİNDE ENERJİ VE EKSERJİ
ANALİZİ**

Ahmet KAHRAMAN

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**ŞANLIURFA
2018**

Prof. Dr. Hüsamettin BULUT danışmanlığında, Ahmet KAHRAMAN' ın hazırladığı “Endüstriyel Tip Mısır Kurutma Tesisinin Enerji ve Ekserji Analizi” konulu bu çalışma 10/07/ 2018 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Harran Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı'nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

İmza

Danışman : Prof. Dr. Hüsamettin BULUT

Üye : Doç. Dr. Mehmet Azmi AKTACİR

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Fatih ÜNAL

Bu Tezin Makine Mühendisliği Anabilim Dalında Yapıldığını ve Enstitümüz Kurallarına Göre Düzenlendiğini Onaylarım

Prof. Dr. Halil Murat ALĞIN
Enstitü Müdürü

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

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖZET	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR	iii
ŞEKİLLER DİZİNİ	iv
ÇİZELGELER DİZİNİ	vi
SİMGELER DİZİNİ	vii
1. GİRİŞ	1
1.1. Kurutma	1
1.1.1. Tahıl kurutma	2
1.1.2. Mısır kurutma	3
1.2. Kurutma Metodları	4
1.2.1. Doğal kurutma	4
1.2.2. Teknik kurutma	4
1.3. Mısır Kurutma Yöntemleri	4
1.3.1. Doğal sıcak havalı kurutma sistemleri	5
1.3.2. Düşük sıcak havalı kurutma sistemleri	5
1.3.3. Yüksek sıcak havalı kurutma sistemleri	6
1.4. Kurutma Süreci	7
1.4.1. Sabit oranlı kurutma	9
1.4.2. Azalan Hızda Kurutma	9
1.5. Kurutma Enerji Verimliliği	10
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR	12
3. MATERYAL VE YÖNTEM	18
3.1. Materyal	18
3.1.1. Kurutulacak ürün	18
3.1.2. Deneysel düzenekler	18
3.1.2.1. LNG ve LPG kullanılan yatay tip mısır kurutucu	18
3.1.2.2. Katı yakıt kullanılan yatay tip mısır kurutucu	20
3.1.3. Sistem elemanları	22
3.1.3.1. Delikli yan saclar	22
3.1.3.2. Fan	22
3.1.3.3. Brülör	23
3.1.3.4. Pano	24
3.1.3.5. Sıcak Hava Kazanları	24
3.1.3. Ölçüm cihazları	25
3.1.3.1. Data logger	25
3.1.3.2. Termocupl	26
3.1.3.3. Hava hızı ölçer	26
3.1.3.4. Bağıl nem ölçer	27
3.1.3.5. Mısır nem ölçer	27
3.4. Yöntem	28
3.4.1. Enerji Analizi	28
3.4.2. Ekserji analizi	31
4. ARAŞTIRMA BULGULARI	34
4.1. Ölçüm Bulguları	34
4.1.1. LPG kullanan kurutma tesisin ölçüm bulguları	34
4.1.2. LNG kullanan kurutma tesisin ölçüm bulguları	36
4.1.3. Kaliteli kömür kurutma kullanan tesisin ölçüm bulguları	38
4.1.4. Kalitesiz kömür kullanılan tesis ölçüm bulguları	40
4.2. Analiz Bulguları	42
4.2.1. LPG kullanan tesisin analiz bulguları	42
4.2.2. LNG kullanan tesisin analiz bulguları	45

4.2.3. Kaliteli kömür kullanılan tesisin analiz bulguları	49
4.2.5. Tüm Tesislerin Karşılaştırma Bulguları	55
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	61
5.1. Sonuçlar	61
5.2. Öneriler	64
KAYNAKLAR	66
ÖZGEÇMİŞ	69



ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

ENDÜSTRİYEL MISIR KURUTMA TESİSLERİNDE ENERJİ VE EKSERJİ ANALİZİ

Ahmet KAHRAMAN

Harran Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Hüsamettin BULUT
Yıl: 2018, Sayfa: 69

Bu çalışmada kurutma havasının ısıtılmasında yakıt olarak LNG, LPG ve kömür kullanılan dört farklı mısır kurutma tesisinin enerji, ekserji ve maliyet analizleri yapılmıştır. Kurutma süreçlerinde, yüksek nemdeki mısır, saklama nemi olan % 15 nem içeriğinin altında bir değere indirilmiştir. Kurutma tesisine; sabit hava debisinde farklı koşullarda kurutma havası gönderilerek ürün kurutma işlemi yapılmıştır. Kurutma sürecinde, kurutucularda belirlenen ölçüm noktalarında sıcaklık, bağıl nem ve hava hızı gibi termodinamik özellikler ölçülmüştür. Her kurutma tesisinde 4 adet deneysel ölçüm yapılmıştır. Kurutma tesislerinde kurutma havası giriş koşulları ve yakıtın ısı değeri gibi parametrelerin yakıt sarfiyatı, enerji verimliliği, ekserji verimliliği ve birim kurutma maliyeti üzerindeki etkileri değerlendirilmiştir. Sonuç olarak, giriş havası sıcaklığının artması ısıtıcı verimini ve enerji verimliliğini düşürdüğü, birim kurutma maliyetini ve yakıt sarfiyatını artırdığı tespit edilmiştir. Isıl değeri yüksek yakıt kullanımı yüksek sıcaklıklarda çalışma imkânını sağladığından kurutma süresinin azalmasında etkin rol oynadığı tespit edilmiştir.

ANAHTAR KELİMELER: Kurutma, mısır kurutma, tahıl kurutma, maliyet analizi, enerji ve ekserji analizi

ABSTRACT

MSc Thesis

ENERGY AND EXERGY ANALYSIS IN INDUSTRIAL TYPE CORN DRYING SYSTEM

Ahmet KAHRAMAN

**Harran University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Mechanical Engineering**

**Supervisor: Prof. Dr. Hüsamettin BULUT
Year: 2018, Page: 69**

In this study, energy, exergy and cost analysis of four different industrial type corn drying plants using LNG, LPG and coal as the fuel for the drying air heating were done. During the drying process, corn at high humidity was lowered to below 15% humidity content, which is storage nematode. Drying plant; the drying air was sent to the stationary air flow in different conditions to dry the product. In the drying process, thermodynamic properties such as temperature, relative humidity and air velocity are measured at the effects of the specified points in the dryer. Four experimental measurements were taken at each drying facility. The parameters such as the drying air inlet conditions and the thermal heat value of the fuel on the energy consumption, energy efficiency, the efficiency of the exergy and the unit drying cost are evaluated for each drying facility. As a result, it has been found that increasing inlet air temperature reduces heater efficiency and energy efficiency while it increases the unit drying cost and fuel consumption. It has been also found that high thermal heat of value fuel plays an important role in decreasing drying time as it allows to work at high temperatures.

KEY WORDS: Drying, corn drying, grain drying, cost analysis, energy and exergy analysis

TEŐEKKÖR

Tez konusunun belirlenmesinde, uygulamasında ve çalıőmamda tecrűbesini ve birikimleri ile beni yűnlendiren danıőmanım Sayın Prof. Dr. Hűsamettin BULUT' a ve tez çalıőmamda bana eő danıőman gibi yardımcı olan Sayın Dr. Őđr. Őyesi Fatih ŐNAL' a teőekkűr ederim.



ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa No

Şekil 1.1. Yatay tip mısır kurutucular	6
Şekil 1.2. Dikey tip mısır kurutma makinesi.....	7
Şekil 1.3. Kurutma prosesinde eş zamanlı ısı ve kütle transferinin şeması (Özdeş, 2013).....	8
Şekil 1.4. Higroskobik maddelerin kuruma hızının zamanla değişimi (Yılmaz, 2010).....	9
Şekil 3.1. Tane mısır	18
Şekil 3.2. Yatay tip mısır kurutucu.....	19
Şekil 3.3. Sistemin ölçüm noktaları.....	20
Şekil 3.4. Kömürlü yatay tip mısır kurutucu	21
Şekil 3.5. Sistemin ölçüm noktaları.....	21
Şekil 3.6. Delikli yan saclar	22
Şekil 3.7. Kurutucu fanları	23
Şekil 3.8. Brülörün içten görünümü	23
Şekil 3.9. Sıcak hava kazanları.....	24
Şekil 3.10. 8 kanallı data logger	25
Şekil 3.11. Termocupl ve soketler.....	26
Şekil 3.12. Hava hızı ölçer	26
Şekil 3.13. Bağlı nem ölçer	27
Şekil 3.14. Mısır nem ölçer	27
Şekil 4.1. LPG Kullanan tesisinde hava giriş ve çıkış koşullarının psikrometrik diyagramda görünümü	35
Şekil 4.2. LNG kullanan kurutma tesisinde hava giriş ve çıkış koşullarının psikrometrik diyagramda görünümü	37
Şekil 4.3. Kaliteli kömür kullanılan kurutma tesisinde hava giriş ve çıkış koşullarının psikrometrik diyagramda görünümü.....	39
Şekil 4.4. Kalitesiz kömür kullanılan kurutma tesisinde hava giriş ve çıkış koşullarının psikrometrik diyagramda görünümü.....	41
Şekil 4.5. LPG kullanan kurutma tesisin enerji ve ekserji verimlerinin değişimleri	42
Şekil 4.6. LPG kullanan kurutma tesisin özgül nem alma hızı(SMER) değişimleri	43
Şekil 4.7. LPG kullanan kurutma tesisin nem alma hızı(MER) değişimi.....	43
Şekil 4.8. LPG kullanan kurutma tesisin özgül enerji tüketimi(SEC) değişimi	44
Şekil 4.9. LPG kullanan kurutma tesisin birim kurutma maliyeti(BKM) değişimi	45
Şekil 4.10. LNG kullanan kurutma tesisin enerji ve ekserji verimlerinin değişimleri	45

Şekil 4.11. LNG kullanan kurutma tesisin özgül nem alma hızı(SMER) değişimi	46
Şekil 4.12. LNG kullanan kurutma tesisin nem alma hızı(MER) değişimi	47
Şekil 4.13. LNG kullanan kurutma tesisin özgül enerji tüketimi(SEC) değişimi	47
Şekil 4.14. LNG kullanan kurutma tesisin birim kurutma maliyeti(BKM) değişimi	48
Şekil 4.15. Kaliteli kömür kullanılan kurutma tesisin enerji ve ekserji verimlerinin değişimleri	49
Şekil 4.16. Kaliteli kömür kullanılan kurutma tesisin özgül nem alma hızının(MER) değişimi	49
Şekil 4.17. Kaliteli kömür kullanılan kurutma tesisin nem alma hızının(MER) değişimi	50
Şekil 4.18. Kaliteli kömür kullanılan kurutma tesisin özgül enerji tüketiminin(SEC) değişimi	51
Şekil 4.19. Kaliteli kömür kullanılan kurutma tesisin birim kurutma maliyetinin(BKM) değişimi	51
Şekil 4.20. Kalitesiz kömür kullanılan tesisin enerji ve ekserji değişimleri	52
Şekil 4.21. Kalitesiz kömür kullanılan kurutma tesisin özgül nem alma hızı(SMER) değişimi	53
Şekil 4.22. Kalitesiz kömür kullanılan kurutma tesisin nem alma hızı(MER) değişimi	53
Şekil 4.23. Kalitesiz kömür kullanılan kurutucu tesisin özgül enerji tüketimi(SEC) değişimi	54
Şekil 4.24. Kalitesiz kömür kullanılan tesisin birim kurutma maliyeti(BKM) değişimi	55
Şekil 4.25. Tüm kurutucu tesislerin ısıtıcı verimliliğinin karşılaştırması	55
Şekil 4.26. Tüm tesislerin sistem enerji verimliliğinin karşılaştırması	56
Şekil 4.27. Tüm kurutucu tesislerin ekserji verimliliğinin karşılaştırması	57
Şekil 4.28. Tüm kurutucu tesislerin özgül nem alma hızı(SMER) karşılaştırması	58
Şekil 4.29. Tüm kurutucu tesislerin nem alma hızı(MER) karşılaştırması	59
Şekil 4.30. Tüm kurutucu tesislerin özgül enerji tüketimi(SEC) karşılaştırması	59
Şekil 4.31. Tüm kurutucu tesislerin birim kurutma maliyeti(BKM) karşılaştırma	60

ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa No
Çizelge 4.1. LPG kullanan tesisin ölçüm bulguları	34
Çizelge 4.2. LNG kullanan tesisin ölçüm bulguları	36
Çizelge 4.3. Kaliteli kömür kullanan tesisin ölçüm verileri	38
Çizelge 4.4. Kalitesiz kömür kullanan tesisin ölçüm verileri	40
Çizelge 5.1. Deneysel analiz sonuçları	61
Çizelge 5.2. Kurutucu tesislerin tercih edilebilirlik sıralamaları	62



SİMGELER DİZİNİ

BKM	Birim kurutma maliyeti [TL/kg]
C	Özgül ısı [kJ/kg°C]
C _p	Sabit basınçta özgül ısı [kJ /kg°C]
C _v	Sabit hacimde özgül ısı [kJ /kg°C]
C _{pkh}	Kurutma havanın özgül ısısı
ex	Özgül ekserji (akışkan veya akışkan olmayan) [kJ/kg]
Ex	Ekserji [kJ]
Ex _{koç}	Kurutma odası çıkış ekserjisi [kJ]
Ex _{kog}	Kurutma odası giriş ekserjisi [kJ]
Ex _y	Yok olan ekserji [kJ]
h	Özgül entalpi [kJ /kg]
H	Entalpi [kJ]
Q	Isıl enerji [kJ]
Q _{faydalı}	Isıtıcıdan kazanılan faydalı ısıl enerji [kJ]
Q _{yakıt}	Yakıttan kazanılan ısıl enerji [kJ]
Q _{ko}	Nem alma esnasında kullanılan ısıl enerji [kJ]
Q _{ısıl}	Isıl enerji [kJ]
m	Kütle [kg]
ṁ	Kütleli debi [kg/s]
MER	Nem alma hızı (Moisture Extraction Rate) [kg _{su} /saat]
LNG	Sıvılaştırılmış doğal gaz (liquefied natural gas)
LPG	Sıvılaştırılmış petrol gazı (liquified petroleum gas)
s	Entropi [kJ /kg.K]
SMER	Özgül nem alma hızı (Specific Moisture Extraction Rate) [kg _{su} /kWh]
SEC	Özgül enerji tüketimi (Specific Energy Consumption) [kJ /kg _{su}]
T	Sıcaklık [°C]
TSE	Türk standartları enstitüsü
T _∞	Referans çevre sıcaklığı [°C]
W	Fan gücü
w	Özgül nem [g/kg]
η	Enerji verimi
η _{Ex}	Ekserji verim
η _{ısıtıcı}	Isıtıcı Verimi
η _{sistem}	Sistem verimi

1.GİRİŞ

Sanayileşmenin ve nüfusun ciddi oranlarda artması ile birlikte ülkemizin mevcut enerji talebinin artmasına zemin hazırlamıştır. Bu durum enerji talebinin büyük kısmını ithal eden ülkemizde enerjide dışa bağımlılığını her geçen gün daha da artırmaktadır. Artan talep ile birlikte ciddi boyutlara ulaşan enerji ihtiyacının karşılanması adına ülkemizi radikal adımlar atmaya itmiştir. Bu kapsamda 2007 enerji verimliliği kanunu çıkartılmıştır. Bu kanun çıkarılmasındaki hedef; enerjinin daha aktif harcanması, israf edilen enerjinin en aza indirgenmesi, enerji maliyetlerinin ülke ekonomisine etkisinin azaltmak ve doğal çevrenin tahribinin önüne geçmek için enerji kaynaklarının ve enerjinin kullanımında verimliliğin artırılmasıdır.

Enerjide öz kaynaklarımızın sınırlı olması ve enerji kaynaklarında fiyatların aşırı yükselmesi, ciddi oranda enerji sarfiyatı olan endüstriyel sektörlerde enerji verimliliğini zorunlu hale getirmiştir. Bu sektörlerden biri de ciddi oranda enerji tüketimi olan endüstriyel kurutmadır. Endüstriyel kurutma gelişen sektörlerden biridir. Enerji eldesi için gaz ve sıvı yakıtlar kullanan bu sektörde gaz ve sıvı yakıtların fiyatlarının yükselmesi ile birlikte enerji tasarrufu sağlamak adına kurutucularda sıcak kurutma havası eldesi için katı enerji kaynaklarına dönüşüm sürecine girmişlerdir. Yapılan araştırmalarda endüstriyel kurutucularda geliştirme ve enerjinin verimli kullanılma potansiyelini belirlemede yardımcı olacak herhangi bir çalışmanın olmadığı saptanmıştır. Bu kapsamda endüstriyel yatay tip mısır kurutucuların ısıl ve kurutma performans tespitinin yapılması ve termodinamik parametrelerin sistem üzerindeki etkilerinin irdelenmesi ve uygulamaya yönelik somut önerilerin yapılması için endüstriyel yatay tip mısır kurutucunun enerji, ekserji ve maliyet analizi yapılmıştır.

1.1. Kurutma

Nem içeren ürünlerin barındırdığı sıvı içeriğin üründen tamamen uzaklaştırması veya belirli bir oranın altına indirgenme işlemi kurutma olarak adlandırılır.

1.1.1. Tahıl kurutma

Hasat edilen tahıllar yem, tohum veya yiyecek olarak kullanılacakları amaca bağlı olarak stoklanması yapılmaktadır. Sağlıklı bir depolama işleminin gerçekleşebilmesi tahılların nem içeriğinin belirli bir miktarın altında olması gerekmektedir. Ülkemizde ortalama %25-30 nem içeriğine sahip tahılların hasat işlemi yapılmaktadır ve sağlıklı bir depolama işlemi için %14 nem içeriğinin altındaki bir değere düşürülmelidir. Aksi takdirde sağlıklı depolama işlemi olmaz ve ürünlerde küflenme, bozulma veya böceklenme gibi sıkça karşılaşılan sorunlar ortaya çıkabilir (Anonim).

Geçmişte kurutma işlemi daha çok güneş enerjisinden yararlanılarak yapılmaktaydı. Günümüzde ise güneşte kurutmanın çok sağlıklı olmaması, ürüne havadan, topraktan bazı mikroorganizmaların bulaşması ve küf gelişimi önlenememesi nedeniyle farklı kurutma yöntemleri geliştirilmiştir (Megep, 2012).

Kurutma süreci doğal yöntemler dışında kurutma makinelerinde de yapılabilmektedir. Makine veya doğal yollarla yapılan kurutma her daim özen gerektiren bir süreçtir. Nem içeriğinin belirlenen standartlara indirgenme işlemi sağlanmazsa endüstriyel işletmelerde ve depolamada ciddi sıkıntılar açığa çıkmaktadır. Standartların çok altına yapılan kurutma işlemi üründe ağırlık kaybı oluşmasına neden olur. Standartlara uygun yapılmayan kurutma işlemi kalitesiz ürünün elde edilmesine neden olur (Taşdan, 2005).

Kurutma işlemi ile;

- Materyalden nem uzaklaştırma işlemi neticesinde hacimde azalma olmasından ötürü paketleme, depolama ve taşıma masrafları düşmektedir
- Mikroorganizmaların çalışma koşulları minimize edildiğinden dolayı ürünler daha uzun süre depolanabilir.
- Ürünlerin uzun süre saklanması her mevsim tüketilebilme imkanı sağlar. Bu durum üründen elde edilen kar marjını artırmaktadır (Megep, 2012).

1.1.2. Mısır kurutma

Gıda ihtiyacının karşılanmasında kullanılan tahıllardan önemli alanlarından biride mısırdır. Hasatta yüksek nem içeriğine sahip olan mısırın depolanması için kritik nem eşiğinin altında değerlere kurutulması gerekmektedir. Bu durum mısırın hasattan sonra kurutma işleminin birincil sorunu konumuna taşımaktadır.

Mısırın hasat işleminden sonra uzun süre bozulmadan veya küflenmeden depolanabilmesi için kurutma işlemine tabi tutulması gerekmektedir. Hasat sırasın nem içeriği %24-25 olan ürün, 6 aydan daha kısa süreli için yapılacak olan depolama işlemi için % 15 nem içeriğine kadar kurutulmalıdır. Daha uzun vadeli yapılması planlanan depolama işlemleri için ise; nem içeriğinin %14 veya altındaki bir nem içeriğine kurutma işlemi yapılması gereklidir (Anonim).

TSE tarafından TS 3415'nolu "standart mısırın tanımı" adı altında yayımlanan, mısırın sınıflandırılması, ambalajlanması vb. temel konuları hakkındaki temel standartları kapsamaktadır. Mısır için belirlenen standart özellikler aşağıda ifade edilmiştir (TSE, 1979) :

- Kendine özgü koku, tat ve renkte olmalı, yabancı tat ve koku, özellikle kızışma ve küf kokusu olmamalı,
- İçerisinde canlı mikroorganizma ve böcek bulunmamalı,
- Yaş ve % 15'den fazla nem içeriğine sahip olmamalıdır.

Piyasada yapılan alım-satım işlemlerinde TSE tarafından belirlenen nem içeriği oranları dikkate alınmaktadır. Nem içeriği TSE tarafından belirlenen standart özellikler arasından sıyrılarak piyasalardaki en önemli ve neredeyse dikkate alınan yegane parametre olmuştur. Dolayısıyla mısır kurutma için hasat ve depolanma koşullarının belirlenmesinde en etkin parametre nem içeriğidir.

1.2. Kurutma Metodları

Kurutma işleminde kullanılan ısı enerjisinin farklı kaynaklardan elde edilmesi, çeşitli kurutma yöntemlerinin uygulanmasına zemin hazırlamıştır. Bu yöntemler genel olarak doğal (güneşte) ve teknik (yapay) kurutma adı altında iki grupta incelenir (Aktacir, 1998; Kantay, 1985).

1.2.1. Doğal kurutma

Ürünlerin kurutulmasında güneş enerjisi ve rüzgar enerjisinin direkt kullanıldığı ve çevre havasına açık ortamda gerçekleştirilen kurutma yöntemidir. İlk çağlardan beri insanlık tarafından uygulanan bir yöntemdir. Çevre koşullarının sürekli değişimi, güneş ışınlarının ve rüzgarın homojen olarak ürüne sirayet edememesinden dolayı sağlıklı bir kurutma işlemi gerçekleşmez. Hava kirliliği, yağmur , rüzgar vb. çevre koşullarının etkileri ürünü olumsuz etkilemektedir. Yılın her döneminde çevre ortamında kurutma yapılamaması zaman açısından sorun oluşturmaktadır (Aktacir, 1998).

1.2.2. Teknik kurutma

Kurutma koşullarının kontrol altına alınarak arzu edilen ortamda yapılan kurutma işlemidir. Kurutma koşullarının belirlenmesinde göz önünde bulundurulan temel iki parametre olan ürün özellikleri ve ürün kurutma kalitesidir. Teknik kurutma 100°C'nin altından ve 100°C'nin üstünde sıcaklık değerine sahip ortamlarda yapılan kurutma olmak üzere iki grupta incelenmektedir. Genel olarak 100°C'nin altında kurutma işlemleri daha yaygın olarak yapılmaktadır (Aktacir, 1998).

1.3. Mısır Kurutma Yöntemleri

Mısır kurutma sistemlerinde genellikle kullanılan hava sıcaklığına göre aşağıdaki gibi sınıflandırılmıştır (Yürekdelen, 2012);

- Doğal sıcak havalı kurutma sistemleri
- Düşük sıcak havalı kurutma sistemleri
- Yüksek sıcak havalı kurutma sistemleri
- Kombine kurutma sistemleri

1.3.1. Doğal sıcak havalı kurutma sistemleri

Ürün kurutma işleminde çevre havasının herhangi bir ısıtma işlemine tabi tutulmadan taze havanın ürün üzerinden geçirilerek yapılan kurutma işlemidir. Çevreden ürüne ısı transferinin gerçekleşebilmesi ve üründen nemin çevre ortamına geçişi için çevre havasının nem içeriğinin düşük ve çevre sıcaklığının ürün sıcaklığında yüksek olması gerekmektedir. Bunun yanı sıra çevre ortamına nem tahliyesi için ürün nem içeriğinin çevre nem içeriğinden yüksek olması gerekmektedir. Bu tür kurutma işleminde havanın ürüne gönderimi fan yarımıyla yapılmaktadır. Yapılan çalışmalarda fanların ortam havasını yönlendirme işlemi sırasında hava sıcaklığını 1-2°C kadar artıdığından dolayı kurutma işlemine pozitif katkı sağlamaktadır (Baş,2010; Yürekdelen,2012).

