

T.C.
BOZOK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Yüksek Lisans Tezi

SERAMİK FABRİKASI
ENERJİ VE EKSERJİ ANALİZİ

Hatice AFŞAR

Tez Danışmanı

Yrd. Doç.Dr. Tahir AYATA

Yozgat 2011

T.C.
BOZOK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Yüksek Lisans Tezi

SERAMİK FABRİKASI
ENERJİ VE EKSERJİ ANALİZİ

Hatice AFŞAR

Tez Danışmanı

Yrd. Doç. Dr. Tahir AYATA

Yozgat 2011

T.C.
BOZOK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

TEZ ONAYI

Enstitümüzün Makine Anabilim Dalı 7011090006 numaralı öğrencisi Hatice AFŞAR'ın hazırladığı “**Seramik Fabrikası Enerji ve Ekserji Analizi**” başlıklı **DOKTORA/YÜKSEK LİSANS** tezi ile ilgili TEZ SAVUNMA SINAVI, Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliği uyarınca 10/05/2008 Cuma günü saat 10:00'da yapılmış, tezin onayına **ÖY ÇOKLUĞU / OY BİRLİĞİYLE** karar verilmiştir.

Başkan : Yrd. Doç.Dr. Atila Abir İĞCİ



Üye : Yrd. Doç. Dr. Tahir AYATA (Danışman)



Üye : Yrd. Doç. Dr. Hamdi TAPLAK



ONAY:

Bu tezin kabulü, Enstitü Yönetim Kurulu'nun **24/06/2011** tarih ve **07** sayılı kararı ile onaylanmıştır.

24/06/2011

Enstitü Müdürü
Yrd. Doç. Dr. Mustafa EROL
Bozok Üniversitesi
Fen Bil. Enst. Müdür V.

İÇİNDEKİLER

| | |
|--|------------|
| ÖZET | I |
| ABSTRACT | II |
| TEŞEKKÜR | III |
| ŞEKİL LİSTESİ | IV |
| TABLolar | V |
| SEMBOLLER | VII |
| 1. SERAMİK ve ÜRETİM | 1 |
| 1.1. SERAMİK ÜRETİMİ..... | 1 |
| 1.2. SERAMİĞİN BİLEŞENLERİ..... | 1 |
| 1.3. SERAMİĞİN TARİHİ..... | 1 |
| 1.4. ANADOLU'DA SERAMİK ÜRETİMİ..... | 2 |
| 1.5. KAPLAMA MALZEMELERİ..... | 3 |
| 1.6. TÜRKİYE'NİN SERAMİK TİCARETİ..... | 3 |
| 2. SERAMİK FABRİKASINDA ÜRETİM | 5 |
| 2.1. ÜRETİM PROSESİ..... | 5 |
| 2.1.1. TEMEL TEKNOLOJİK PARAMETRELER..... | 6 |
| 2.1.2. Seramik Üretim Makineleri..... | 9 |
| 2.2. YERKÖY KALE SERAMİK FABRİKASI ÜRETİM VE TÜKETİM VERİLERİ..... | 15 |
| 3. EKSERJİ ANALİZİ | 16 |
| 3.1. EKSERJİ KAVRAMINA GİRİŞ..... | 16 |
| 3.2. ENERJİ FORMLARININ SINIFLANDIRILMASI..... | 17 |
| 3.2.1. DÜZENLİ ENERJİ..... | 17 |
| 3.2.2. DÜZENSİZ ENERJİ..... | 17 |
| 3.3. EKSERJİ KAVRAMI..... | 18 |
| 3.4. ÇEVRE..... | 18 |
| 3.5. DENGE..... | 19 |
| 3.6. DEĞİŞİK ENERJİ TÜRLERİNİN EKSERJİLERİ..... | 19 |
| 3.6.1. İŞ TRANSFERİ İLE EŞLEŞEN ENERJİ..... | 20 |
| 3.6.2. ISI TRANSFERİ İLE EŞLEŞEN EKSERJİ..... | 20 |
| 3.6.3. MADDE AKIŞI İLE EŞLEŞEN EKSERJİ..... | 21 |
| 3.7. EKSERJİ BİLEŞENLERİ..... | 21 |
| 3.7.1. EKSERJİNİN KİNETİK VE POTANSİYEL BİLEŞENLERİ..... | 21 |
| 3.7.2. FİZİKSEL EKSERJİ..... | 22 |
| 3.7.3. KİMYASAL EKSERJİ..... | 23 |