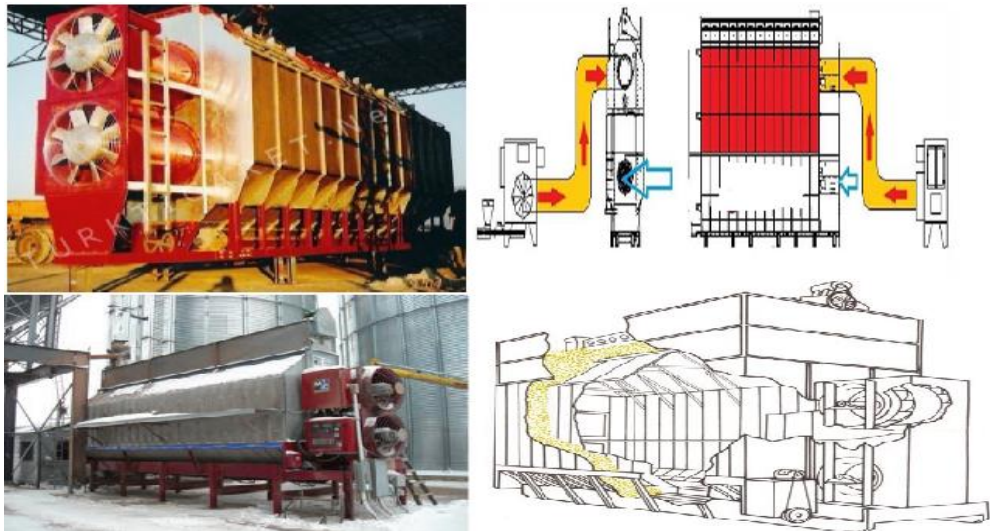
1.3.2. Düşük sıcak havalı kurutma sistemleri

Çevre havasının kurutma kapasitesini yükseltmek amacıyla ısıtılması ile 2-10°C arasındaki değerlere çıkarılarak kurutma yapılan sistemlerdir. Isıtma işlemi sonrası kurutma havanın bağıl nemi bu duruma bağlı olarak düşmektedir. Kurutma havasının bağıl neminin düşmesi havanın nem taşıma kapasitesini artırmaktadır. Dolayısıyla denge nemine düşme süreci daha kolay olduğundan kurutucunun kurutma potansiyeli artmıştır. Doğal kurutucu sistemlerdeki fanlara ısıtıcı takviyesi edilmesi ile meydana gelir. Nem içeriği normal seviyelerde iken doğal kurutucu görevi yapan bu sistemler nem içeriğinin artması ile ısıtıcıları devreye girmesi ile kurutma kapasitesini artırır. Çevre havasına tamamen bağlı olmaması bu sistemlerin daha avantajlı ve daha ekonomik olmasını sağlamaktadır (Baş, 2010; Yürekdelen, 2012).

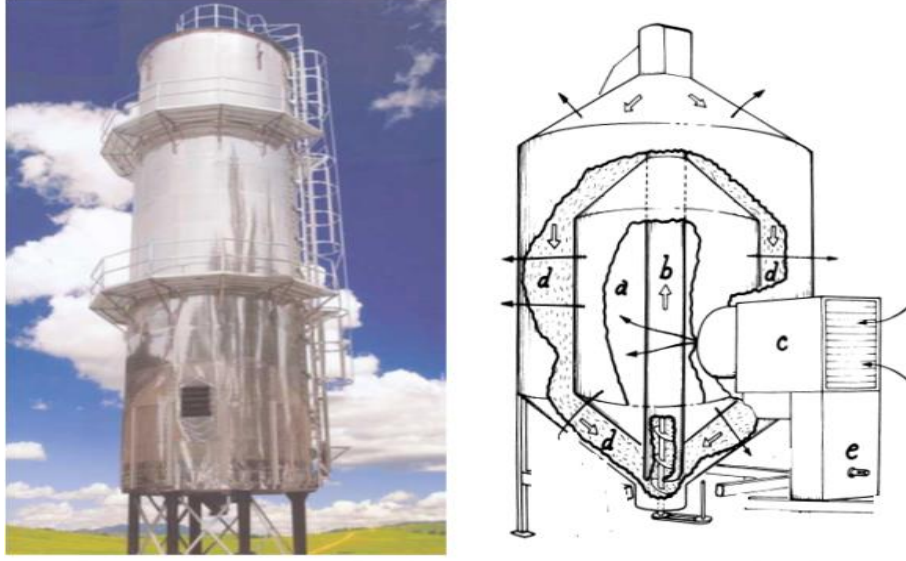
1.3.3. Yüksek sıcak havalı kurutma sistemleri

Kurutma havasının 10-80°C arasındaki değerlere veya 80°C üstü sıcaklık değerlerine ısıtılması ile kurutma yapılan sistemlerdir. Kurutulacak ürünün hareketli ve hareketsiz yataklarda kurutma işlemine tabi tutulmasına göre iki farklı grupta ayrılmaktadır. Şekil 1.1’de gösterilen dikey konumlandırılmış olan silo tipi kurutucularda sabit yatakta ürün kurutma işlemi yapılmaktadır. Şekil 1.2’de gösterilen yatay tip kurutucularda hareketli ürün kurutma işlemi yapılmaktadır. Ürün ve kurutma havasının akış konumlarına göre paralel akışlı, karşıt akışlı ve çapraz akışlı kurutucu çeşitleri bulunmaktadır. Bu tipteki kurutma sistemlerinin avantajları; ürünün kurutulma hızı yüksek, kurutma potansiyeli daha fazla, çevre havasının koşullarından bağımsız olmamasıdır. Sistem dezavantajları ise ilk yatırım maliyetinin yüksek olması, bakım masraflarının fazla olması ve işletme maliyetlerin yüksek olması ve yüksek sıcaklıkta çalışmanın getirdiği güçlüklerdir (Yürekdelen, 2012).

Şekil 1.1 ‘de gösterilen yatay tip mısır kurutucular, Şekil 1.2 ‘de dikey tip kurutuculara nazaran daha çok tercih edilmektedir. Yatay tip kurutucularda kömür, LPG, LNG gibi yakıtlar kullanılmaktadır.



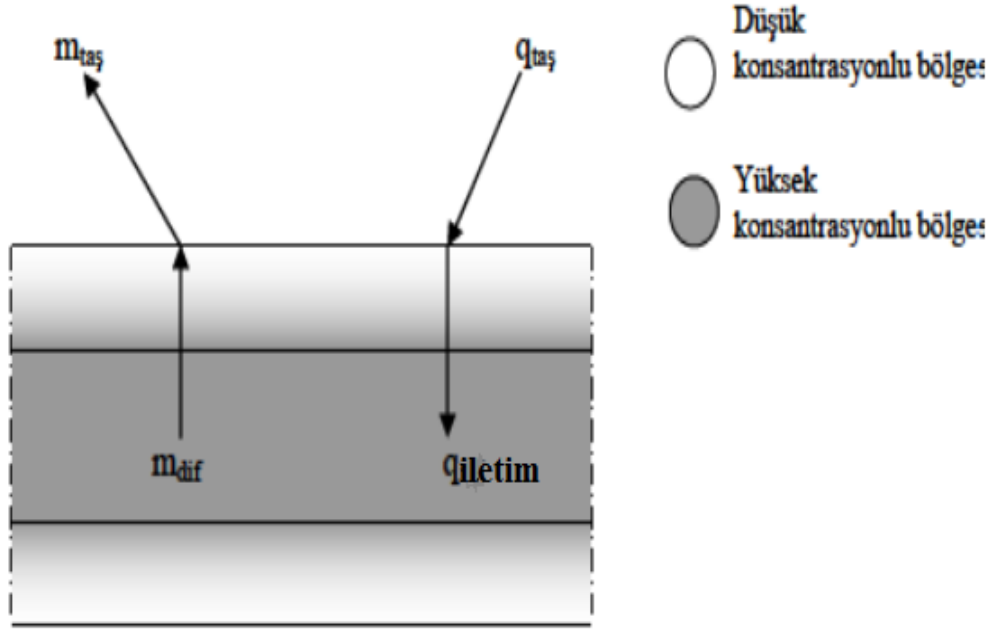
Şekil 1.1. Yatay tip mısır kurutucular



Şekil 1.2. Dikey tip mısır kurutma makinesi

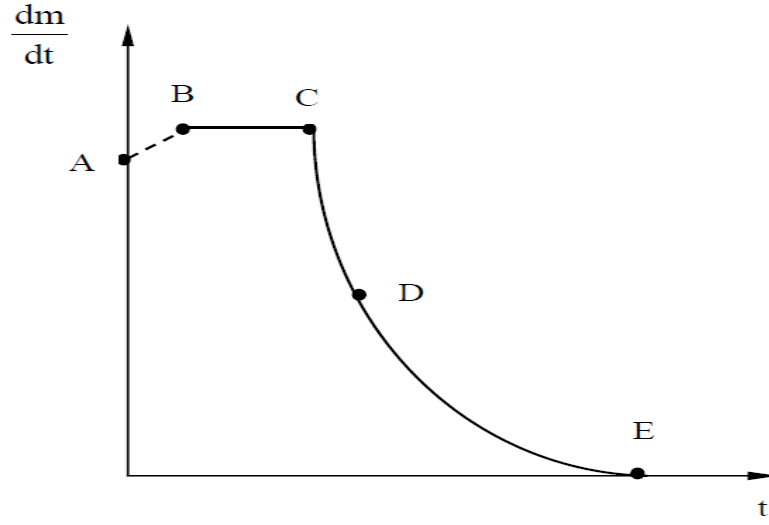
1.4. Kurutma Süreci

Isıl enerjinin transferine bağlı kütle transferi gerçekleşmesi işlemi kurutma olarak adlandırılır. Şekil 1.3'te kurutma prosesinde ısı transferine paralel olarak gerçekleşen kütle transferi işleminin akışı gösterilmektedir. Isı transferi materyalin yüzeyinde kurutma havasının teması neticesinde taşınım ile meydana gelirken (qtaş), materyalin iç tarafında ısı iletimi (qiletim) ile geçiş yapar. Nem transferi bu işlemin tam tersi olarak gerçekleşir. Nem iç taraftan materyalin yüzeyine difüzyonla (mdif), materyal yüzeyinden kurutma havası ile taşınım (mtaş) transfer olur (Kaya, 2008; Özdeş, 2013).



Şekil 1.3. Kurutma prosesinde eş zamanlı ısı ve kütle transferinin şeması (Özdeş, 2013)

Kurutma süreci bir birini takip eden iki aşamadan meydana gelir. Birinci aşama sabit hızlı kurutma, ikinci aşama ise azalan hızda kurutma olarak adlandırılır. Bu iki aşama Şekil 1.4'te açıkça gösterilmiştir. Birinci aşamada zamanla sabit hızda nem oranında değişim gerçekleşirken, ikinci aşamada ise ürün iç kısmına sıcaklığın sirayeti daha geç olduğundan nem uzaklaştırma işlemi zamanla azalan hız periyodunda gerçekleşir. Birinci aşamada tanenin yüzeyinde ve yüzeye yakın kısımlarda bulunan nemin buharlaşması ile gerçekleşir. İkinci kademe de ise cismin iç kısımlarda barındırdığı nemin uzaklaştırma işlemi başlar ve nem kaybı zamanla azalan hız periyodunda devam eder.



Şekil 1.4. Higroskopik maddelerin kuruma hızının zamanla değişimi (Yılmaz, 2010)

1.4.1. Sabit oranlı kurutma

Materyalin yüzeyinde ve yüzeye yakın kısımda yer alan nem kütlesinin kurutma havası ile gerçekleşen ısı taşınımı vasıtasıyla sabit oranda buharlaşarak kurutma havası ile beraber dışarı atıldığı evre sabit oranlı kurutma evresi olarak adlandırılır. Sabit oranlı kurutma evresi yüzey nem içeriğinin tamamen tahliye edilmesi ile sınırlıdır. Bu kuruma süreci ürün yüzeyin nem içeri bakımından doymuşluk derecesinin indirgenmesine bağlı olarak gerçekleşir. Materyalde gerçekleşen kütle transfer alanı ısı enerjisinin transfer olduğu alan ile sınırlıdır. Nemin buharlaşması ile gerçekleşen kütle transferi ile kurutma havasından ürüne geçen ısı enerjisi arasında bir denge vardır. Bu durumdan kurutma hızının göstergesinin ısı enerjisi transferi olduğu söylenebilir (Aktacir, 1998).

1.4.2. Azalan Hızda Kurutma

Materyal yüzeyindeki nem tahliye işlemi bitmesi ile birlikte iç kısımlardaki nem tahliyesinin gerçekleştiği evre azalan hızda kuruma süreci olarak adlandırılır. Tahliye edilecek nem içeriğinin iç kısımlara doğru ilerlemesine bağlı olarak nem tahliye

işleminin hızı azalan periyotta ilerlemektedir. Kurutma sürecinin ilerleyen safhalarında materyalin yüzeyinde kuru bölgenin olduğu ana kadar geçen süreye “Kritik nem miktarına ulaşma zamanı” bu zamanda materyalin nem içeriğinin materyalin kuru kütlesine oranına “Kritik nem oranı” olarak adlandırılmaktadır (Yılmaz, 2010).

1.5. Kurutma Enerji Verimliliği

Türkiye’de nüfusun artması ve hızla gelişen sanayileşme enerji talebini ciddi oranlarda artırmaktadır. Mevcut durumda yaklaşık %70 civarında enerji ithal eden ülke konumunda olan ülkemizde bu durum enerji tasarrufunu zorunlu hale getirmektedir. Bu durumda alternatif enerji kaynaklarına yönelme ve mevcut sistemlerde enerji etüdü yapılarak enerji tasarrufuna yönelik çalışmalar yapılmaktadır. Bu kapsamda enerji, ekserji ve maliyet analizleri yapılarak sistemlerin performans analizi yapılmaktadır. Yapılan değerlendirmeler neticesinde sisteme yapılacak iyileştirme adımları tespit edilerek enerji tasarrufuna yönelik iyileştirmeler yapılmaktadır.

Güneydoğu Anadolu bölgesinde sulu tarıma geçilmesiyle birlikte bölgede 2. ürün olarak mısır ekimi yapılmaya başlanmıştır. Genellikle yem olarak kullanılan mısır çeşitlerin ekimi bölgede yapılmaktadır. Artan üretim beraberinde depolama ve kurutma ihtiyacı oluşturmuştur .İhtiyacın karşılanması için bölgede bir çok mısır kurutma fabrikası kurulmuştur.

Kurutma işleminin yapıldığı endüstriyel mısır kurutma tesislerinde önemli miktarda enerji harcanmaktadır. Bu tesislerde enerji eldesi için LPG, LNG ve kömür gibi yakıtlar kullanılmaktadır. Son yıllarda artan enerji ihtiyacı, ülkemizin gaz yakıt ithal eden ülke konumunda olması ve gaz yakıtların döviz kuruna bağlı olarak fiyatlarındaki anormal artışlardan dolayı bölgemizde birçok kurutma tesisi daha ekonomik kömürlü yakıt kullanılan kurutma sistemine yönelmektedirler. Sistemlerdeki bu dönüşüm enerji maliyetinin azaltılmasına yönelik yapılmaktadır.

Endüstriye kurutma gelişen bir sektördür. Güneydoğu Anadolu bölgesinde son yıllarda endüstriyel mısır kurutma tesisleri yaygın olarak kullanılmaktadır. Literatürde yapılan araştırmalarda mısır kurutma tesislerinde çok değerli çalışmalar yapılmış olmasına rağmen endüstriyel kurutma tesisin enerji ve ekserji analizi yapılan herhangi bir çalışmanın olmadığı tespit edilmiştir. Bu çalışmaya ile endüstriyel yatay tip mısır kurutucuların performans tespit yapılması için termodinamik parametrelerin sistem üzerindeki etkilerinin irdelenmesi ve uygulamaya yönelik somut adımların belirlenmesi amaçlanmıştır. Çalışma ile atılacak adımlar neticesinde enerji maliyetinde meydana gelecek azalma ekonomiye katkı sağlayacaktır.

Bu kapsamda yapılan dönüşümlerin enerji verimliliği ve enerji maliyeti açısından irdelenmek, mevcut sistemlerde enerji verimliliğini artırma ve enerji maliyetini azaltma adına yapılabilecek iyileştirme noktalarının belirlenmesi amacıyla farklı yakıt kullanan 4 tane mısır kurutma tesisinin enerji, ekserji ve maliyet analizleri yapılarak termodinamik parametrelerin yakıt sarfiyatı, enerji verimliliği, ekserji verimliliği ve birim kurutma maliyeti üzerindeki etkileri araştırılmıştır.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Literatürde değişik kurutma sistemleri ve farklı ürünlerin kurutulması ile ilgili değerli çok çalışma bulunmaktadır. Bu kısımda sadece konu ile ilgili çalışmalara yer verilmiştir

Midilli ve Küçük (2001), kabuklu ve kabuksuz Antep fıstıklarının kurutma işleminin gerçekleştirilmesi için tasarladıkları güneş enerjili kurutma prosesinde yapılan kurutma işleminin enerji ve ekserji analizini yapmışlardır. Kullanılan enerjinin tespiti ve güneş kolektörlerinden elde edilen enerjinin belirlenmesi için termodinamiğin 1. kanunundan yararlanmışlardır. Kurutma prosesi boyunca ekserji kayıplarının değişiminin tespiti için 1. kanun tek başına yetersiz olduğundan termodinamiğin 2. kanunu kullanılmıştır.

Syahrul ve ark. (2003), akışkan yataklı kurutucuda yapılacak kurutma işlemlerinin termodinamik analizini ve bu analizin modellemesini oluşturmuştur. Modellemenin ile deneysel analizin birbiri ile olan uyumunu irdelemek maksadı ile buğday ve mısır için kurutma verilerini incelemişlerdir. Deneyin ilk dakikalarında enerji ve ekserji verimlilikleri daha yüksek değerlerde seyrederken belirli bir süre sonra verimliliğin azaldığı ve ekserji verimliliğinin enerji verimliliğine göre daha düşük değerlerde seyrettiği tespit edilmiştir. Deneysel çalışmalarda kurutulan ürünler için değişen sıcaklık, hava hızı, nem içeriği gibi termodinamik özelliklerin kurutma sürecine olan etkileri irdelenmiştir. Sonuç olarak mısırın sadece sıcaklığın etkisi altında olmadığı ayrıca nem içeriğine de bağlı olduğu neticesine ulaşmışlardır..

Akpınar ve ark. (2004), dilimlenmiş kırmızı biberler ve çilek numunelerini tepsili tip bir kurutucuda kurutma işlemini yapmışlardır. Yapılan kurutma işleminin ayrı ayrı enerji ve ekserji analizini yapmışlardır. Analiz neticesinde kurutma prosesinde zamana bağlı olarak ekserjide meydana gelen değişimleri incelemişlerdir. Kurutma prosesinin ekserji verimliliklerini ve kurutma odasında meydana gelen kayıpları tespitini yapmışlardır.

Dinçer ve Şahin (2004), kurutma işlemlerinin ekserji verimliliğinin tespiti için kullanılacak bir yeni model oluşturmuşlardır. Bu model üzerinde kurutulan ürünün termodinamik özelliklerinin verimliliğe olan etkileri irdelenmiştir. Modelin uygunluğunun tespiti için örnek bir kurutma işlemi yapılmıştır. Yapılan çalışma neticesinde yeni modelin uyumluluğunun yüksek oldu sonucuna ulaşılmıştır.

Kuzgunkaya ve Hepbaslı (2007), tepsili bir kurutma prosesinde toprak kaynaklı bir ısı pompası ile üretilen kurutma havası, defne yaprağını kurutma işleminde kullanılmıştır. Bu çalışmanın neticesinde kurutma işleminde kullanılan ısı pompası ünitesinin ekserji verimliliği %21.1 , toprak kaynaklı ısı pompasının verimliliği %20.5 ve tüm kurutma sistemin için hesaplanan verimin %15.5 olduğu tespit edilmiştir

İzli (2007), mısırın sıcak hava akımıyla kurutulmasında kurutma parametreleri belirlenmiştir. Bu amaçla 700 kg kapasiteli sıcak havayla kurutma düzeneği tasarlanıp imal etmiştir. Denemeleri bu düzende gerçekleştirilmiştir. Denemeleri 1 m/s sabit çıkış hızında, 45 °C, 55 °C, 65 °C, 75 °C ve atmosfer sıcaklıklarında olmak üzere beş farklı sıcaklık değerinde, %16.4 nemden mısır için güvenli depolama nemi olan %10 nem değerine ininceye kadar yapmıştır. Karıştırıcı ve karıştırıcı olmayan olarak beş farklı sıcaklık değerinde gerçekleştirilen denemelerde kurutma hızı, çimlenme hızı, çimlenme gücü, enerji tüketimi, kurutma özellikleri ve maliyet gibi parametreleri belirlemiştir.

Karagüzel ve ark. (2009), akışkan yataklı bir kurutucuda fasulye ve nohut kurutma işlemi yapmışlardır. Yapılan işlemin havanın giriş ve çıkış koşulları ölçüm verilerinin kayıt etmişlerdir. Kurutma prosesine her iki ürün içinde üç farklı kurutma hava sıcaklıklarında ve iki farklı hava debisinde kurutma havası gönderilerek yapılmıştır. Elde edilen veriler kullanılarak sistemin enerji ve ekserji analizi yapılmıştır. Analizler neticesinde ekserji verimliliğini etkileyen parametrelerin tespiti yapılmıştır.

Baş (2010), Sakarya bölgesinde yaptığı çalışmada mısırın doğal ortamda ve kurutma makinesinde kurutma süreçlerini incelemiştir. Koçan ve tane olarak çeşitli

yöntemlerle doğal ortamda ve kurutma makinesinde kurutma işlemi yapmıştır. Makinede kurutma, kuruma süresi bakımından büyük bir avantaj sağlarken, çiftçiye maddi olarak bir dezavantajı olduğu sonucuna varmıştır. Sakarya yöresinde doğal kurutma, basit ve maliyeti düşük olması büyük bir avantaj sağladığını tespit etmiştir. Doğal ortamda güneş altında kurutma, kuruma esnasında çevre şartlarından dolayı mısırdaki tane kayıplarına rastlanmıştır. Sonuç olarak kurutma süreleri ve çevresel dış faktörler göz önüne alındığında mısırın mısır kurutma makinasında kurutulmasını önermiştir.

Yılmaz (2010), tek tabaka mısır kurutma deneyleri üç aşamada gerçekleşmiştir. Birinci aşamada; tek tabaka mısır numuneleri sürekli olarak 40 °C, 45 °C, 50 °C, 55 °C, 60 °C, 65 °C ve 70 °C sıcaklık değerleri ve 2 m/s hava hızında kurutulmuştur. İkinci aşamada; tek tabaka mısır numuneleri 30 dakika kurutma sürecinden sonra, 30' ar dakika dinlendirilmiştir. Bu süreç arzu edilen nem oranına düşürülünceye kadar devam etmiştir. Üçüncü aşamada; mısır numuneleri 30'ar dakika kurutma işleminden sonra, 60'ar dakika dinlendirme periyotlarına alınmıştır. Mısırın içindeki nemin yüzeye gelmesi için kurutma esnasında ara bir yerde kurutma işlemi durdurup, nemin yüzeye gelmesini bekleyerek daha sonra kurutma işlemi devam ettirmenin, kurutmada bir enerji tasarrufu sağladığını belirlemiştir. Kurutma zamanı açısından incelendiğinde kurutma zamanının kurutma şekline göre sıcaklıkla doğru orantılı olarak değiştiği tespit edilmiştir.

Prommas ve ark. (2010), akışkana yataklı bir kurutucu tasarlamışlardır. Tasarladıkları bu sistemde kurutma odasındaki enerji kayıpları azaltıp ısı transferini artırmak amacıyla kurutma odasına çok katmanlı ve gözenekli yataklar yerleştirilerek sistemin ekserji analizi yapmışlardır. Analiz neticesinde sistemin performans değerlendirilmesi yapılmıştır. Yapılan analiz sonucunda 1 saat sonunda F-C katmanlı yatak malzemesinin C-F katmanlı yatak malzemesinden %10 daha fazla verim elde edilmiştir. F-C malzemesi akış en başta kılcal basınca maruz kaldığından dolayı C-F malzemesine göre daha yüksek verim elde edilmiştir.

Boulemtafes-Boukadoum ve Benzaoui (2011), güneş ısıtıcısı ile elde edilen ısı enerjisinin kurutucu tasarlamışlardır. Tasarlanan kurutucuda nane kurutma işleminden elde edilen deneysel veriler kullanılarak sistemin enerji ve ekserji analizinin yapılmıştır. Güneş ısıtıcısı ile sisteme alınan enerjinin gün içinde güneşin konumunun değişiminden dolayı değişiklik gösterdiği belirlenmiştir. Yapılan enerji ve ekserji analizinin sonucunda gün içerisindeki sistemin enerji verimliliği en düşük %10 en yüksek %30 seviyelerinde olduğu tespit edilmiştir.

Akan (2012), endüstride kullanılan ve basınçlı sıcak hava ile çalışan iplik bobini kurutma sisteminin bir prototipi kullandığı çalışmada, sistemin kurutma prosesinin enerji ve ekserji analizini yapmıştır. Çalışmada 3 farklı sıcaklık (80 °C, 90 °C, 100 °C) ve basınç (1 bar, 2 bar, 3 bar) verileri kullanılarak kurutma işleminin en kısa zamanda yapıldığı, ekserji ve enerji verimlerinin en iyi olduğu çalışma koşulu $P_{ef} = 1 \text{ bar}$, $T = 100 \text{ °C}$ olarak tespit edilmiştir.

Erbay ve Hepbaşı (2013), kurutma havasının temininde toprak kaynaklı ısı pompası kullanılan bir kurutucuda kurutma işlemleri yapmışlardır. Sistemdeki her eleman için ayrı ayrı analiz yapmışlardır. Yapılan analiz neticesinde ekserji kayıplarının fazla olduğu kondenser, evaporatör ve kompresör gibi sistem elemanlarına yapılacak modifiye işlemleri ile ekserji ve enerji verimliliğinde meydana gelen değişimi incelenmiştir. Gerçekleştirilen iyileştirme sonucunda enerji ve ekserji verimliliğinin sırayla %77.05 ve %93.5 gibi değerlere çıktığını tespit etmişlerdir.

Özdeş (2013), çalışmada elma, domates ve brokoli ürünlerini 5, 10, 15 kg ve 0.5, 1.0, 1.5 m/s hava hızında 318, 323, 328 K hava sıcaklıklarında olmak üzere 3 farklı deney şartlarında kurutma davranışlarının ekserji analizini yaparak ekserjitik verimlerine göre irdelemiştir. Tüm ürünler için en verimli değerler 0.5 m/s hava hızı ve 318 K hava sıcaklığında 15 kg ürün ile meydana gelirken, en verimsiz değerlere 1.5 m/s hava hızında ve 328 K hava sıcaklığında sisteme 5 kg ürün gönderildiğinde elde edildiğini tespit etmiştir. Ürünlerin sisteme gönderilen kg miktarları arttıkça ekserji veriminin arttığını tespit etmiştir. Sisteme gönderilen hava hız ve sıcaklığının en düşük olduğu proseste tüm ürünler için en verimli değerlerin elde edildiğini tespit etmiştir.

Sisteme gönderilen hava hız ve sıcaklığının yükselmesi kurutma sisteminin ekserji verimlerini olumsuz etkilediğini belirlemiştir. En yüksek ekserji verimi domates ürününün kurutulmasında meydana gelirken, en düşük ekserji verimi ise elma ürününün kurutulmasında meydana geldiğini belirlemiştir.

Yürekdelen (2012), bilgisayar ortamında yatay tip mısır kurutma makinesi tasarımı yapılmış ve mevcut ekipmanlara iyileştirmeler yaparak özgün bir sistem önermiştir. Bu sayede kurutma karakteristiği en iyi olacak biçimde kurutma parametreleri optimize edilerek ürün tasarımına hızlıca yansıtılmıştır. Bu durum emsallerine göre daha düşük kurutma maliyetine sahip olmasını sağlamıştır. Atık ısının geri besleme ile sisteme kazandırılması, akış yönlendirme kanatçıkları ve ürün karıştırıcısı gibi sisteme yapılan iyileştirmelerle %65 civarında yakıt tasarrufu sağlamıştır.

Şevik ve ark. (2014), tasarlayıp ve imal ettikleri küçük ölçekli bir sera tipi kurutucuda Sistem verimi kırmızı biber kurutularak deneysel olarak irdelemiştir. Kırmızı biberler 11.5 g su/g kuru madde başlangıç nem miktarından son nem miktarına kadar farklı hava sıcaklıklarında kurutma işlemine tabi tutulmuştur. Kurutucu içerisindeki hava hızının ortalama 0.34 m/s olduğu tespit edilmiştir. Deneysel sonuçlarına göre zorlanmış taşınımlı sera tipi kurutucunun verimi yapılan ekserji analizi sonucunda %23-27 arasında hesaplanmıştır. Yapılan eksergoekonomik analiz sonucunda sistemin yıl içinde 120 gün tam verimli kullanılması halinde geri ödeme süresi 4.5 yıl olarak hesaplanmıştır. Kurutucunun faydalı ömrü ise 15 yıl olarak belirlenmiştir.

Rabha ve ark. (2017), sıcak hava üreten güneş kollektörü ile desteklenmiş tünel tip kurutucu tasarlayıp imal etmişlerdir. Bu sistemde acı biber ve zencefil kurutma işlemi yapılmıştır. Kurutma işlemi 33 ve 42 saatlik periyotlarda 37-57 °C ve 42-61 °C sıcaklık aralıklarında yapılmıştır. Sistemde bulunan iki kollektörleri art arda bağlanmıştır. Yapılan analiz neticesinde kollektörlerin verimleri sıra ile %22.1-40.24 ve %9.64-19.50 olarak hesaplanmıştır. Enerji verimliliği ise ortama olarak %22.95-23.3 arasında değerlerde olduğu tespit edilmiştir. Biber ve zencefil için özgül enerji

tüketim değerleri sırasıyla 18.72 kWh/kg ve 8.82 kWh/kg olarak hesaplanmıştır. Biber ve zencefil kurutma işlemi için ekserji verimliliği ortama olarak sırayla %63 ve %47 olarak hesaplanmıştır.

Yahya ve ark. (2017), biokütle enerjisinin kullanıldığı fırın ve bu sisteme entegre edilmiş güneş kollektöründen oluşan bir akışkan yataklı hibrit kurutucu tasarlanıp imal etmişler. Bu kurutucuda 61 °C ve 78 °C kurutma havası sıcaklığında çeltik kurutma işlemi yapılmıştır. Nem içeriği %14 ve altında değere indirgenmiştir. Bu sisteminde performans değerlendirmesi yapılması amacı ile enerji ve ekserji analizi yapılmıştır. Analiz neticesinde sistemin enerji verimi, ekserji verimi ve özgül enerji tüketim değerleri hesaplanmıştır. Sonuç olarak hibrit sistemin özgül enerji tüketiminin hibrit olmayan kurutuculara nazaran daha düşük olduğu tespit edilmiştir.

Yapılan literatürde araştırmasında endüstriyel tip kurutma tesisinde enerji ve ekserji analizi ile ilgili herhangi bir çalışmaya rastlanmıştır. Bu çalışmanın endüstriyel kurutma tesisinde ilk defa yapılacak olması, çalışmayı diğer çalışmalardan ayırmaktadır. Endüstriyel yatay tip mısır kurutucunun performans sonuçları tespit edilmiştir. Uygulamaya yönelik somut öneriler ortaya konmuştur. Çalışma ile atılacak adımlar neticesinde enerji maliyetinde meydana gelecek azalma ekonomiye katkı sağlayacaktır.

3.MATERYAL ve YÖNTEM

3.1. Materyal

3.1.1. Kurutulacak ürün

Bu çalışmada Güneydoğu Anadolu Bölgesinde ekilen genellikle hayvan yemi olarak kullanılan mısır kullanılmıştır. Kurutma işlemine tabi tutulacak olan mısırlar hasat sırasında biçerdöver tarafından koçanından ayrılmıştır. Şekil 3.1’de gösterilen mısırlar tane olarak kurutulmuştur. Nem içeriği %20-29 aralığından olan mısırlar hasat edildiğinden bu aralıktaki farklı nem içeriğine sahip mısır kurutma işlemi yapılmıştır.



Şekil 3.1. Tane mısır

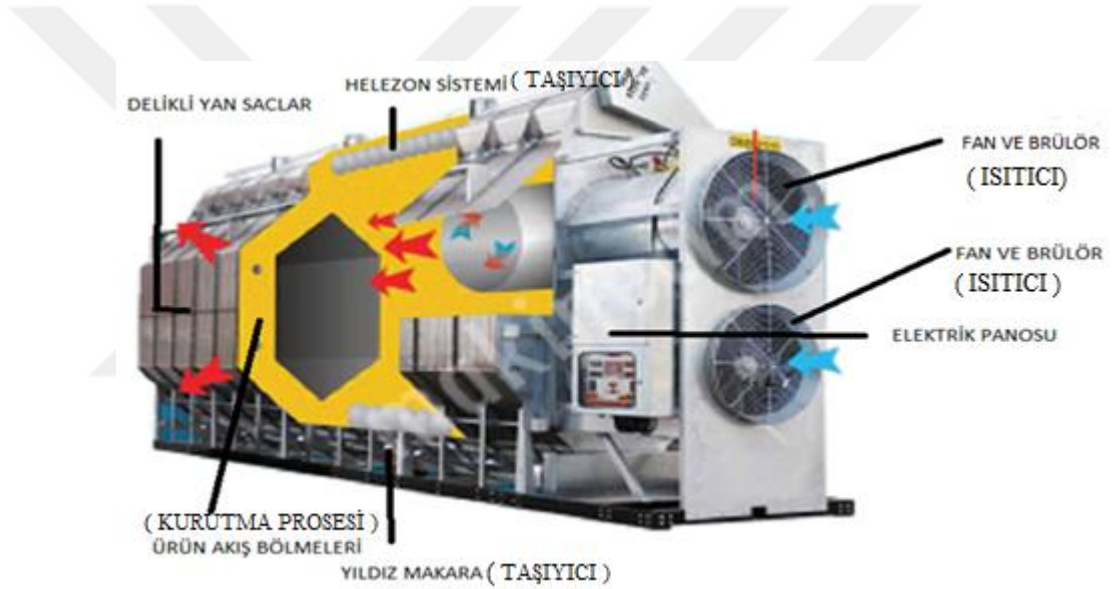
3.1.2. Deneysel düzenekler

3.1.2.1. LNG ve LPG kullanılan yatay tip mısır kurutucu

Şekil 3.2’de görüldüğü gibi yatay tip mısır kurutucular ısıtıcı , kurutma ve taşıyıcı grubu olmak üzere üç gruba ayrılmaktadır. Fan ve brülörden oluşan ısıtma grubunda ısıtılan hava kurutma prosesine gönderilir, helezon sistemi tarafından akış bölmelerine aktarılan ürün kurutma havası ile temas ederek nemini havaya bırakır.

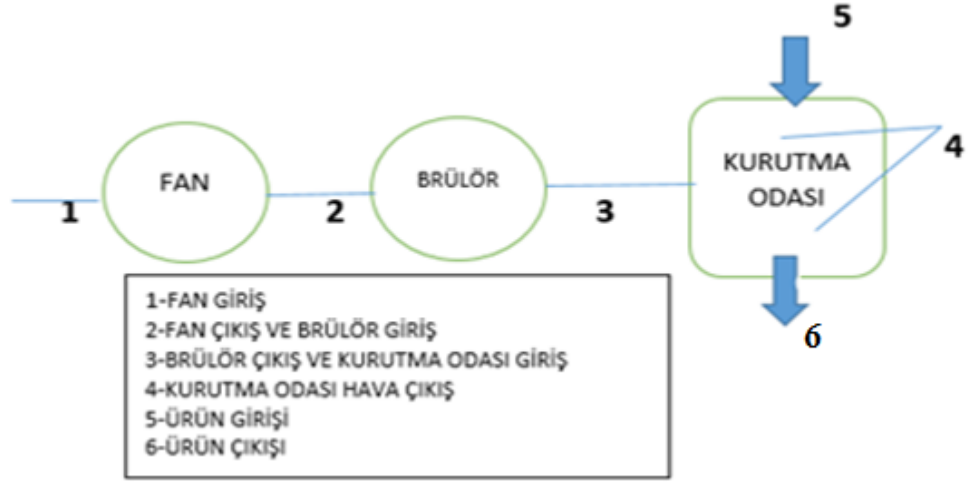
Nemli hava delikli yan saclardan dışarı atılırken, kurumuş ürün ise makara sistemi ile alt kısımdan kuru ürün havuzuna taşınır.

İki ayrı bölmeden oluşan bu sistemlerde her iki bölmede ısıtma veya soğutma yapılmasının dışında üst bölmede ısıtma alt bölmede soğutma işlemi yapılabilmektedir. Fan ısıtıcı grubu tarafından ısıtılan hava kurutma hacmine gönderilir. Kurutma odasına gelen hava delikli krom yan saçlardaki bölmelerden akan mısırın nemini alarak dışarıya atılır. Merdaneler altındaki döner helezon üzerinde kurumuş ürün toplanarak kontrollü bir şekilde alınmaktadır. Nem ölçümü yapılarak sistemin kurumuş ürünü boşaltma hızı istenilen değerlere göre ayarlanır.



Şekil 3.2. Yatay tip mısır kurutucu

Sistemde 6 tane temel ölçüm noktası tespit edilmiştir. Şekil 3.3'te bu noktalar belirtilmiştir. Ölçüm noktalarında sıcaklık, bağıl nem ve hava hızı gibi analizde kullanılacak termodinamik özellikler ölçülmüştür.

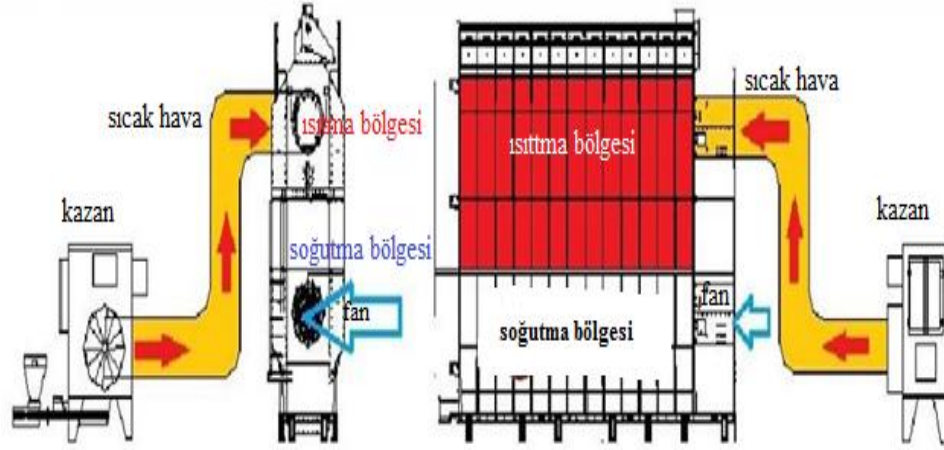


Şekil 3.3. Sistemin ölçüm noktaları

3.1.2.2. Katı yakıt kullanılan yatay tip mısır kurutucu

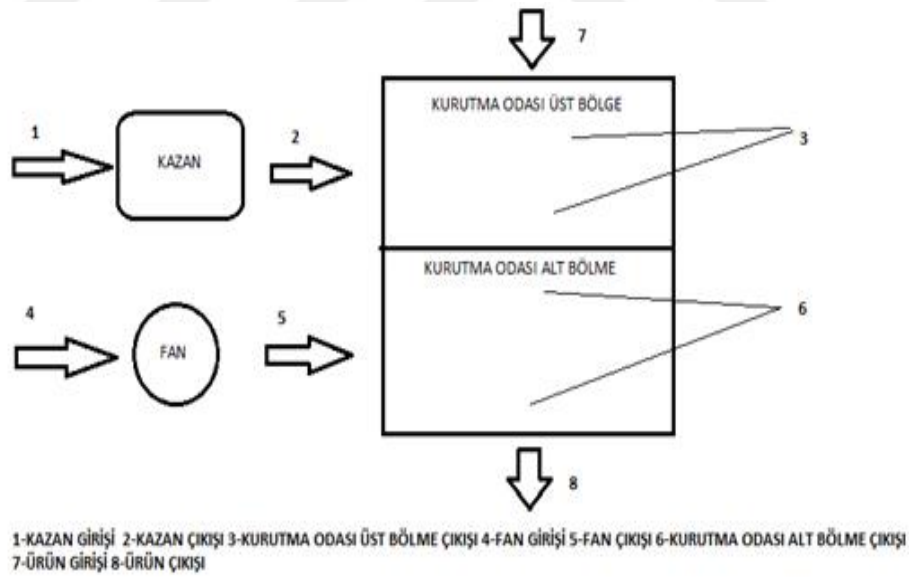
Şekil 3.4'te görüldüğü gibi katı yakıtlı yatay tip mısır kurutucu ısıtma, soğutma, kurutma ve taşıma grubu gibi kısımlardan oluşmaktadır. Sıcak hava kazandan elde edilerek kurutma bölgesi gönderilir. Helezon sistemi tarafından akış bölmelerine aktarılan ürün sıcak kurutma havası ile temas ederek nemini havaya bırakır. Soğutma grubundaki fan tarafından ürüne taze hava üflenerek ürünün sıcaklığı depolama için ideal hale getirilir. Nemli hava delikli yan saclardan dışarı atılırken, kurumuş ürün ise makara sistemi ile kuru ürün havuzuna taşınır.

Genellikle iki bölümden meydana gelen makinede iki bölümde ısıtma yapılmasının yanı sıra üst bölümde ısıtma alt bölümde soğutma da yapılabilmektedir. Fan ısıtıcı grubu tarafından ısıtılan hava kurutma hacmine gönderilir. Kurutma odasına gelen hava delikli krom yan saçlardaki bölmelerden akan mısırın nemini alarak dışarıya atılır. Merdaneler altındaki döner helezon üzerinde kurumuş ürün toplanarak kontrollü bir şekilde alınmaktadır. Nem ölçümü yapılarak sistemin hızı istenilen değerlere göre ayarlanır.



Şekil 3.4. Kömürlü yatay tip mısır kurutucu

Katı yakıtlı sistemde Şekil 3.5’te görülen 8 noktadan sıcaklık, bağıl nem ve hava hızı gibi parametrelerin ölçümleri yapılmıştır.



Şekil 3.5. Sistemin ölçüm noktaları

3.1.3.Sistem elemanları

3.1.3.1. Delikli yan saclar

Nemli havanın neden olabileceği paslanma ve korozyon benzeri durumların önüne geçmek amacı ile krom veya galvanizli çelikten üretilmektedir. Şekil 3.6’da görülen bu sac bölmelerin arasından ürünler aktığı için mukavemetli olmasına özen gösterilmektedir.



Şekil 3.6. Delikli yan saclar

3.1.3.2. Fan

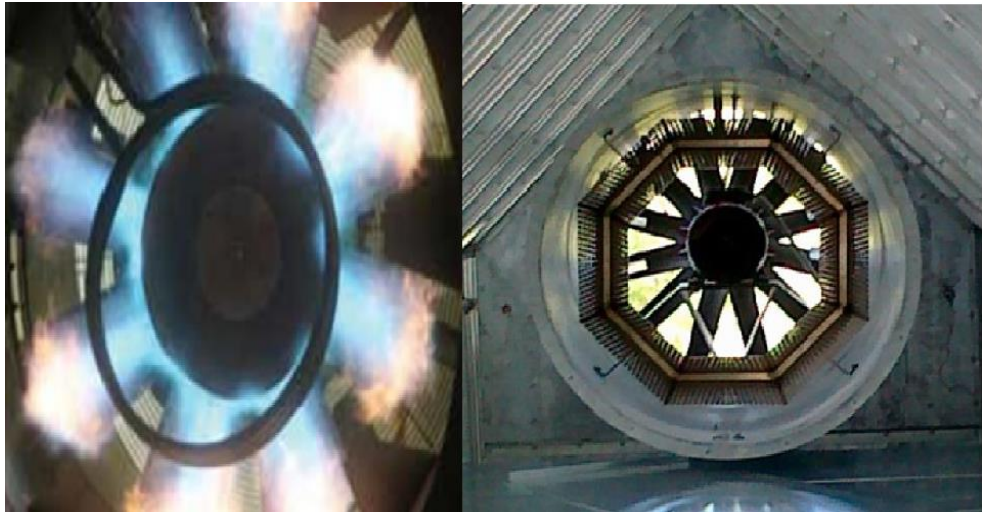
Kurutma odasına istenilen debide hava gönderilmesi için kurutucu sistemler fan kullanılmıştır. Şekil 3.7’de görülen fanlar tarafından üflenlen hava brülörler ile ısıtılarak kurutma odasına gönderilir. Ayrıca kömürlü sistemlerde alt bölgedeki kısımda 2. Bir fan yardımı ile evre havası ile kurutulan ürün soğutma işlemine tabi tutulur



Şekil 3.7. Kurutucu fanları

3.1.3.3. Brülör

LPG ve doğalgaz ile çalışabilen çok noktadan püskürtmeli sekizgen brülör paslanmaz çelikten üretilmiş olup yüksek ve düşük alevde çalışma özelliğini sunar. İstenildiği taktirde mazotla çalışacak şekilde dönüştürülebilir. Otomatik ateşlemelidir. Otomatik alev algılayıcısı ve emniyet selenoidi sayesinde tam güvenli çalışır. Yakıt buharlaştırıcısı (LPG için) maksimum yanma verimini sağlamaktadır. Şekil 3.8’de brülörün kurutucu içinden görüntüsü verilmiştir.



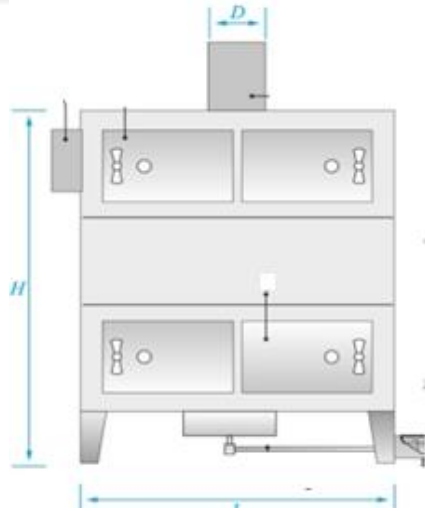
Şekil 3.8. Brülörün içten görünümü

3.1.3.4.Pano

PLC kontrollü pano, otomatik veya manuel çalışma imkânı sunar. Opsiyonel olarak bazı panolarda LCD dokunmatik ekranın bulunması kullanım açısından kolaylıklar sağlar. Birden fazla noktadan ürün ısı kontrol ve emniyet sistemi; gazın yanması sonucu açığa çıkan ısıyı algılayarak gerekli durumlarda sistemi kapatıp açması güvenli çalışma ortamı oluşturmaktadır. Bir çok sistemde LCD ekrandan alevin şiddetinin değişimi okunmaktadır.

3.1.3.5. Sıcak Hava Kazanları

Tesislerde Şekil 3.9'da görülen 1 000 000 kcal/saat kapasiteli sıcak hava kazanları kullanılmıştır. Altan kömür yüklemeli olduğundan benzer kazanlara göre daha tasarruflu sistemlerdir. Devreye alındıktan çok kısa süre sonra ısıtma yapmaya başlar. Gerekli sıcaklık değerlerine ayarlanabilir.



Şekil 3.9. Sıcak hava kazanları

3.1.3. Ölçüm cihazları

Ölçüm için kullanılan aletler aşağıda sıralanmıştır; isimleri ve hassasiyetleri

- Data logger (Fourtec DaqPRO 8-kanallı data logger doğruluk; ± 0.5 %)
- Termocupl (T tipi doğruluk; 0.1 °C)
- Hava hızı ölçer (KİMO AMI 300 \varnothing 70 mm vane probe doğruluk; ± 3 % , ± 0.1 m/s)
- Bağıl nem ölçer (KİMO AMI air quality probes doğruluk; 0.1 % rh)
- Mısır nem ölçer (PM 450 doğruluk; 0.5 %)

3.1.3.1. Data logger

Kurutma prosesinin çıkışında belirlenen 4 noktada yanmaya ve nemli ortama dayanıklı bantlarla termocupllar bağlanarak sıcaklık değerleri 1 dakikalık aralıklarla data logger tarafından kaydedilmektedir. Bu işlem için Şekil 3.10'da görülen 8 kanallı data logger kullanılmıştır.



Şekil 3.10. 8 kanallı data logger

3.1.3.2. Termocupl

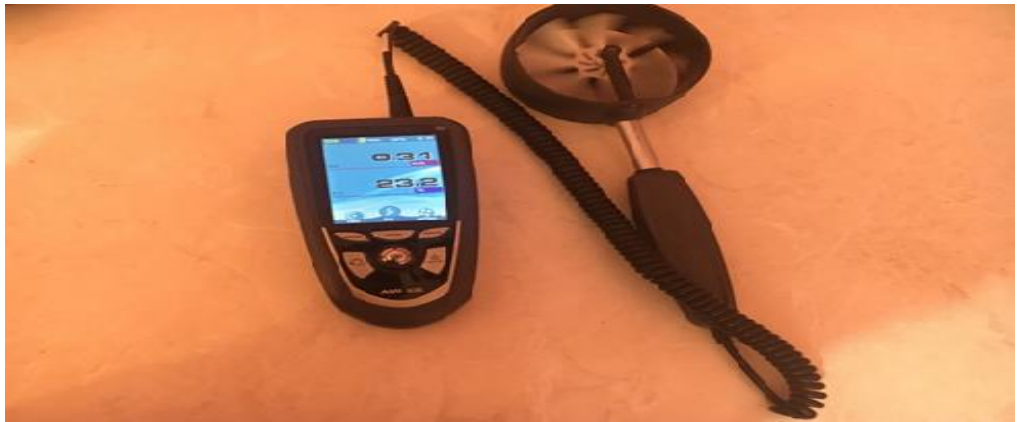
Kurutma prosesinin çıkışındaki sıcaklık ölçümü için yanmaz bant ile prosesin çıkışına sabitlenen T tipi termocupllar Şekil 3.11’de görüldüğü gibi data loggera bağlama için özel soketlere monte edilmiştir .



Şekil 3.11. Termocupl ve soketler

3.1.3.3. Hava hızı ölçer

Yapılan ölçümlerde emiş havasının hızının sabit değerlerde seyrettiği ve fabrika tarafından belirlenen değere yakın olduğu görülmüştür. Bu husustan dolayı deneylerde hava hızı sabit kabul edilerek fabrika değeri kullanılmıştır.



Şekil 3.12. Hava hızı ölçer

3.1.3.4. Bağıl nem ölçer

Nem ölçümü 5 dakikalık aralıklarla Şekil 3.13'te görülen nem ölçer cihazlar ile manuel olarak ölçülmüştür. Yapılan ölçümlerde ilk 10 dakikadan sonra bağıl nemin sabit bir değerde kaldığı görülmüştür.



Şekil 3.13. Bağıl nem ölçer

3.1.3.5. Mısır nem ölçer

Kurutma makinesi çalıştıktan yaklaşık 10 dakika sonra ilk kuru ürünün çıktığı andan itibaren 10 dakikalık aralıklarla Şekil 3.14'te görülen seyyar mısır nem ölçme cihazı ile ölçümler alınmıştır.



Şekil 3.14. Mısır nem ölçer

3.4. Yöntem

Enerji, termodinamiğin birinci kanunu kütle ve enerjinin korunumu ile ilgilenirken, ikinci kanun enerjinin büyüklüğü yanında kullanılabilirliğini araştırır. Enerji verimliliği ve tasarrufu açısından tasarlanmış veya tasarlanacak sistemlerin verimli şekilde kullanılması için enerji ve ekserji verimliliklerinin tespiti için analiz yapılması gerekmektedir. Sonuç olarak Termodinamiğin I. ve II. Kanununa uygun sistem tasarlanması gerekmektedir.

Bu çalışmada hayvan yemi olarak kullanılan mısırın kurutma işleminin yapıldığı 4 ayrı yatay tip mısır kurutma makinesinin enerji ve ekserji analizi yapılmıştır. Değerlendirilmesi yapılacak kurutma makinelerinde yüksek nemdeki mısır kurutularak saklama nemi olan %14 bağıl nem içeriğinin altında bir değere indirilmiştir. Kurutma sürecinde, sistemde belirlenen ölçüm noktalarında sıcaklık, bağıl nem ve hava hızı gibi termodinamik özellikler ölçülmüştür. Belirlenen ölçüm noktalarında elde edilen verilere bağlı olarak yapılan enerji ve ekserji analizi sonucunda kurutma havasının giriş sıcaklığının, bağıl nem, hava hızı ve kullanılan yakıt türü gibi parametrelerin yakıt sarfıyatı, birim kurutma maliyeti, özgül nem alma hızı, nem alma hızı, özgül enerji tüketimi, enerji verimliliği ve ekserji verimliliği üzerindeki etkileri değerlendirilmiştir.

3.4.1.Enerji Analizi

Bu bölümde kurutma havasının özelliklerinin ve enerji değişimlerinin 1. Kanundan yararlanılarak tespiti amaçlanmıştır. Kurutma havasını mükemmel gaz ve akışın sürekli olduğu kabulleri yapılmıştır. Sistemin enerji değişimleri ve nem değişimi ilgili denklemlerle belirtmeye çalışılmıştır.

Kuru hava için kütle korunumu;

$$\sum \dot{m}_g = \sum \dot{m}_\zeta \quad (4.1)$$

Nem için kütle korunumu;

$$\sum (\dot{m}_{kh} \cdot w_{giriş} + \dot{m}_{su}) = \sum \dot{m}_{kh} \cdot w_{çıkış} \quad (4.2)$$

Denklem 4.2 de kullanılan m_{su} , m_{kh} , $w_{giriş}$ ve $w_{çıkış}$ indisleri sırasıyla nem kütlesi, kurutma havası kütlesi, kurutma prosesine giriş havasının nem içeriği ve kurutma havasının prosese çıkışındaki nem içeriğini ifade etmektedir.

Enerjinin korunumu;

$$\dot{Q} - \dot{W} = \sum \dot{m}_\zeta \left(h_\zeta + \frac{v_\zeta^2}{2} \right) - \sum \dot{m}_g \left(h_g + \frac{v_g^2}{2} \right) \quad (4.3)$$

Prosesse giriş havasının sıcaklığı bilinmesine rağmen kurutma havasının prosese giriş için bağıl nem, izafi nem ve entalpi gibi değerler kapalı sisteme girilemediğinden ölçülememiştir. Bu değerlerin bulması için psikometrik diyagramdan yararlanılacaktır. Ancak sadece sıcaklık değeri bilinmektedir. Psikometrik diyagramdan değerlerin okuna bilinmesi için gerekli ikinci değer olarak izafi nem denklem (4.4) 'ten hesaplanabilir.

$$\dot{m}_{su} = \dot{m}_{kh} (W_{giriş} - W_{çıkış}) \quad (4.4)$$

Kurutma havasının ısıtıcıya giriş ve çıkış sıcaklıklarından yararlanılarak, Isıtıcıdan kazanılan faydalı(yararlı) enerji denklem (4.5) kullanılarak hesaplanabilir.

$$\dot{Q} = \dot{m}_{kh} C_{p_{kh}} (T_{I_g} - T_{I_ç}) \quad (4.5)$$

Denklem 4.5'te kullanılan T ve h indisleri sırasıyla havanın sıcaklığını ve entalpisini ifade etmektedir. I_g ve I_ç alt indisleri sırasıyla ısıtıcı giriş ve çıkışı ifade etmektedir. Kurutma havasının debisi ve özgül ısı sırayla m_{kh} ve C_{p_{kh}} olarak ifade edilmektedir.

Kurutma odası ile ısıtıcı arasındaki bağlantı borularındaki enerji kayıpları çok küçük olduğundan ihmal edilmiştir.

Prosesten nem alma işleminde kullanılan enerjinin hesaplanması denklem (4.6) kullanılarak yapılmaktadır. Denklemde kullanılacak kurutma odasına giriş ve çıkış entalpisini ifade eden h_{kog} ve h_{koç} değerleri sıcaklık ve nem değerleri kullanılarak psikometrik diyagramdan hesaplanmıştır.

$$\dot{Q}_{ko} = \dot{m}_{kh} (h_{kog} - h_{koç}) \quad (4.6)$$

Isıtıcının enerji verimliliği aşağıda verilen denklem (4.7) kullanılarak hesaplanmıştır.

$$\eta_{ısıtıcı} = \frac{\dot{Q}_{faydalı}}{\dot{Q}_{yakıt}} \quad (4.7)$$

Sistemin enerji verimliliği (birinci yasa verimi) denklem (4.8) kullanılarak hesaplanmıştır.

$$\eta_{\text{sistem}} = \frac{\dot{Q}_{\text{ko}}}{\dot{Q}_{\text{yakıt}}} \quad (4.8)$$

3.4.2. Ekserji analizi

Sistemlerde hal değişimi gerçekleştiğinde enerji niteliğindeki azalma, meydana gelen entropi üretimi ve mevcut iş yapma kapasitesinin tespiti gibi 1. Yasa ile ele alınmayan kavramalar 2. Yasa ile irdelenmektedir. Ekserji analizi, 1. ve 2. Yasanın birlikte ele alındığı proseslerin dizaynı, analizi ve iyileştirmesinde kullanılan yöntemdir.

Çalışmanın yapıldığı açık sistemde ölü hal için kinetik, potansiyel ve kimyasal ekserji değişimleri ihmal edilerek toplam ekserji ifadesi denklem 4.9 ile ifade edilmiştir. Özgül ısı değişiminin sabit, basınç değişiminin olmadığı ve kurutma havası mükemmel gaz olduğu kabulleri yapılmıştır.

$$\dot{E}x = \dot{m}_{\text{kh}} c_{p_{\text{kh}}} \left[T - T_{\infty} - T_{\infty} \ln \frac{T}{T_{\infty}} \right] \quad (4.9)$$

Kurutma odası girişindeki havanın ekserjisi;

$$\dot{E}x_{\text{kog}} = \dot{m}_{\text{kh}} c_{p_{\text{kh}}} \left[T_{\text{kog}} - T_{\infty} - T_{\infty} \ln \frac{T_{\text{kog}}}{T_{\infty}} \right] \quad (4.10)$$

Kurutma odası çıkışındaki havanın ekserjisi;

$$\dot{E}x_{\text{koç}} = \dot{m}_{\text{kh}} c_{p_{\text{kh}}} \left[T_{\text{koç}} - T_{\infty} - T_{\infty} \ln \frac{T_{\text{koç}}}{T_{\infty}} \right] \quad (4.11)$$

Sürekli akış kabulü yapılan sistem için enerji dengesi denklem 4.12’de görüldüğü gibi yazılmıştır.

$$\sum \left(1 - \frac{T_{\infty}}{T_k} \right) \dot{Q}_k - \dot{W} + \sum_g \dot{E}x - \sum_{\phi} \dot{E}x - \dot{E}x_Y = 0 \quad (4.12)$$

Sistemde enerji depolanması olmadığı ve iş olmadığı kabul edilerek denklem 4.12 düzenlersek ekserji yok olumunu(tersinmezliği) ifade eden denklem 4.13 ortaya çıkmaktadır.

$$\sum \dot{E}x_Y = \sum \dot{E}x_{kog} - \sum \dot{E}x_{koç} \quad (4.13)$$

Çevre ortamına geçen ısı transferinin sebep olduğu ekserji kaybı aşağıda gösterilen denklem 4.14 ile hesaplanabilir.

$$\dot{E}x_{kayıp} = \left[1 - \frac{T_{\infty}}{T_s} \right] \dot{Q}_{ısı} \quad (4.14)$$

Sistem için ekserji verimliliği (ikinci yasa verimi) aşağıdaki denklem 4.15’ten yararlanılarak hesaplanabilir.

$$\eta_{Ex} = 1 - \frac{\dot{E}x_Y}{\dot{E}x_{kog}} \quad (4.15)$$

Kurutma tesisinde 1 kg ürünün kurutulması gerekli olan enerji maliyetinin ifadesi birim kurutma maliyeti denklem 4.16’dan yararlanılarak hesaplanabilir. Birim kurutma maliyeti(BKM) denklem 4.16’da verilmiştir.

$$BKM = \frac{\text{Yakıt Sarfiyatı(TL)}}{\text{Kurutulan Ürün Miktarı(kg)}} \quad (4.16)$$

Kurutucuların enerji verimliliği genellikle özgül nem uzaklaştırma (SMER: Specific Moisture Extraction Rate) hızı ile belirlenmektedir. 1 kg nemli havadan nemi çekmek için harcanan enerji miktarı “özgül nem çekme oranı ” olarak tanımlanır. Bu büyüklük birim kWh enerji kullanımı için, kurutulacak üründen uzaklaştırılan su kütleini gösterir (kgsu /kWh). Denklem 4.17’den özgül nem alma hızı hesaplanabilir.

$$SMER = \frac{\text{Üründen Uzaklaştırılan Nem Kütlesi}}{\text{Enerji Girişi}} \quad (4.17)$$

Nem alma hızı kurutucudan birim zamanda uzaklaştırılan nemin kütlesi olarak tanımlanır (MER: Moisture Extraction Rate).Nem alma hızı denklem 4.18 kullanılarak hesaplanabilir. Nem alma hızı kgsu/saat cinsinden ifade edilir.

$$MER = \frac{\text{Üründen Uzaklaştırılan Nem Kütlesi}}{\text{Kuruma Süresi}} \quad (4.18)$$

Özgül enerji tüketimi(SEC: Spesific Energy Consumption) ürünün kurutulması sırasında, ürünlerden birim miktarda nemi uzaklaştırmak için gerekli enerji miktarı olarak tarif edilerek, kJ/kg olarak ifade edilmiştir. Denklem 4.19 kullanılarak özgül enerji tüketimi hesaplanabilir.

$$SEC = \frac{\text{Sisteme Giren Toplam Enerji}}{\text{Üründen Uzaklaştırılan Nem Kütlesi}} \quad (4.19)$$

4.ARAŞTIRMA BULGULARI

4.1. Ölçüm Bulguları

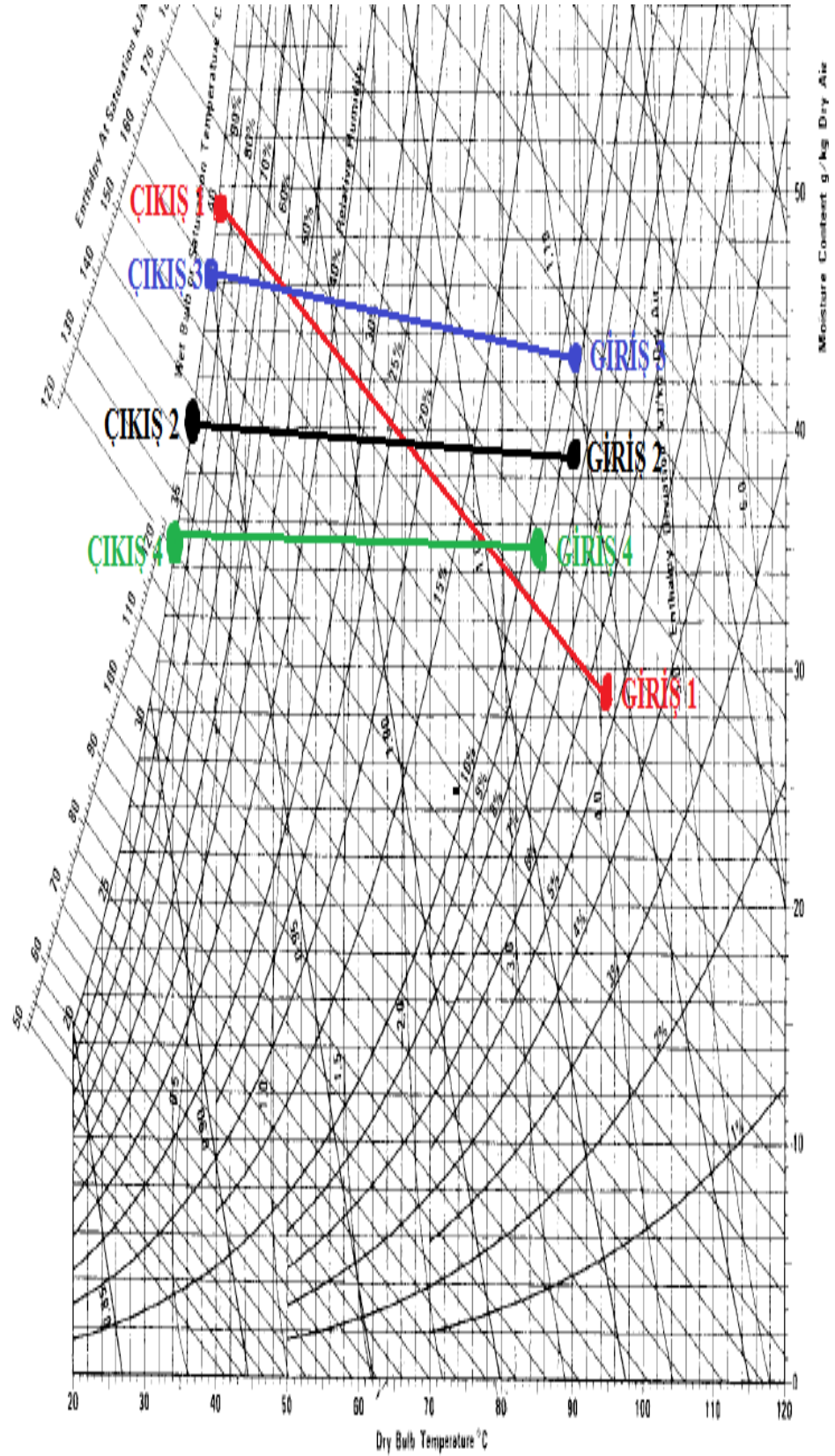
4.1.1. LPG kullanan kurutma tesisin ölçüm bulguları

Çizelge 4 1’de yakıt olarak LPG kullanan tesiste yapılan 4 ayrı kurutma işleminin ölçüm ve analiz sonuçları verilmiştir.

Çizelge 4.1. LPG kullanan tesisin ölçüm bulguları

ÖLÇÜLEN DEĞER	Deney 1	Deney 2	Deney 3	Deney 4
Çevre Sıcaklığı, °C	20,6	14,2	21	19.8
Bağıl Nem, %	33.2	58	28.5	32.8
Mısır Giriş Nem, %	24.6	29.2	25.7	28.3
Mısır Çıkış Nem, %	14.8	15.4	14.3	15.1
Mısır Giriş Sıcaklığı, °C	23	20.8	24.5	23.4
Mısır Çıkış Sıcaklığı, °C	55	51	53	52
Hava Debisi, m ³ /h	50000	50000	50000	50000
Kuru Havanın Giriş Sıcaklığı, °C	95	90	90	85
Kurutma Odası Çıkış Sıcaklığı, °C	41.7	39.3	37.6	35.5
Yakıt Sarfıyatı, m ³	95	115	90	100
Kurutulan Ürün Miktarı, kg	21500	22500	19000	21000
Deney Süresi, Dakika	128	146	135	160
Ağırlık Kaybı, kg	300	480	310	385
Elektrik Tüketimi, kWh	160	183	170	200

Şekil 4.1’deki psikrometrik diyagramda , LPG kullanılan kurutucu tesiste yapılan 4 farklı kurutma işlemi için kurutma havasının prosese giriş ve çıkış koşulları gösterilmiştir. Başlangıçta yüksek sıcaklık ve düşük nem içeriğine sahip hava kuruma süreci sonrasında düşük sıcaklık ve yüksek nem içeriğine sahip olarak çıkmaktadır. Deneylerde giriş havasının ve bağıl neminin farklı olmasından dolayı kurutma havası eğimlerinin birbirinden çok farklı olduğu Şekil 4.1’de görülmektedir.



Şekil 4.1. LPG Kullanan tesisinde hava giriş ve çıkış koşullarının psikrometrik diyagramda görünümü

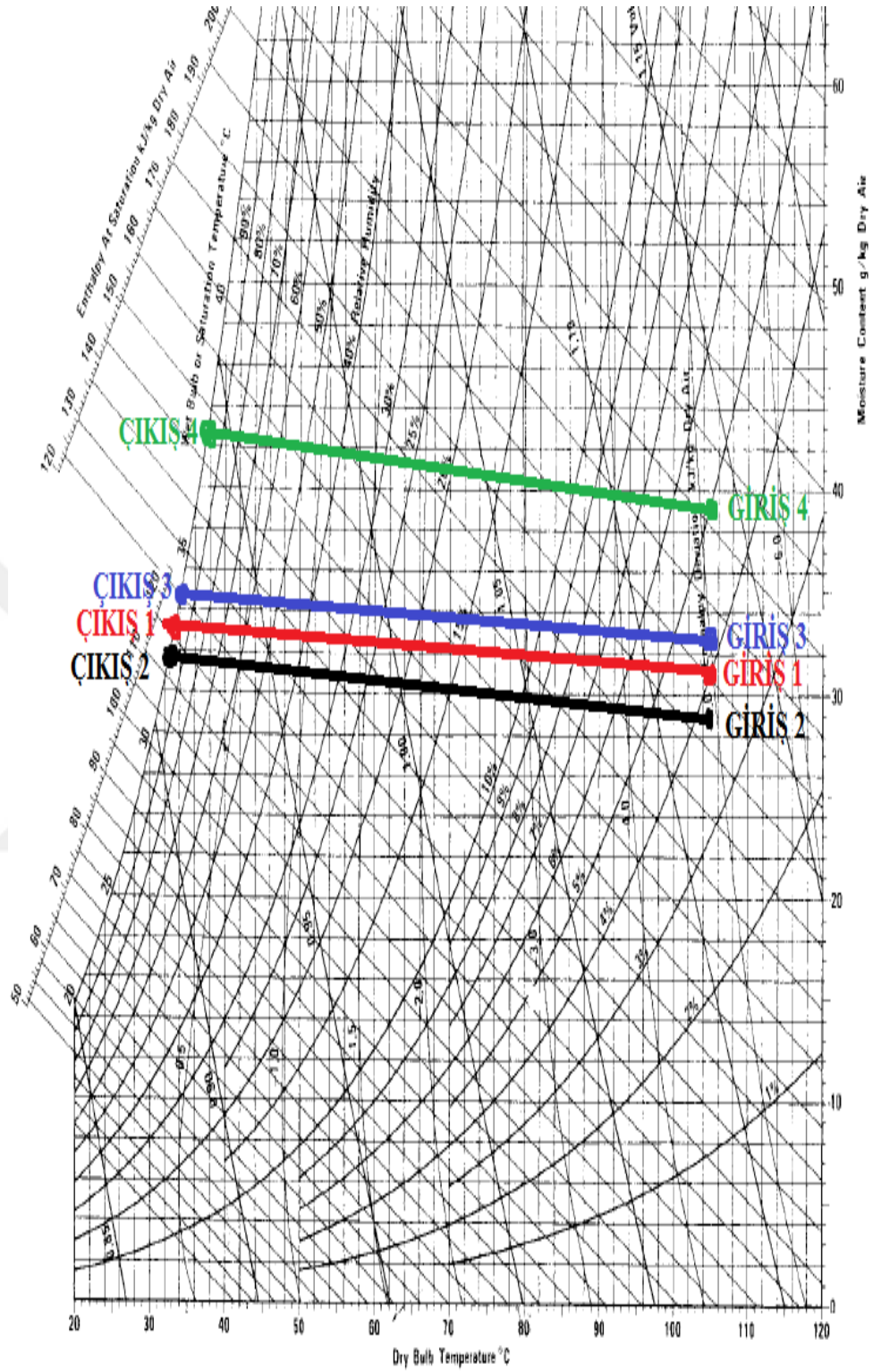
4.1.2. LNG kullanan kurutma tesisin ölçüm bulguları

Çizelge 4.2’de yakıt olarak LNG kullanan tesiste yapılan 4 ayrı kurutma işleminin ölçüm ve analiz sonuçları verilmiştir.

Çizelge 4.2. LNG kullanan tesisin ölçüm bulguları

ÖLÇÜLEN DEĞER	Deney 1	Deney 2	Deney 3	Deney 4
Çevre Sıcaklığı, °C	21.8	20	22.1	25.3
Bağıl Nem, %	24	23	23.9	16.3
Mısır Giriş Nem, %	25.4	26.5	23.5	23.1
Mısır Çıkış Nem, %	16.8	17.3	15.8	15.5
Mısır Giriş Sıcaklığı, °C	24.6	22.3	26.8	24.9
Mısır Çıkış Sıcaklığı, °C	52.3	53.2	55.3	52.7
Hava Debisi, m ³ /h	50000	50000	50000	50000
Kuru Havanın Giriş Sıcaklığı, °C	105	105	105	105
Kurutma Odası Çıkış Sıcaklığı, °C	33.5	32.8	34.1	37.6
Yakıt Sarfiyatı, m ³	153	176	148	138
Kurutulan Ürün Miktarı, kg	20000	22500	21550	21380
Deney Süresi, Dakika	65	73	60	63
Ağırlık Kaybı, kg	260	330	260	265
Elektrik Tüketimi, kWh	82	92	75	79

Şekil 4.2’de LNG kullanılan kurutucu tesiste yapılan 4 farklı kurutma işlemi için kurutma havasının giriş ve çıkış koşulları psikrometrik diyagramda gösterilmiştir. Başlangıçta yüksek sıcaklık ve düşük nem içeriğine sahip hava, kuruma süreci sonunda düşük sıcaklık ve yüksek nem içeriğine sahip olarak kurutucuyu terk etmektedir. Farklı giriş koşullarına rağmen kurutma havasının benzer yolu takip ederek 4 işlem için aynı olduğu tespit edilmiştir. Kurutma havası eğrilerinin birbiri ile paralel olduğu Şekil 4.2’de görülmektedir.



Şekil 4.2. LNG kullanan kurutma tesisinde hava giriş ve çıkış koşullarının psikrometrik diyagramda görünümü

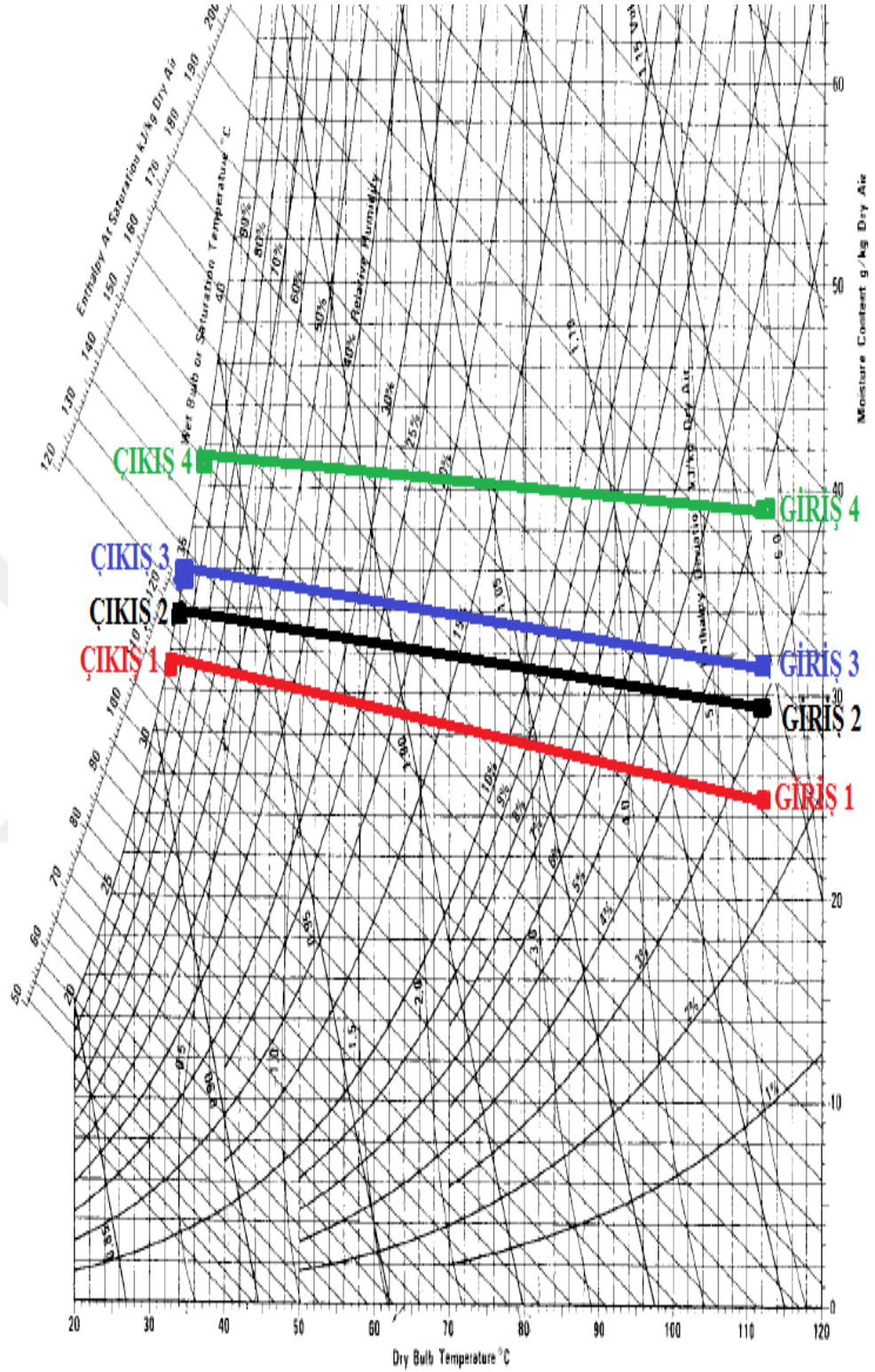
4.1.3. Kaliteli kömür kurutma kullanan tesisin ölçüm bulguları

Çizelge 4.3'te yakıt olarak kaliteli kömür kullanan tesiste yapılan 4 ayrı kurutma işleminin ölçüm ve analiz sonuçları verilmiştir.

Çizelge 4.3. Kaliteli kömür kullanan tesisin ölçüm verileri

ÖLÇÜLEN DEĞER	Deney 1	Deney 2	Deney 3	Deney 4
Çevre Sıcaklığı, °C	21.5	20	17.5	23.4
Bağıl Nem, %	53	48	51	65
Mısır Giriş Nem, %	28.5	26.8	27.8	25.3
Mısır Çıkış Nem, %	14.1	14.5	13.6	15.2
Mısır Giriş Sıcaklığı, °C	22.2	20.5	21.3	23.5
Mısır Çıkış Sıcaklığı, °C	55.7	53.8	54.8	55.3
Hava Debisi, m ³ /h	36000	36000	36000	36000
Kuru Havanın Giriş Sıcaklığı, °C	112	112	112	112
Kurutma Odası Çıkış Sıcaklığı, °C	32.8	33.5	34.2	37.2
Yakıt Sarfiyatı, kg	450	450	450	450
Kurutulan Ürün Miktarı, kg	20150	22000	21000	21350
Deney Süresi, Dakika	156	148	160	164
Ağırlık Kaybı, kg	350	325	360	260
Elektrik Tüketimi, kWh	260	246	266	273

Şekil 4.3'deki psikrometrik diyagramda, kaliteli kömür kullanılan kurutucuda yapılan 4 farklı kurutma işlemi için kurutma havasının giriş ve çıkış koşulları gösterilmiştir. Aynı giriş havası sıcaklığındaki deneylerde giriş havasının bağıl nemin düşük olması nem alma kapasitesini artırdığı giriş ve çıkış izafi nem değişim oranlarından görülmektedir. Bu değişimler çok küçük olduğundan kurutma havası eğrileri paralellik göstermektedir.



Şekil 4.3. Kaliteli kömür kullanılan kurutma tesisinde hava giriş ve çıkış koşullarının psikrometrik diyagramda görünümü

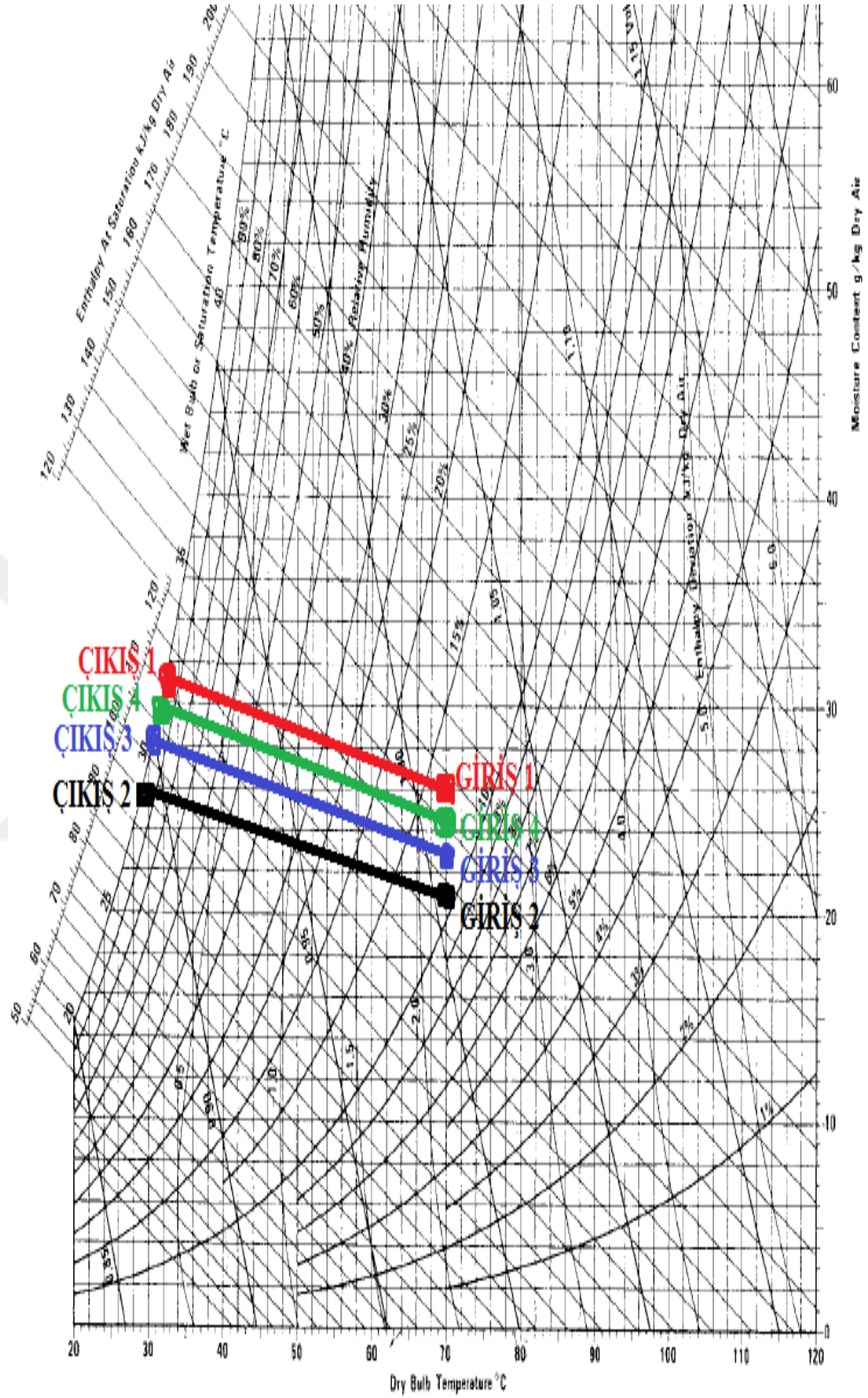
4.1.4. Kalitesiz kömür kullanılan tesis ölçüm bulguları

Çizelge 4.4'te yakıt olarak kalitesiz kömür kullanan tesiste yapılan 4 ayrı kurutma işleminin ölçüm ve analiz sonuçları verilmiştir.

Çizelge 4.4. Kalitesiz kömür kullanan tesisin ölçüm verileri

ÖLÇÜLEN DEĞER	Deney 1	Deney 2	Deney 3	Deney 4
Çevre Sıcaklığı, °C	19.4	20.4	21.8	17.6
Bağıl Nem, %	55	55	23	53
Mısır Giriş Nem, %	23.3	24.4	22.2	21.5
Mısır Çıkış Nem, %	14.8	15.1	14.3	13.8
Mısır Giriş Sıcaklığı, °C	20.4	20.4	20.4	22.2
Mısır Çıkış Sıcaklığı, °C	46.4	47.1	45.2	46.9
Hava Debisi, m ³ /h	36000	36000	36000	36000
Kuru Havanın Giriş Sıcaklığı, °C	70	70	70	70
Kurutma Odası Çıkış Sıcaklığı, °C	32.1	29.5	30.9	31.3
Yakıt Sarfiyatı, kg	200	200	200	250
Kurutulan Ürün Miktarı, kg	28100	27350	27450	26850
Deney Süresi, Dakika	70	68	65	78
Ağırlık Kaybı, kg	285	305	260	250
Elektrik Tüketimi, kWh	126	122	117	140

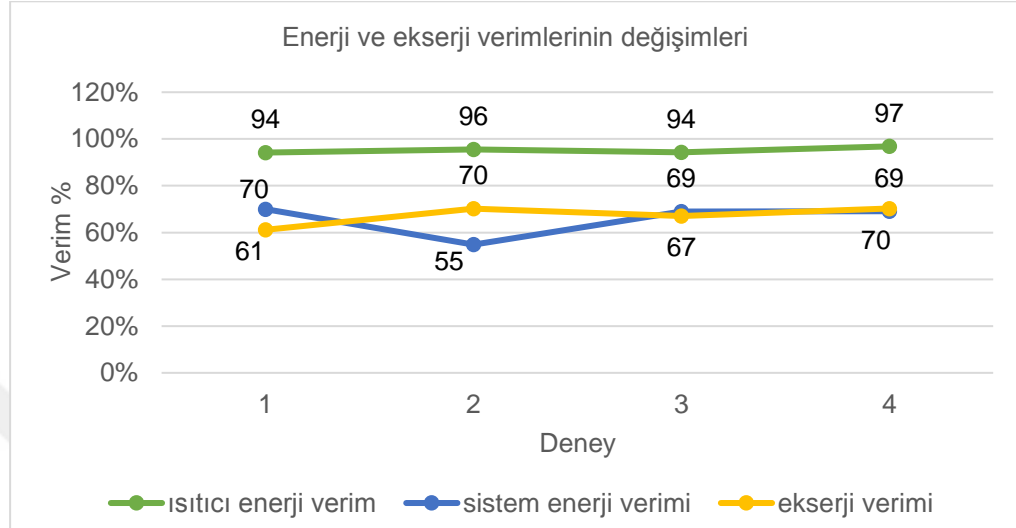
Şekil 4.4'deki psikrometrik diyagramda kurutma havasının prosese giriş ve çıkış koşulları gösterilmiştir. Başlangıçta yüksek sıcaklık ve düşük nem içeriğine sahip hava kuruma süreci sonrasında düşük sıcaklık ve yüksek nem içeriğine sahip olarak çıkmaktadır. Kurutma havası eğrilerinin deneysel çalışma koşullarındaki farklılıklara rağmen paralel bir doğrultuda olduğu Şekil 4.4 'de görülmektedir



Şekil 4.4. Kalitesiz kömür kullanılan kurutma tesisinde hava giriş ve çıkış koşullarının psikrometrik diyagramda görünümü

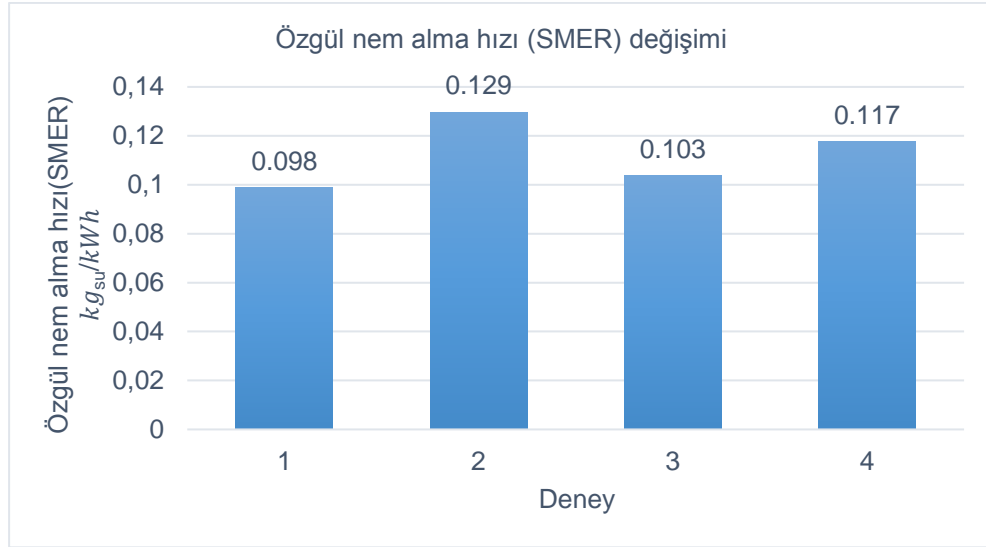
4.2. Analiz Bulguları

4.2.1. LPG kullanan tesisin analiz bulguları



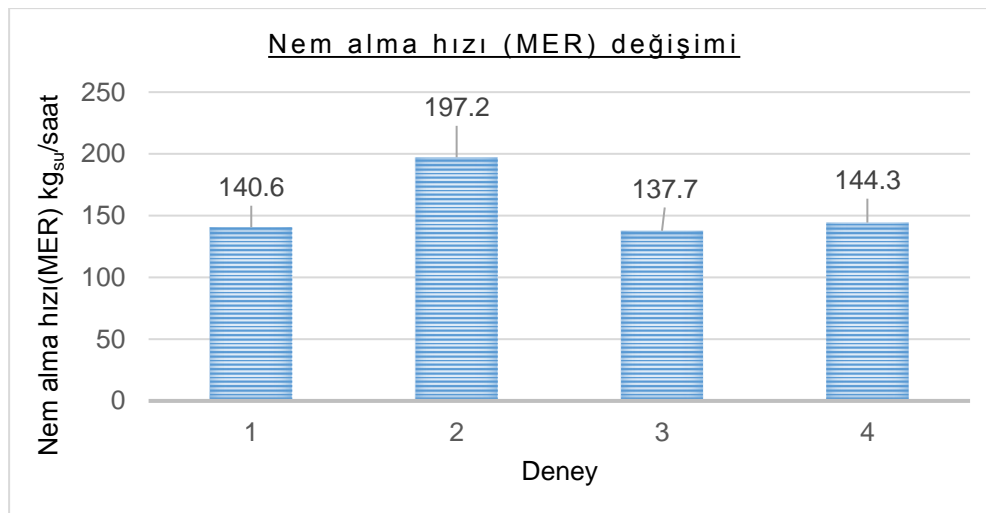
Şekil 4.5. LPG kullanan kurutma tesisin enerji ve ekserji verimlerinin değişimleri

Şekil 4.5'te görüldüğü gibi yapılan inceleme neticesinde kurutma havasının ısıtıcıdan çıkış sıcaklığı azaldıkça ters orantılı olarak ısıtıcının veriminin artmakta olduğu tespit edilmiştir. Yapılan inceleme neticesinde kurutma odasına kurutma havasının giriş sıcaklığının azalması ile sistemin enerji veriminin buna ters orantılı olarak artma eğilimi gösterdiği görülmektedir. Sistemin ekserji verimliliği genel olarak sıcaklığın azalması ile artan bir eğilim göstermektedir. 2 numaralı deney verilerinde ısıtma grubuna giriş sıcaklığının düşük, giriş havasının bağıl neminin yüksek ve ürün giriş neminin yüksek olması bu verilerin analiz sonuçlarının kurutma havasının giriş sıcaklığına bağlı oluşan doğruların dışına sapmasına neden olduğu tespit edilmiştir. Yapılan analizler neticesinde sistemin ısıtıcısının enerji verimliliği ortalama %95.23, sistemin enerji verimliliği ortalama %65.74 ve sistemin ekserji verimliliği ortalama %67.16 olarak hesaplanmıştır.



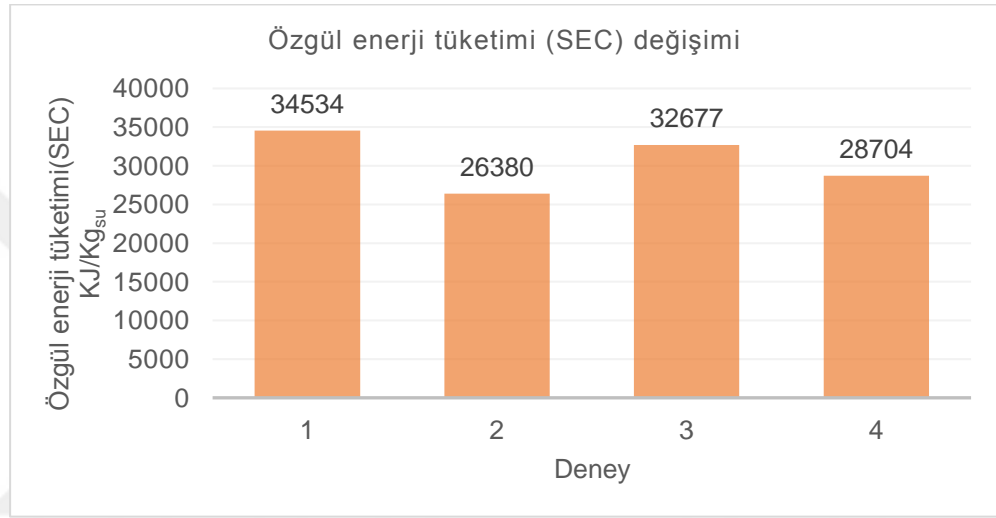
Şekil 4.6. LPG kullanan kurutma tesisin özgül nem alma hızı(SMER) değişimleri

Yapılan analiz neticesinde sistemden özgül nem alma hızının ortalama olarak 0.112 kg_{su}/kWh civarında olduğu tespit edilmiştir. Özgül nem alma hızındaki değişimler Şekil 4.6'da görülmektedir. Özgül nem alma hızının kurutma havasının sıcaklığını düşmesi ile artma eğilimi gösterdiği tespit edilmektedir. Bu durumu bozan 2 numaralı deneyde ısıtıcıya giren havanın nem içeriğini çok yüksek ve sıcaklığın düşük olması özgül nem alma hızını ciddi oranda artırarak kurutma havası sıcaklığına bağlı oluşan doğrudan sapmasına neden olmuştur.



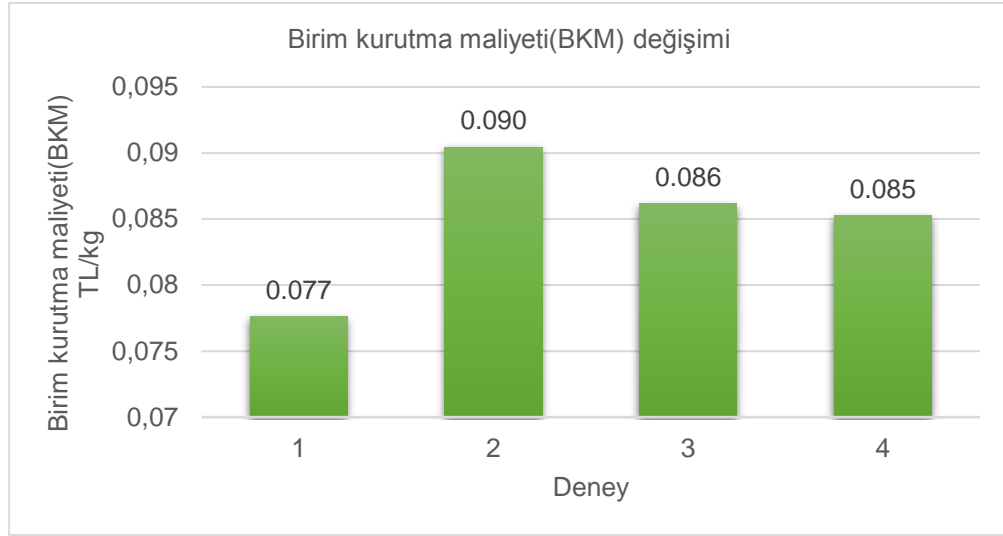
Şekil 4.7. LPG kullanan kurutma tesisin nem alma hızı(MER) değişimi

Analiz neticesinde üründen nem alma hızı ortalama olarak 155.01 kgsu/saat olarak hesaplanmıştır. Sistemden birim saatte uzaklaştırılan nem miktarları Şekil 4.7’de görülmektedir. Nem alma hızını etkileyen iki temel parametre ürün nem içeriği ve kurutma havasını nem alma kapasitesidir. 2 numaralı deneyde ürünün nem içeriğinin yüksek olması nem alma hızını artırmıştır. 1 ve 3 numaralı deneylerde ürün nem içeriği biri birine çok yakın olmasına karşın oluşan farkın nedeni kurutma havasının nem alma kapasitelerinin farklı olmasından kaynaklanmaktadır.



Şekil 4.8. LPG kullanan kurutma tesisin özgül enerji tüketimi(SEC) değişimi

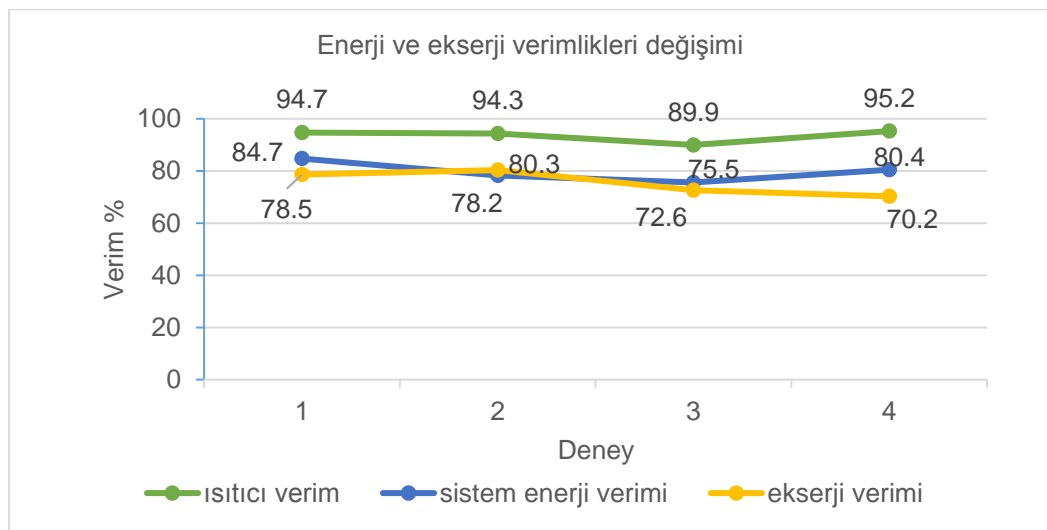
Sistemden birim nem uzaklaştırma için gereken enerji miktarı ortalama 30574 kJ/kgsu Olarak hesaplanmıştır. Sistemden 1 kg nem uzaklaştırmak için gerekli olan enerji miktarları Şekil 4.8’de açıkça görülmektedir. Özgül enerji tüketimini etkileyen temel parametre ürünün nem içeriğidir. 1 ve 3 numaralı deneylerde nem içeriğinin daha düşük olmasından dolayı yüzeyde nem miktarı azdır. Bu durum sabit hızda kurutma periyodunun daha kısa ve azalan hız periyodunun sabit hıza oranla daha uzun olmasına neden olacağından özgül enerji tüketimini artırmaktadır.



Şekil 4.9. LPG kullanan kurutma tesisin birim kurutma maliyeti(BKM) değişimi

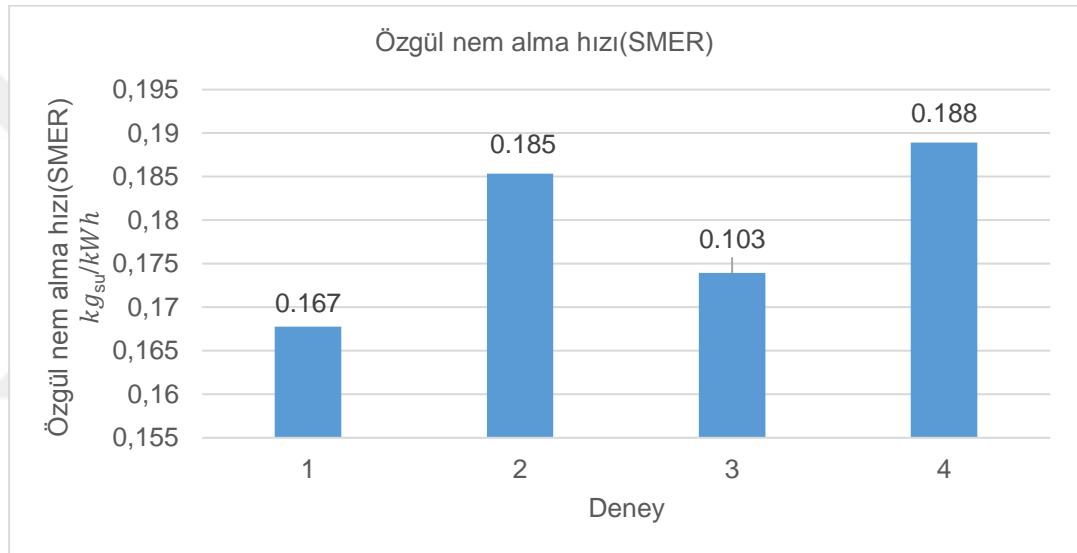
Yapılan inceleme neticesinde kurutma havasının kurutma odasına giriş sıcaklığının azalması ile birim kurutma azalmakta olduğu Şekil 4.9’da görülmektedir. Ortalama birim kurutma maliyeti 0.085 TL/kg olarak hesaplanmıştır. Biri birine yakın nem içeriğine sahip 1 ve 2 numaralı deneylerin birim kurutma maliyetleri arasındaki farklılığın sebebi nem alma kapasitesidir.

4.2.2. LNG kullanan tesisin analiz bulguları



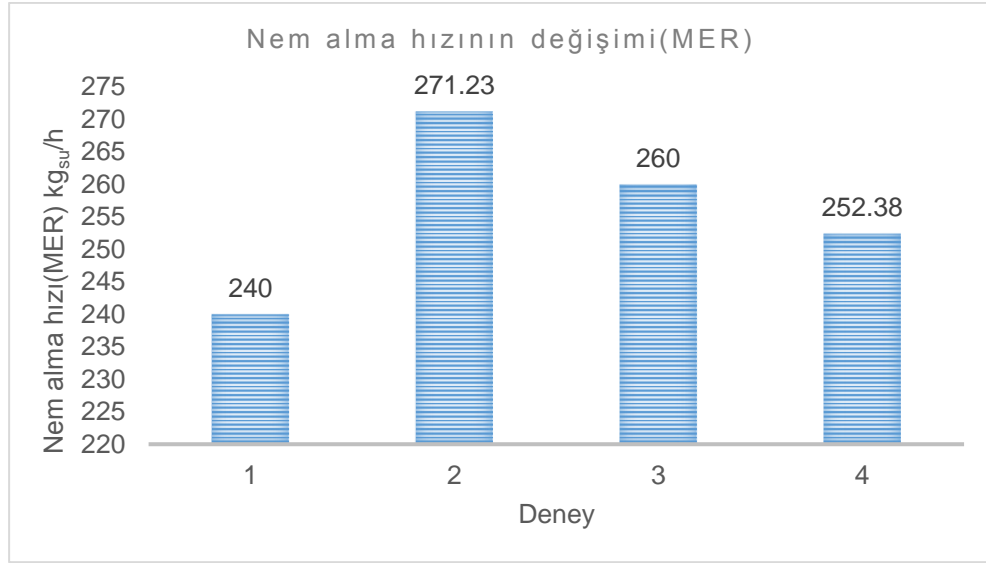
Şekil 4.10. LNG kullanan kurutma tesisin enerji ve ekserji verimlerinin değişimleri

Sistemin olağan çalışma sıcaklığı olan 105  C için yapılan analizler neticesinde sistemin ısıtıcısının enerji verimliliği ortalama %93.58, sistemin enerji verimliliği ortalama %79.74 ve sistemin ekserji verimliliği ortalama %75.44 olarak tespit edilmiştir. 3 numaralı deneyin enerji verimi ve ekserji veriminin diğer deneylerden düşük olmasının tek sebebi ürünün nem içeriğinin daha düşük olmasıdır. 3 numaralı deney 3 numaralı deneyle nerdeyse aynı ürün nem içeriğine sahip olmasına rağmen kurutma havasının nem alma kapasitesinin yüksek olmasından dolayı enerji verimliliği daha yüksek iken ürün nem içeriğindeki çok ufak farklılıktan dolayı ekserji verimi daha azdır.



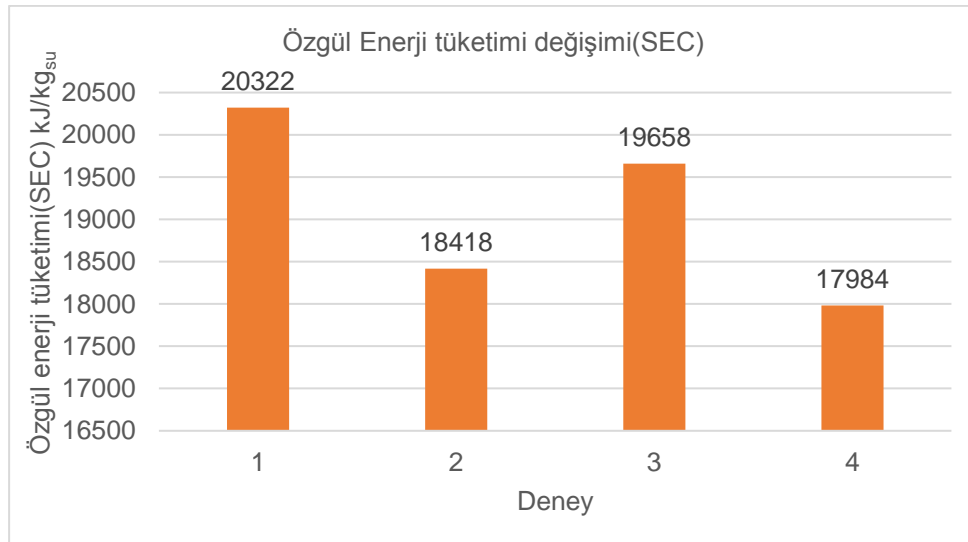
şekil 4.11. LNG kullanan kurutma tesisin özgül nem alma hızı(SMER) değişimi

Sistemde yapılan analizler neticesinde sistemden özgül nem uzaklaştırma hızı ortalama 0,178 kg_{su}/kWh olarak hesaplanmıştır. Özgül nem alma hızındaki değişimler şekil 4.11’de görülmektedir. Genel itibari ile bir birine çok yakın olan özgül nem alma hızındaki ufak farklılık kurutma havasının nem alma kapasiteleri arasındaki farklılıktan kaynaklanmaktadır.



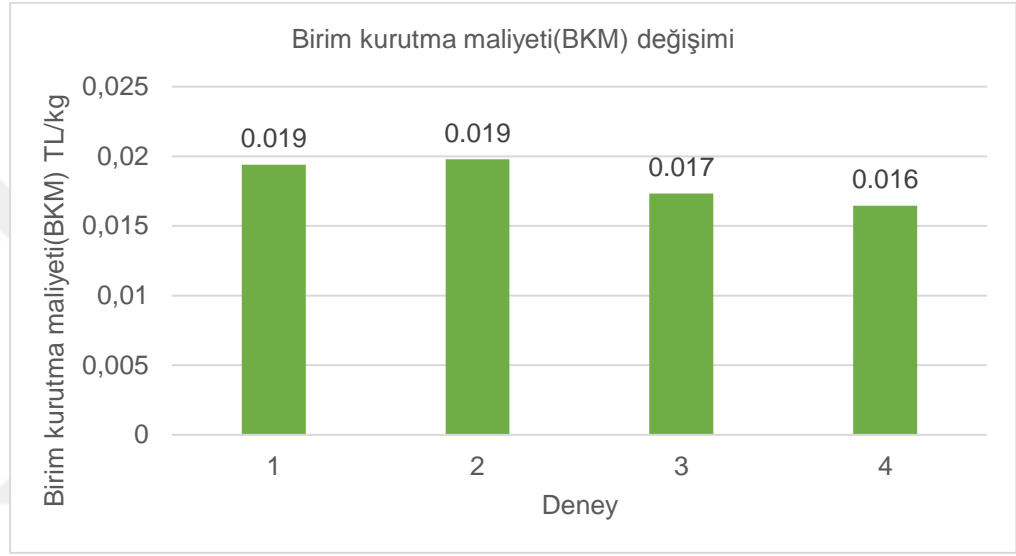
Şekil 4.12. LNG kullanan kurutma tesisin nem alma hızı(MER) değişimi

Analiz neticesinde üründen nem alma hızı ortalama 255.9 kgsu/saat olarak hesaplanmıştır. Sistemden birim saatte uzaklaştırılan nem miktarları Şekil 4.12’de görülmektedir. Nem alma hızını etkileyen iki temel parametre ürün nem içeriği ve kurutma havasını nem alma kapasitesidir. Genel olarak ürün nem içeriğinin artması ile nem alma hızı artma eğilimi gösterirken 1 numaralı deneyde nem alma kapasitesinin daha düşük olması daha düşük nem alma hızına sahip olmasına sebep olmuştur.



Şekil 4.13. LNG kullanan kurutma tesisin özgül enerji tüketimi(SEC) değişimi

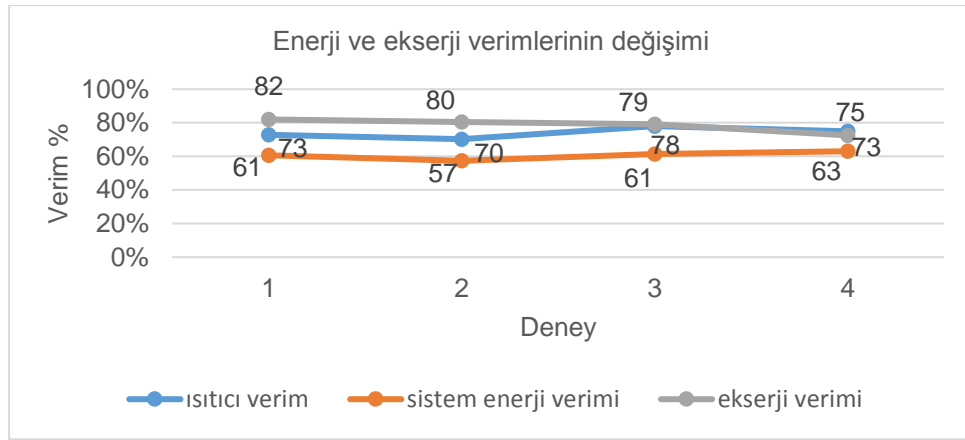
Sistemden birim nem uzaklaştırma için gereken enerji miktarı ortalama 19095 kJ/kg olarak hesaplanmıştır. Sistemden 1 kg nem uzaklaştırmak için gerekli olan enerji miktarları Şekil 4.13'te açıkça görülmektedir. 1 ve 2 numaralı deneylerde tahliye edilen nem kütlesi neredeyse aynı olmasına rağmen oluşan özgül enerji tüketiminin farkın sebebi ürün nem içeriğindeki ufak farklılıklardır. Ürün nem içeriği aynı olan 3 ve 4 numaralı deneyler için farklılığın sebebi kurutma havasının nem alma kapasitelerinin farklı olmasıdır.



Şekil 4.14. LNG kullanan kurutma tesisin birim kurutma maliyeti(BKM) değişimi

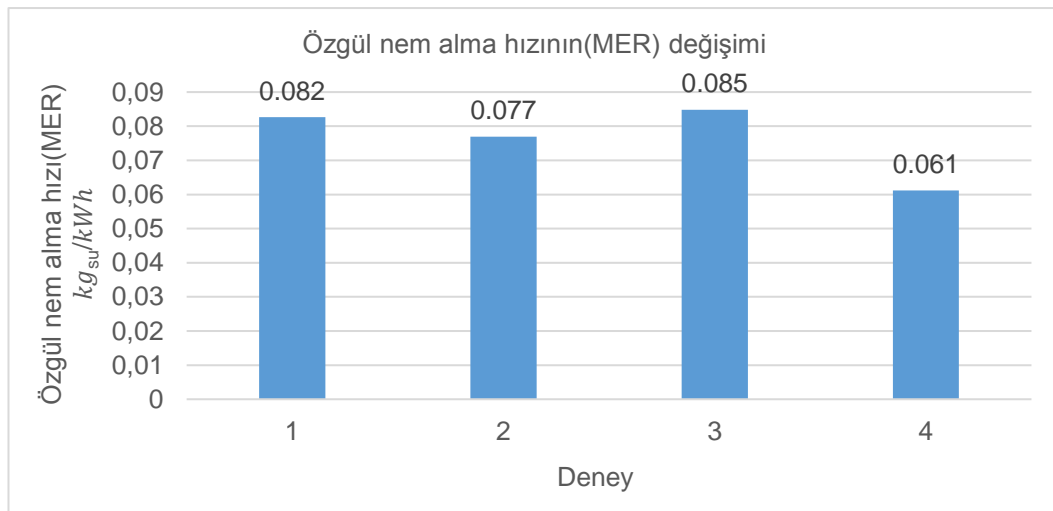
Sistemin birim kurutma maliyeti yapılan analiz sonucunda ortalama 0,018 TL/kg olarak hesaplanmıştır. Şekil 4.14' te 1 kg ürün kurutma maliyeti değişimi TL cinsinden gösterilmiştir.

4.2.3. Kaliteli kömür kullanılan tesisin analiz bulguları



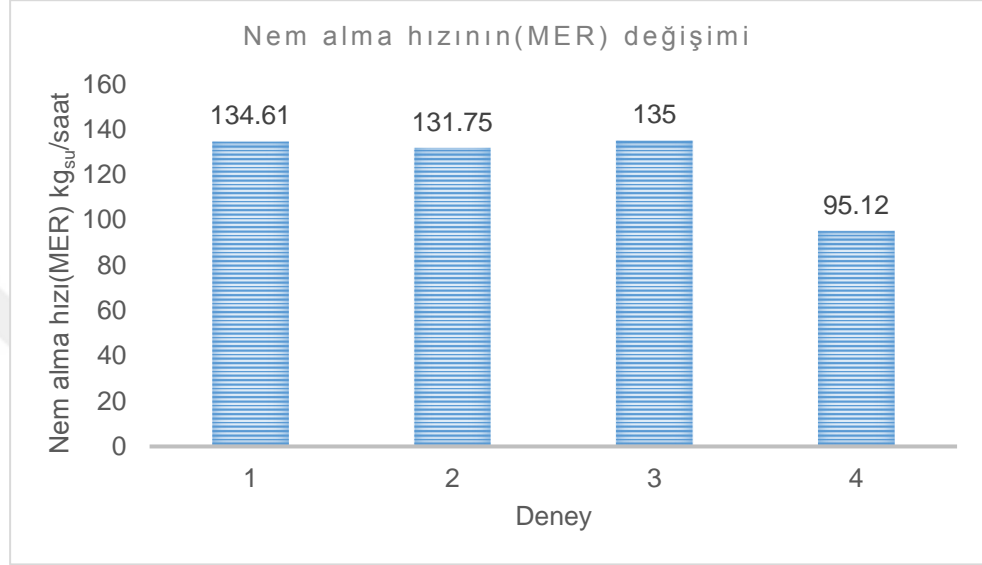
Şekil 4.15. Kaliteli kömür kullanılan kurutma tesisin enerji ve ekserji verimlerinin değişimleri

Olağan çalışma koşulu olan 112 °C kurutma havası giriş sıcaklığı için yapılan analizler neticesinde sistemin ısıtıcısının enerji verimliliği ortalama % 74.02 , sistemin enerji verimliliği ortalama % 60.61 ve sistemin ekserji verimliliği ortalama % 78.52 olarak hesaplanmıştır. 4 numaralı deneyin ısıtıcı veriminin çok düşük olmasının temel sebebi ısıtıcı giriş havasının nem içeriğinin çok yüksek olmasıdır. 3 numaralı deneyin enerji veriminin yüksek olmasının sebebi ısıtıcı giriş sıcaklığındaki farklılıktır. Ekserji verimlerini ürün nem içeriği ve kurutma havası nem alma kapasitesi gibi parametreler etkilemiştir.



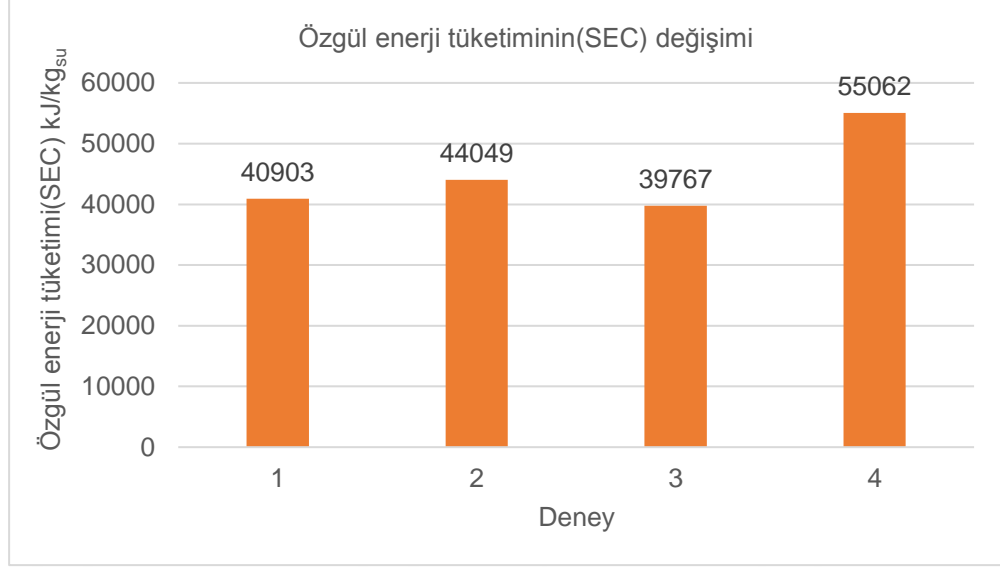
Şekil 4.16. Kaliteli kömür kullanılan kurutma tesisin özgül nem alma hızının(MER) değişimi

Sistemde yapılan analizler neticesinde sistemden özgül nem uzaklaştırma hızı ortalama 0,076 kgsu/kWh olarak hesaplanmıştır. Özgül nem alma hızındaki değişimler Şekil 4.16’ da açık görülmektedir. Genel itibari ile bir birine çok yakın olan özgül nem alma hızındaki ufak farklılık kurutma havasının nem alma kapasiteleri ve ürün nem içeriğindeki farklılıklardan kaynaklanmaktadır.



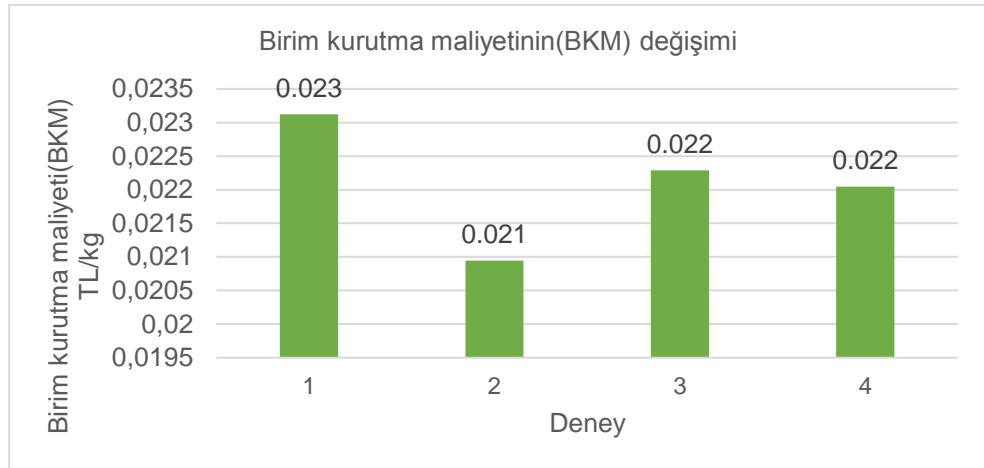
Şekil 4.17. Kaliteli kömür kullanılan kurutma tesisin nem alma hızının(MER) değişimi

Analiz neticesinde üründen nem alma hızı ortalama 124.12 kgsu/saat olarak hesaplanmıştır. Sistemden birim saatte uzaklaştırılan nem miktarları Şekil 4.17’ de görülmektedir. 4 numaralı deneydeki farklılığın sebebi kurutma havasının nem alma kapasitesinin diğer deneylere nazaran daha düşük olmasından kaynaklanmaktadır.



Şekil 4.18. Kaliteli kömür kullanılan kurutma tesisin özgül enerji tüketiminin(SEC) değişimi

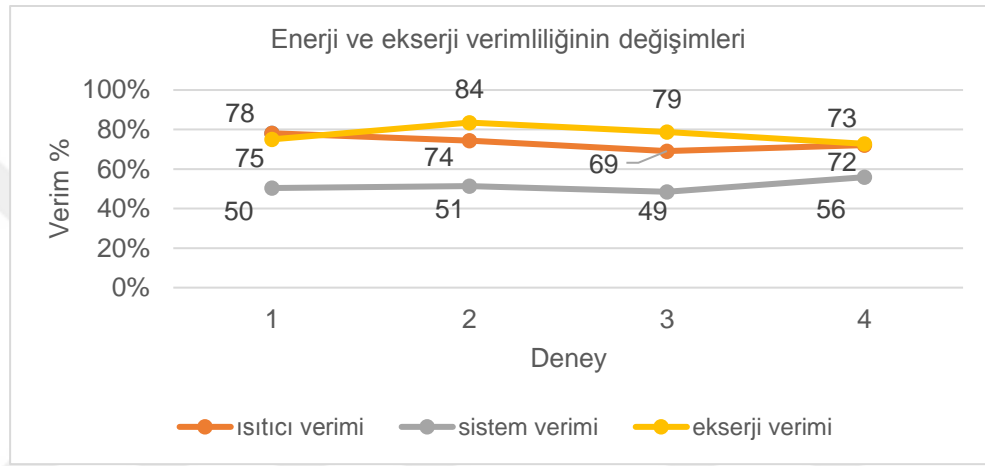
Sistemden birim nem uzaklaştırma için gereken enerji miktarı ortalama 44945 kJ/kg_{su} olarak hesaplanmıştır. Sistemden 1 kg nem uzaklaştırmak için gerekli olan enerji miktarları Şekil 4.18’ de açıkça görülmektedir. Ürün nem içeriği ve kurutma havası nem alma kapasitesi özgül enerji tüketimini etkileyen iki temel parametredir. 4 numaralı deneydeki farklılığın sebebi kurutma havasının nem alma kapasitesinin düşük olmasından kaynaklanmaktadır.



Şekil 4.19. Kaliteli kömür kullanılan kurutma tesisin birim kurutma maliyetinin(BKM) değişimi

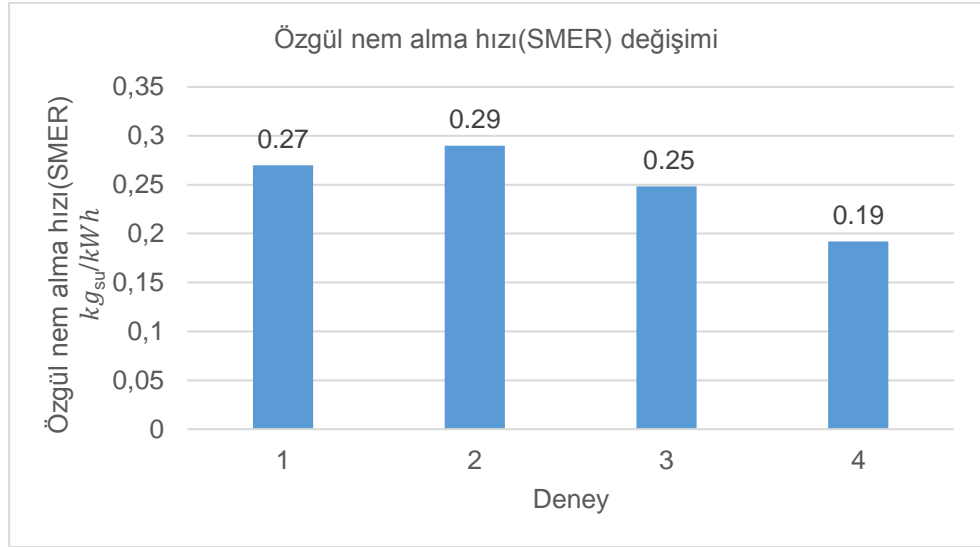
Sistemin birim kurutma maliyeti yapılan analiz sonucunda ortalama 0.022 TL/kg olarak hesaplanmıştır. Şekil 4.19’ da 1 kg ürün kurutma maliyeti değişimi TL cinsinden gösterilmiştir. 1 numaralı deneyin ortalamasının üstünde olmasının nedeni daha fazla ürün nem içeriğine sahip olmasıdır. 2 numaralı deneyin daha düşük olmasının sebebi kurutma havası nem kapasitesinin daha fazla olması

4.2.4. Kalitesiz Kömür Kullanılan Tesisin Analizi Bulguları



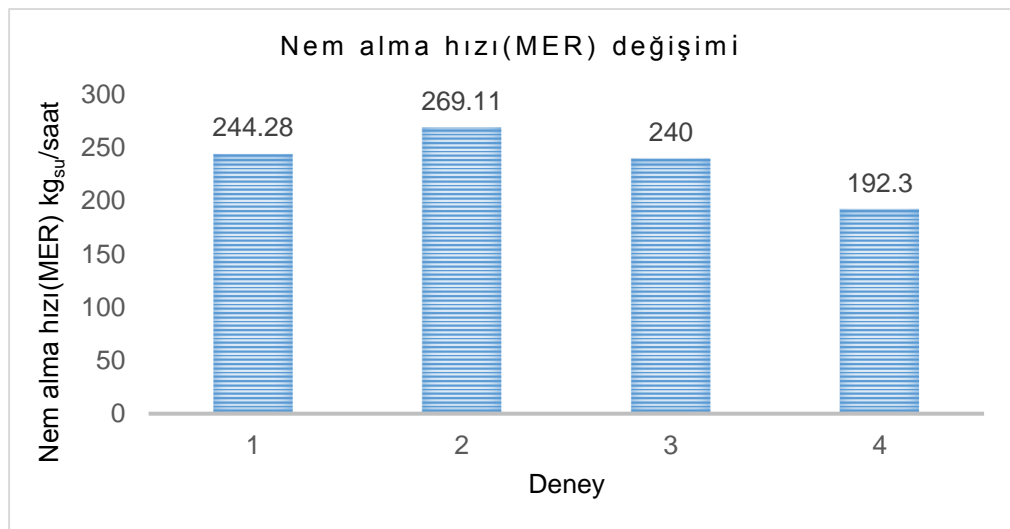
Şekil 4.20. Kalitesiz kömür kullanılan tesisin enerji ve ekserji değişimleri

Olağan çalışma koşulu olan 70 °C kurutma havası giriş sıcaklığı için yapılan analizler neticesinde sistemin ısıtıcısının enerji verimliliği ortalama % 71.18 , sistemin enerji verimliliği ortalama % 51.53 ve sistemin ekserji verimliliği ortalama % 77.74 olarak hesaplanmıştır. Isıtıcı verimi, sistem enerji verimi ve ekserji verimindeki değişimler Şekil 4.20’ de görülmektedir. Isıtıcı verimi ve sistem enerji verimindeki değişimlerin temel sebebi ısıtıcıya giriş havasındaki ufak değişimlerdir. Ekserji verimi ürün nem içeriği artıkça artma eğilimi göstermiştir.



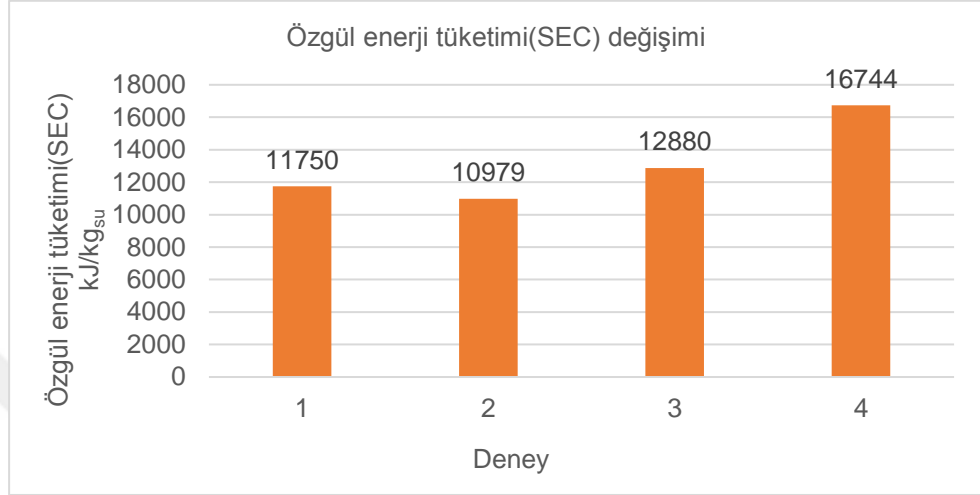
Şekil 4.21. Kalitesiz kömür kullanılan kurutma tesisinin özgül nem alma hızı(SMER) değişimi

Sistemde yapılan analizler neticesinde sistemden özgül nem uzaklaştırma hızı ortalama 0,25 kgsu/kWh olarak hesaplanmıştır. Özgül nem alma hızındaki değişimler Şekil 4.21' de açık görülmektedir. Genel itibari ile bir birine çok yakın olan özgül nem alma hızındaki ufak farklılık kurutma havasının nem alma kapasiteleri arasındaki farklılıktan kaynaklanmaktadır. 4 numaralı deneyde ise ısıtıcı giriş havasını daha düşük olduğundan yakıt sarfiyatı artmıştır. Bu duruma bağlı olarak özgül nem alma hızı düşmüştür.



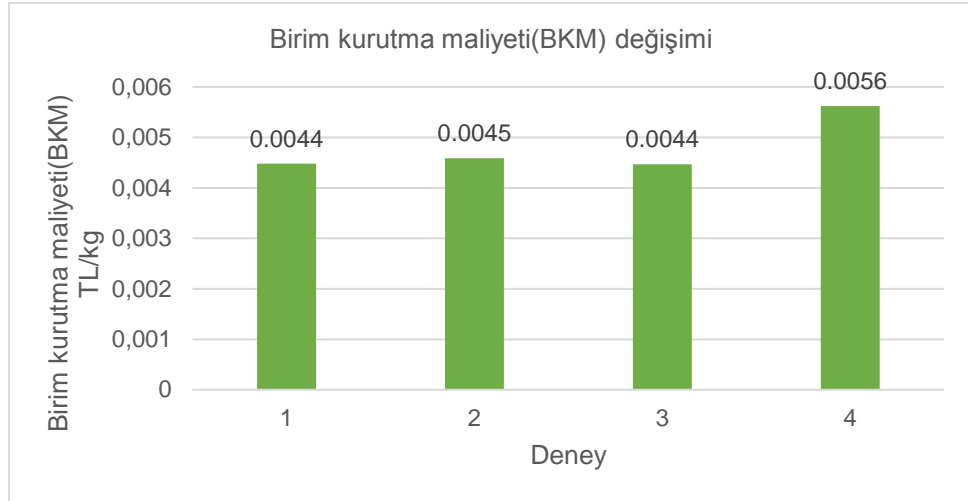
Şekil 4.22. Kalitesiz kömür kullanılan kurutma tesisinin nem alma hızı(MER) değişimi

Analiz neticesinde üründen nem alma hızı ortalama 236.42 kgsu/saat olarak hesaplanmıştır. Sistemden birim saatte uzaklaştırılan nem miktarları Şekil 4.22’ de görülmektedir. Ürün nem içeriği ile nem alma hızının doğru orantılı olarak ilerlediği tespit edilmiştir.



Şekil 4.23. Kalitesiz kömür kullanılan kurutucu tesisinin özgül enerji tüketimi(SEC) değişimi

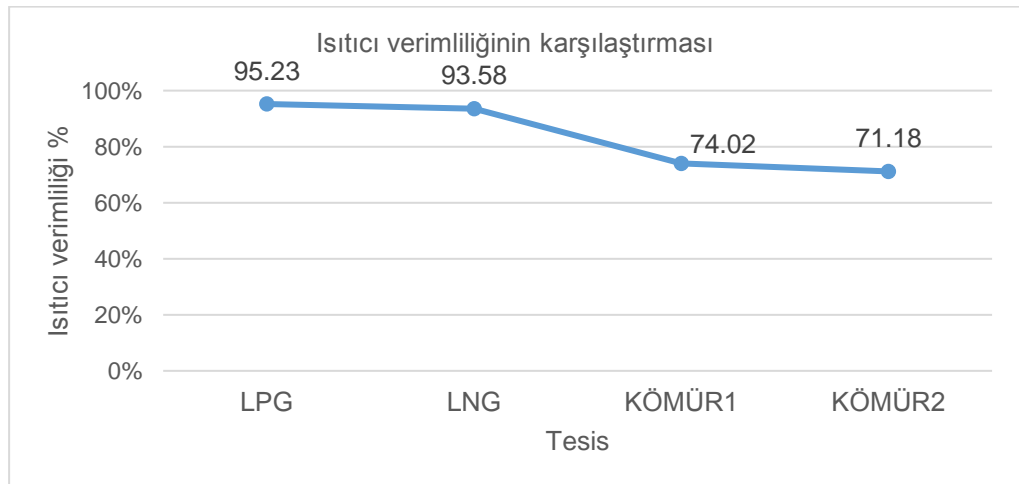
Sistemden birim nem uzaklaştırma için gereken enerji miktarı ortalama 13088 kJ/kg_{su} olarak hesaplanmıştır. Sistemden 1 kg nem uzaklaştırmak için gerekli olan enerji miktarları Şekil 4.23’ te açıkça görülmektedir. Ürün nem içeriği küçük farklılıklara sebep olmuştur. 4 numaralı deneydeki farklılığın sebebi ısıtıcı giriş havasının sıcaklığının fazla olmasından yakıt sarfıyatı artmıştır. Bu duruma bağlı olarak özgül nem alma hızı da artmıştır.



şekil 4.24. Kalitesiz kömür kullanılan tesisin birim kurutma maliyeti(BKM) değişimi

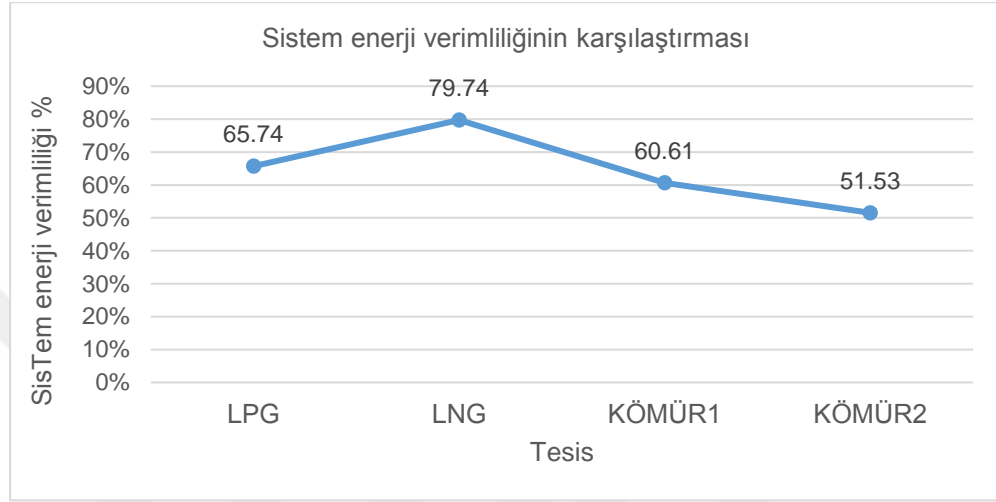
Sistemin birim kurutma maliyeti yapılan analiz sonucunda ortalama 0.0047 TL/kg olarak hesaplanmıştır. şekil 4.24' de 1 kg ürün kurutma maliyeti değişimi TL cinsinden gösterilmiştir. 4 numaralı deneydeki farklılığın sebebi ısıtıcı giriş havasının sıcaklığının fazla olmasından yakıt sarfiyatı artmıştır. Bu duruma bağlı olarak birim kurutma maliyeti de artmıştır.

4.2.5.Tüm Tesislerin Karşılaştırma Bulguları



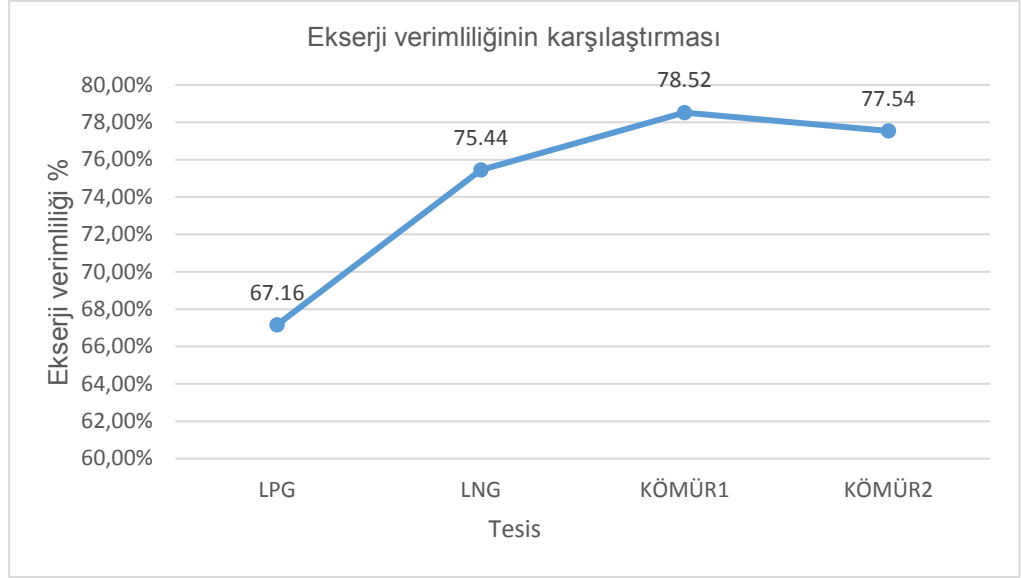
şekil 4.25. Tüm kurutucu tesislerin ısıtıcı verimliliğinin karşılaştırması

Isıtıcı verimi LPG kullanan tesis için %95.23 , LNG kullanan tesis için %93.58 ,kaliteli kömür kullanan tesisi için %74.02 ve düşük kalitedeki kömür kullanan tesis için %71.18 olarak hesaplanmıştır. Şekil 4.25' te görüldüğü gibi ısıtıcı verimliliğinin yakıt olarak gaz kullanan tesislerde yüksek, yakıt olarak kömür kullanan tesislerde düşük olduğu tespit edilmiştir.



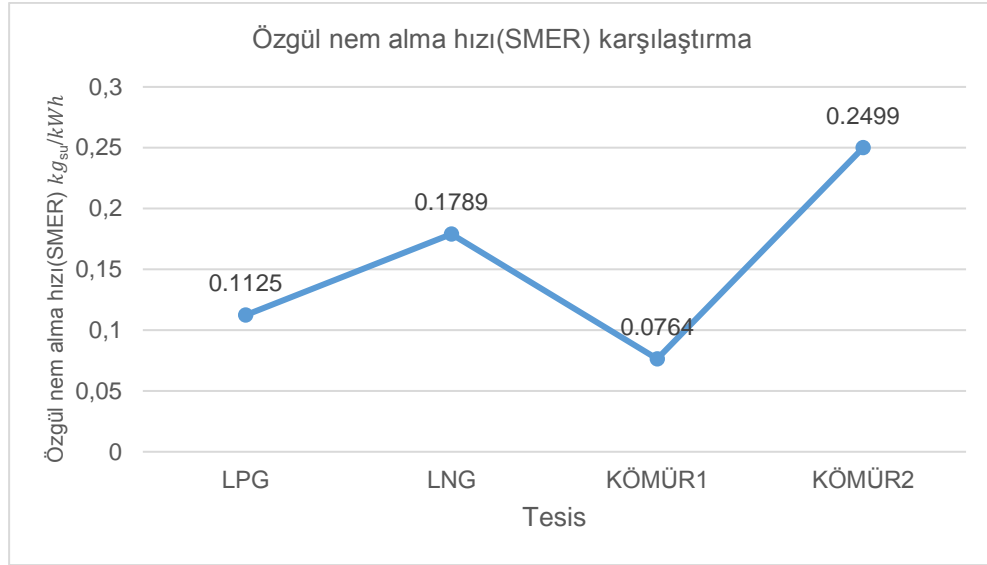
Şekil 4.26. Tüm tesislerin sistem enerji verimliliğinin karşılaştırması

Sistemin enerji verimliliği LPG kullanan tesis için %65.74 , LNG kullanan tesis için %79.74 ,kaliteli kömür kullanan tesisi için %60.61 ve düşük kalitedeki kömür kullanan tesis için %51.53 olarak hesaplanmıştır. Enerji verimlerinin ısıtıcı verimlerine paralel olması gerekirken kurutma havasının giriş sıcaklığının ve nem alma kapasitelerinin farklı olmasından dolayı Şekil 4.26' da görüldüğü gibi farklılıklar oluşmuştur.



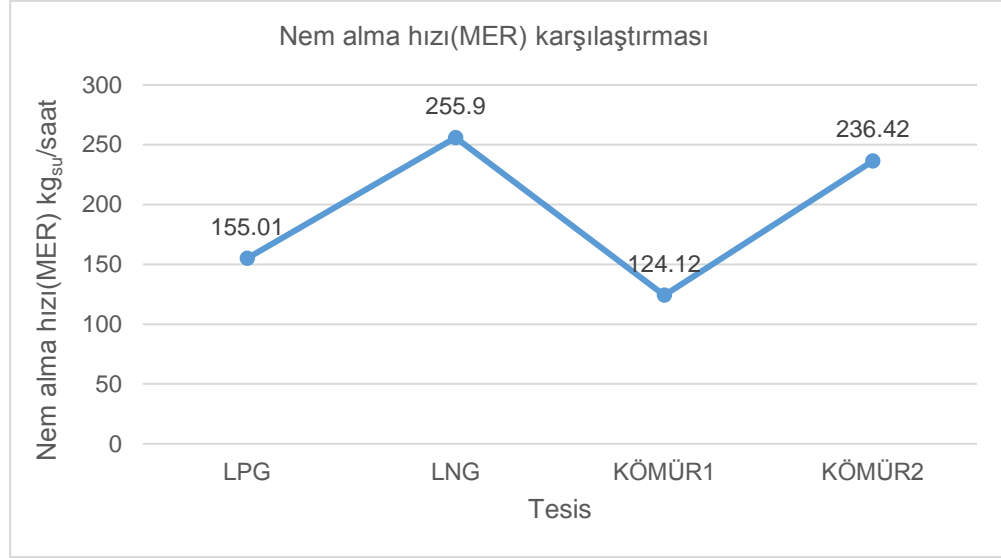
Şekil 4.27. Tüm kurutucu tesislerin ekserji verimliliğinin karşılaştırması

Sistemin ekserji verimliliği LPG kullanan tesis için %67.16 , LNG kullanan tesis için %75.44 ,kaliteli kömür kullanan tesisi için %78.52 ve düşük kalitedeki kömür kullanan tesis için %77.54 olarak hesaplanmıştır. Yakıt olarak kömür kullanan tesislerde kurutma havasının debisinin daha düşük olmasından dolayı ekserji verimliliği daha yüksek iken daha yüksek debideki LPG ve LNG kullanılan tesislerdeki farkın sebebi giriş havasının sıcaklığının daha düşük ve bağıl neminin yüksek olmasından kaynaklanmaktadır. Tesislerin ekserji verimliliği Şekil 4.27' de açıkça görülmektedir.



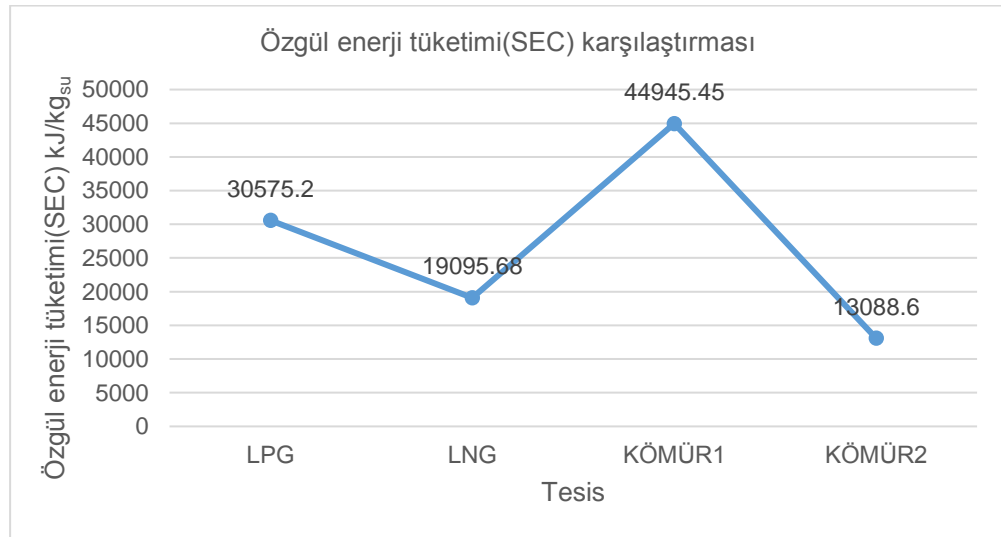
Şekil 4.28. Tüm kurutucu tesislerin özgül nem alma hızı(SMER) karşılaştırması

Şekil 4.28’ de görüldüğü gibi 1 kg nem kütle sin üründen uzaklaştırılması için harcanan enerji miktarı yakıt olarak LPG kullanan tesis için 0.1125 kgsu/kWh ,LNG kullanılan tesis için 0.1789 kgsu/kWh, kaliteli kömür kullanılan tesis için 0.0764 kgsu/kWh, düşük kalitedeki kömür kullanan tesis için 0.2499 kgsu/kWh olarak hesaplanmıştır. Enerji verimliliğinin başka bir ifadesi olan özgül nem alma hızının enerji verimliliğine paralel olması beklenirken, tesislerde kurutulan ürünün nem içeriklerinin farklı olmasından dolayı yüksek nem içeriğine sahip ürün kurutulan tesislerde özgül nem alma hızının düşük olduğu, düşük ne içeriğine sahip ürün kurutulan tesislerde ise özgül nem alma hızının daha yüksek olduğu tespit edilmiştir.



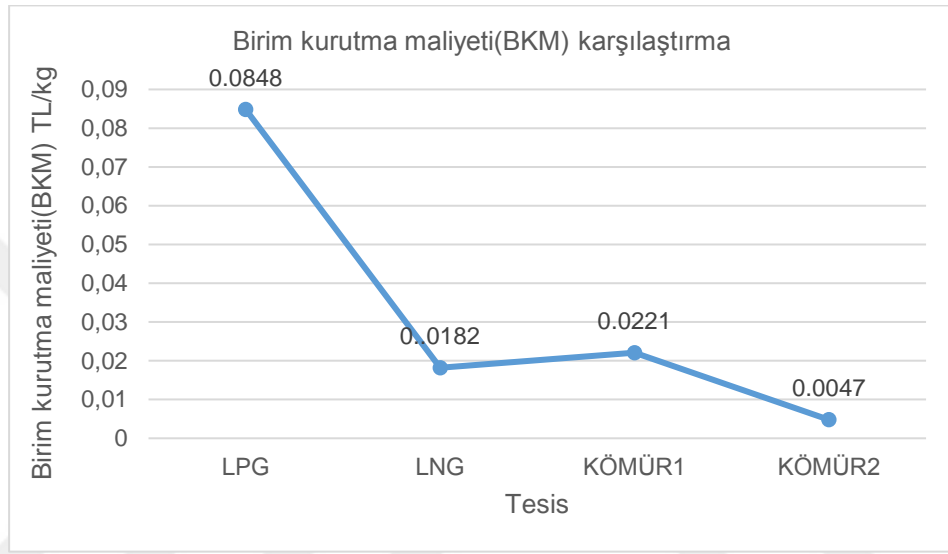
Şekil 4.29. Tüm kurutucu tesislerin nem alma hızı(MER) karşılaştırması

Şekil 4.29' da görüldüğü gibi üründen birim zamanda uzaklaştırılan nemin kütlesi yakıt olarak LPG kullanan tesis için 155.01 kgsu/saat , LNG kullanılan tesis için 255.9 kgsu/saat, kaliteli kömür kullanılan tesis için 124.12 kgsu/saat, düşük kalitedeki kömür kullanan tesis için 236.42 kgsu/saat olarak hesaplanmıştır. Nem alma hızı özgül nem alma hızı ile paralellik göstermektedir.



Şekil 4.30. Tüm kurutucu tesislerin özgül enerji tüketimi(SEC) karşılaştırması

Şekil 4.30' da görüldüğü gibi birim miktarda suyu uzaklaştırmak için gerekli enerji miktarı yakıt olarak LPG kullanan tesis için 30575.2 kJ/kgsu ,LNG kullanılan tesis için 19095.68 kJ/kgsu, kaliteli kömür kullanılan tesis için 44945.45 kJ/kgsu, düşük kalitedeki kömür kullanan tesis için 13088.6 kJ/kgsu olarak hesaplanmıştır. Özgül enerji tüketimi bakımından en tercih edilebilir olan tesisler 2 ve 4 numaralı tesislerdir.



Şekil 4.31. Tüm kurutucu tesislerin birim kurutma maliyeti(BKM) karşılaştırma

Şekil 4.31' de görüldüğü gibi 1 kg ürünün kurutulması gerekli olan birim kurutma maliyeti yakıt olarak LPG kullanan tesis için 0.0848 TL/kg ,LNG kullanılan tesis için 0.0182 TL/kg kaliteli kömür kullanılan tesis için 0.0221 TL/kg, düşük kalitedeki kömür kullanan tesis için 0.0047 TL/kg olarak hesaplanmıştır. Yapılan analiz neticesinde kömür kullanılan tesislerde maliyetin düşük olduğu ancak yüksek sıcaklıklarda çalışmanın maliyeti ciddi oranlarda artırdığı tespit edilmiştir. LNG kullanılan tesislerin LPG kullanılan tesislere göre çok daha düşük tüketime sahip olduğu tespit edilmiş

5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

5.1. Sonuçlar

Bu çalışmada kurutma havasının ısıtılmasında yakıt olarak LNG, LPG ve kömür kullanılan dört farklı mısır kurutma tesisinin enerji, ekserji ve maliyet analizleri yapılmıştır. Enerji verimliliği, ekserji verimliliği ve birim kurutma maliyeti açısından tesisler incelenmiştir. Çizelge 5.1’de deneysel analiz sonuçları verilmiştir. Çizelge 5.2’de ise kurutma tesislerin analiz neticesinde deneysel kriterler ve genel tercih edilebilirlik bakımından sıralamaları gösterilmiştir. Çalışma neticesinde elde edilen sonuçlar aşağıda maddeler halinde sıralanmıştır. Bu maddeler şunlardır;

Çizelge 5.1. Deneysel analiz sonuçları

KRİTER	Yatay Tip Mısır Kurutucuda Kullanılan Yakıt Cinsi			
	LPG	LNG	Kaliteli kömür	Kalitesiz kömür
Isıtıcı Verimi, %	95.23	93.58	74.02	71.18
Sistem Verimi, %	65.74	79.74	60.61	51.53
Ekserji Verimi, %	67.16	75.44	78.52	77.54
Özgül Nem Alma Hızı, kg_{su}/kWh	0.1125	0.1789	0.0764	0.2499
Nem Alma Hız, $kg_{su}/saat$	15.01	255.9	124.12	236.4
Özgül Enerji Tüketimi, kJ/kg_{su}	30574.21	19095.68	44945.45	13088.46
Birim Kurutma Maliyeti, TL/kg	0.0848	0.0182	0.0221	0.0047

Çizelge 5.2. Kurutucu tesislerin tercih edilebilirlik sıralamaları

KRİTER	Yatay Tip Mısır Kurutucuda Kullanılan Yakıt Cinsi			
	LPG	LNG	Kaliteli kömür	Kalitesiz kömür
Isıtıcı Verimi	1	2	3	4
Sistem Verimi	2	1	3	4
Ekserji Verimi	4	3	1	2
Özgül Nem Alma Hızı	3	2	4	1
Nem Alma Hız	3	1	4	2
Özgül Enerji Tüketimi	3	2	4	1
Birim Kurutma Maliyeti	4	2	3	1
Genel Tercih Edilebilirlik Sıralaması	3	2	4	1

- Yapılan inceleme neticesinde kurutma giriş havası sıcaklığının artması ile enerji verimliliğini düşürdüğü, birim kurutma maliyetini, ekserji verimliliğini ve yakıt sarfiyatını artırdığı tespit edilmiştir.
- Isıtıcı giriş sıcaklığının sabit olduğu deneylerde giriş havasının bağıl neminin artması ile yakıt sarfiyatının ve birim kurutma maliyetinin arttığı enerji ve ekserji verimliliğinin düştüğü tespit edilmiştir.
- Yakıt olarak kömür kullanan tesislerde kurutma havasının debisinin daha düşük olmasından dolayı ekserji verimliliği daha yüksek iken daha yüksek ve aynı debideki LPG ve LNG kullanılan tesislerdeki ekserji verimlilikleri arasındaki farkın sebebi giriş havasının sıcaklığının daha düşük ve bağıl neminin yüksek olmasından kaynaklandığı sonucuna ulaşılmıştır.
- Enerji verimliliğinin başka bir ifadesi olan özgül nem alma hızının enerji verimliliğine paralel olması beklenirken, tesislerde kurutulan ürünün nem içeriklerinin farklı olmasından dolayı yüksek nem içeriğine sahip ürün kurutulan tesislerde özgül nem alma hızının düşük olduğu, düşük nem içeriğine sahip ürün kurutulan tesislerde ise özgül nem alma hızının daha yüksek olduğu tespit edilmiştir.

- Ekserji verimliliğinin yüksek olması istenen durumlarda kurutma havasının giriş sıcaklığının yüksek, bağıl neminin düşük ve debisinde çok yüksek olmaması gerekmektedir.
- Isıtıcı verimliliği açısından en iyi tesis %95.23 verime sahip yakıt olarak LPG kullanılan tesistir.
- Sistemin enerji verimliliği açısından en tercih edilebilir olan tesis %79.7 verimi olan yakıt olarak LNG kullanılan tesistir.
- Ekserji verimliliği açısından daha düşük debideki katı yakıt kullanan tesisler %78 civarındaki verimleri en verimli tesislerdir.
- 1 kg nem kütle sin ürün den uzaklaştırılması için harcanan enerji miktarının ifadesi olan özgül nem alma hızı bakımından en terci edilebilir tesisin 0.2499665 kg_w/kWh özgül nem alma hızı ile düşük kalitede ve düşük sıcaklık çalışma koşuluna sahip katı yakıtlı tesisin olduğu sonucuna ulaşılmıştır.
- Birim zamanda uzaklaştırılan nemin kütle sinin 55.9025 kgw/h olan yakıt olarak LNG kullanılan tesisin nem alma hızı açısından en verimli sistem olduğu sonucuna ulaşılmıştır.
- Birim miktarda suyu uzaklaştırmak için gerekli enerji miktarının en düşük olan düşük kalitedeki kömür kullanan tesis için 13088.6 kJ/kgw özgül enerji tüketimi ile en tasarruflu sistemdir.
- Düşük kalitedeki kömür kullanan tesis 0.00478866 kg/TL olan birim kurutma maliyeti ile en ucuz işletme maliyetine sahip tesis olduğu sonucuna ulaşılmıştır.
- Yapılan analiz neticesinde kömür kullanılan tesislerde maliyetin düşük olduğu ancak yüksek sıcaklıklarda çalışmanın maliyeti ciddi oranlarda artırdığı tespit edilmiştir. LNG kullanılan tesislerin LPG kullanılan tesislere göre çok daha düşük tüketime sahip olduğu tespit edilmiştir.
- Yapılan analiz neticesinde ekserji verimliliğini etkileyen temel parametrelerin kurutma havasının sıcaklığı, kurutma hava nem içeriği ve hava hızı olduğu tespiti yapılmıştır.
- Kurutma havasının temas ettiği ürün miktarının artması ile ekserji veriminin arttığı belirlenmiştir.

- Tesislerde kurutma makinesinin yanlış konumlandırılmasından dolayı tahliye edilemeyen nem içeriği yüksek olan havanın tekrar sisteme giriş yapması sistem verimini düşürür.

5.2. Öneriler

Enerji kaynaklarının yetersizliği , genel anlamda enerji ithal eden bir ülke konumunda olmamız ve döviz kuruna bağlı olarak enerji birim fiyatlarındaki anormal artışlar enerji verimliliğini daha önemli bir konuma taşımıştır. Enerji tasarrufuna yönelik yapılması muhtemel iyileştirmeler ve öneriler aşağıda maddeler halinde sıralanmıştır;

- LPG, kaliteli kömür ve kalitesiz kömür kullanılan tesislerde atık kurutma havasının tahliye edilememesinden dolayı ısıtıcı giriş nem içeriğinin fazla olması sistemin nem alma kapasitesini düşürdüğünden yakıt sarfiyatı artmaktadır. LNG kullanılan tesiste olduğu gibi nem tahliyesinin daha kolay olacağı şekilde kurutucunun konumlandırılması ile enerji tasarrufu sağlanabilir.
- Düşük maliyet istenen durumlarda birim kurutma maliyeti en az olan kalitesiz kömür kullanan tesiste kurutma işlemi yapılmalıdır.
- Kısa sürede kurutma işlemi yapılması istenen durumlarda LNG ve kaliteli kömür kullanılan tesisler öne çıkmaktadır. Ancak enerji verimliliği ve birim kurutma maliyetleri göz önünde bulundurulduğunda LNG kullanan tesiste kurutma işlemi yapılmalıdır.
- Kömürlü tesislerde yüksek sıcaklıkta çalışma istenilen durumlarda kaliteli kömür kullanılması gerekmektedir.
- Son dönemde LPG ve LNG kullanılan tesislerin kömürlü tesislere dönüşümü birim kurutma maliyetinin azaltılması için gerekli bir işlem olarak görülmektedir. Ancak enerji verimliliğini düşürdüğünden bu dönüşümün yapılması önerilmez.
- LPG kullanan tesisin enerji ve ekserji verimleri beklenen değerlerin altında kalmıştır. Bu durumun ana nedeni periyodik bakımının

yapılmamış olmasıdır. Enerji tasarrufu ve sağlıklı bir kurutma işlemi için periyodik bakımların düzenli yapılması önerilmektedir.

- Yapılan analiz neticesinde TSE 'nin yem olarak kullanılan mısır için belirlediği ideal kurutma sıcaklığı olan 80 °C 'ye yakın sıcaklıkta kurutma yapılan durumlarda kurutma maliyetinin azaldığı görülmektedir. Dolayısıyla hem sağlık bir kurutma hem de ekonomik bir kurutma için 80°C ve ona yakın sıcaklıklarda kurutma işleminin yapılması önerilmektedir.
- Kömürlü sistemlerde kazandan çıkan baca gazının sisteme geri kazandırılması ile enerji verimliliğinde ciddi oranda artış sağlanabilir.
- Kurutma prosesine giren kurutma havası homojen bir şekilde dağılmaz. Isıtıcı ve proses bağlantısını sağlayan borulara yönlendirme kanatçıkları entegre edilerek havanın homojen dağılması sağlanarak daha sağlıklı ve kaliteli bir kurutma işlemi yapılabilir.
- Mevcut sistemlere ürün karıştırıcısı eklenerek daha homojen bir kurutma sağlanabilir.
- Nemli ve sıcak atık hava ısı değiştiricisi kullanılarak giriş havasında sıcaklığında 2 ile 5°C arasında bir artış sağlayabilir.

KAYNAKLAR

- AGHBASHLO, M., MOBILI, H., RAFIEE, S. and MADADLOU, A., 2013. A Review on Exergy Analysis of Drying Processes and Systems. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 22: 1–22.
- AKAN, A. E., 2012. İplik Kurutma Prosesinin Enerji ve Ekserji Analizi, Namık Kemal Üniversitesi ,Fen Bilimleri Enstitüsü. Yüksek Lisans Tezi, Tekirdağ, 65s.
- AKPINAR K. E., MIDILLI A. and BICER, Y., 2006. The First and Second Law Analyses of Thermodynamic of Pumpkin Drying Process. *Journal of Food Engineering*, 72: 320–331.
- AKTACİR, M.A., 1997-98. Şanlıurfa Biberinin Kurutma Parametrelerinin Belirlenmesi.Proje Raporu,Harran Üniversitesi Araştırma Fonu,Şanlıurfa, Proje No: 68.
- BAŞ, B., 2010. Mısırın Çeşitli Kurutma Yöntemleri,yle Kurutulması Üzerinde Bir Araştırma. Namık Kemal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Tekirdağ, 46s.
- BOULEMTAFES-BOUKADOUM A. and BENZAOUI, A., 2011. Energy and Exergy Analysis of Solar Drying Process of Mint. *Energy Procedia*, 6: 583–591.
- CORZO, O., BRACHO, N., VASQUEZ, A. and PEREIRA, A., 2008. Energy and Exergy Analyses of Thin Layer Drying of Coroba Slices. *Journal of Food Engineering*, 86: 151–161.
- COLAK, N., HEPBAŞLI, A., 2007. Performance Analysis of Drying of Green Olive İn A Tray Dryer. *Journal of Food Engineering*, 80 : 1188-1193.
- DENİZ, Z., 2010. Akışkan Yataklı Kurutucu Modellemesi ve Analizi. İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 66s.
- DINCER, I. , 2011. Exergy As A Potential Tool For Sustainable Drying Systems. *Sustainable Cities and Society*, 1: 91– 96.
- DINCER, I. and SAHİN, A. Z., 2004. A New Model For Thermodynamic Analysis of A Drying Process. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 47: 645–652.
- ERBAY, Z. and İÇİER, F., 2008. Ekserji Analizi Yönteminin Gıda Kurutmasındaki Önemi ve Uygulamaları. *Akademik Gıda*, 6: 18-27.
- ERBAY Z. and HEPBASLI A., 2014. Application of Conventional and Advanced Exergy Analyses to Evaluate The Performance of A Ground-Source Heat Pump (Gshp) Dryer Used in Food Drying. *Energy Convers. Manag.*, 78: 499–507,
- ERBAY, Z., 2008. Zeytin Yaprağının Sıcak Hava İle Kurutulmasını Modellenmesi, Optimizasyonu ve Ekserji Analizi. Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İzmir, 240s.
- GÜNGÖR, A., GÜNERHAN, H. and HEPBASLI A., 2014. Gaz Tahrikli Isı Pompalarının Kurutmada Kullanımının Deneysel İncelenmesi. *Tesisat Mühendisliği*, 12: 32–41.

- İZLİ, N., 2007. Mısırın Sıcak Hava Akımıyla Kurutulmasında Kurutma Parametrelerinin Belirlenmesi. Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Bursa,67s.
- KALOGIROU, S. A., KARELLAS, S., BRAIMAKIS, K. and STANCIU, C., 2016. Exergy Analysis of Solar Thermal Collectors and Processes. Progress in Energy and Combustion Science, 56: 106–137.
- KUMAR, R., 2016. A Critical Review on Energy , Exergy , Exergoeconomic and Economic (4-E) Analysis of Thermal Power Plants. Engineering Science and Technology, <http://dx.doi.org/10.1016/j.jestch.2016.08.018>.
- KUZGUNKAYA E.H. and HEPBASLI A., 2007. Exergetic Evaluation of Drying of Laurel Leaves in a Vertical Ground-Source Heat Pump Drying Cabinet. International Journal of Energy Research, 31: 248-258.
- KUZGUNKAYA E.H. and HEPBASLI A., 2007. Exergetic Performance Assesment of a Ground-Source Heat Pump Drying System. International Journal of Energy Research, 31: 760-777
- MEGEP, 2012. Gıda Teknolojisi Sebzeleri Kurutma. Millî Eğitim Bakanlığı, 57s.
- MEGEP, 2008. Gıda Teknolojisi Meyveleri Kurutma. Millî Eğitim Bakanlığı, 33s.
- NAZGHELICHI, T., KIANMEHR, M. H., and AGHBASHLO, M., 2010. Thermodynamic Analysis of Fluidized Bed Drying of Carrot Cubes. Energy, An International Journal, 35: 4679–4684.
- ÖZDEŞ, M., 2013. Kurutma Prosesinde Kurutma Hava Hız ve Sıcaklığının Ekserji Verimine Etkisi. Aksaray Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Aksaray, 75s.
- PRAKASH, O. , KUMAR, A. and LAGURI, V. , 2016. Performance of Modified Greenhouse Dryer With Thermal Energy Storage. Energy Reports, 2: 155–162.
- PROMMAS, R., KEANGIN, P., RATTANADECHO, P., (2010) Energy and exergy analyses in convective drying process of multi-layered porous packed bed. International Communications in Heat and Mass Transfer, 37: 1106–1114.
- RABHA, D. K., MUTHUKUMAR, P. and SOMAYAJI, C., 2017. Energy and Exergy Analyses of The Solar Drying Processes of Ghost Chilli Pepper and Ginger. Renewable Energy, 105: 764–773.
- SYAHRUL S., HAMDULLAHPUR F. and DINCER I., 2002. Exergy Analysis of Fluidized Bed Drying of Moist Particles. Exergy, An International Journal, 2: 87–98.
- SYAHRUL S., DİNCER I. and HAMDULLAHPUR F., 2003. Thermodynamic Modelling of Fluidized Bed Drying of Moist Particles. International Journal of Thermal Sciences, 42: 691-701.
- SEVIK, S., AKTAS, M., DOGAN, H. and YILMAZ, A., 2014. Thermo-Economic Analysis of Red Pepper Drying In A Small Scale Greenhouse Type Dryer, Journal of Polytechnic, 17: 143-152.
- TAŞDAN, K., 2005. Türkiye Mısır Piyasası. Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Adana, 199s.
- TEKİN E., KARAGÜZEL İ. and TOPUZ A., 2011. Akışkan Yatakta Kurutma Prosesinin Enerji ve Ekserji Analizi. 18. Ulusal Isı Bilimi ve Tekniği Kongresi, 07-10 Eylül, Zonguldak.

- VILARINHO, A. N., CAMPOS, J. B. L. M. and PINHO, C., 2016. Case Studies In Thermal Engineering Energy and Exergy Analysis of An Aromatics Plant. Case Studies in Thermal Engineering, 8: 115–127.
- YAHYA, M., FUDHOLI, A. and SOPIAN, K., 2017. Energy and Exergy Analyses of Solar-Assisted Fluidized Bed Drying Integrated With Biomass Furnace. Renewable Energy, 105: 22–29.
- YILMAZ, S., 2010. Mısırın Dinlendirme Kuruma Davranışının İncelenmesi. Trakya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Edirne, 95s
- YÜREKDELEN, M., 2012. Yatay Tip Mısır Kurutma Makinesi Tasarımı. Mersin Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Mersin, 64s.



ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı	Ahmet KAHRAMAN
Uyruğu	T.C.
Doğum Yeri ve Tarihi	MARDİN - 05.09.1992
Telefon :	05442984706
e-mail :	ahmetkahraman1992@gmail.com

EĞİTİM

Derece	Adı, İlçe, İl	Bitirme Yılı
Lise :	Bursa Anadolu Kız Lisesi	BURSA 2009
Üniversite :	Harran Üniversitesi	ŞANLIURFA 2015
Yüksek Lisans :	Harran Üniversitesi	ŞANLIURFA 2018

YAYINLAR

F. ÜNAL, BULUT, H., KAHRAMAN, A. (2017). Energy and Exergy Analysis İn Horizontal Type Corn Drying Plant-Yatay Tip Mısır Kurutma Tesisinde Enerji Ve Ekserji Analizi. Proceedings of International Conference on Multidisciplinary, Science, Engineering and Technology (IMESET'17 Bitlis), 221-226.