| | |
|--|-----------|
| 3.8. ENERJİ VE EKSERJİ ANALİZİ..... | 23 |
| 4. HESAPLAR..... | 26 |
| 4.1. SPREY KURUTUCU..... | 26 |
| 4.1.1. SPREY KURUTUCUNUN KÜTLE ANALİZİ..... | 26 |
| 4.1.2. SPREY KURUTUCUNUN ENERJİ ANALİZİ..... | 28 |
| 4.1.2.1. SPREY KURUTUCUNUN ENERJİ VERİMLİLİĞİ..... | 28 |
| 4.1.3. SPREY KURUTUCUNUN EKSERJİ ANALİZİ..... | 29 |
| 4.3. DİKEY KURUTUCU..... | 33 |
| 4.2.1. DİKEY KURUTUCU KÜTLE ANALİZİ..... | 33 |
| 4.2.2. DİKEY KURUTUCUNUN ENERJİ ANALİZİ..... | 35 |
| 4.2.2.1. DİKEY KURUTUCU ENERJİ VERİMLİLİĞİ..... | 36 |
| 4.2.3. DİKEY KURUTUCUNUN EKSERJİ ANALİZİ..... | 36 |
| 4.3. FIRIN..... | 41 |
| 4.3.1. FIRIN KÜTLE ANALİZİ..... | 41 |
| 4.3.2. FIRIN ENERJİ ANALİZİ..... | 43 |
| 4.3.2.1. FIRIN ENERJİ VERİMLİLİĞİ..... | 44 |
| 4.3.3. FIRIN EKSERJİ ANALİZİ..... | 44 |
| 5. SONUÇ VE DEĞERLENDİRMELER..... | 50 |
| KAYNAKLAR..... | 52 |

SERAMİK FABRİKASI
ENERJİ VE EKSERJİ ANALİZİ

Hatice AFŞAR

Bozok Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı
Yüksek Lisans Tezi

2011; Sayfa:52

Tez Danışmanı: Yrd. Doç. Dr. Tahir AYATA

ÖZET

Enerji analizi termodinamiğin birinci kanununa dayalı bir analiz olup, ısı kayıplarını azaltmak ve yeniden kazanılan ısıyı artırmak için kullanılırken, işlemde meydana gelen enerji azalması hakkında herhangi bir bilgi vermez. Ekserji analizi Termodinamiğin birinci ve ikinci kanuna dayalı olup, işlemdeki ekserji azalması olan yerleri açıkça belirterek teknoloji ya da operasyonların gelişmesini sağlar. Bu çalışmada, Seramik fabrikasında enerji ve ekserji analizi yapılmıştır. Bu çalışmada, Seramik fabrikasında enerji ve ekserji analizi yapılmıştır; sprej kurutucu, dikey kurutucu ve fırın prosesinde çalışma yapılmıştır. Bu çalışmayı yaparken termodinamiğin birinci ve ikinci kanunlarından yararlanarak sistemin enerji kayıpları bulunarak bu kayıpları minimuma indirecek ve sistem verimini artırmak için sistemde iyileştirme teklifleri yapılacaktır.

Anahtar Kelime: Enerji Analizi, Ekserji Analizi, Seramik, Dikey Kurutucu, Sprej Kurutucu

ENERGY AND EXERGY ANALYSIS OF CERAMIC PLANT

Hatice AFŞAR

**Bozok University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Mechanical Engineering
Master Thesis of Science**

2011; Pages:52

Thesis Supervisor: Assist Prof. Tahir AYATA

ABSTRACT

Energy analysis is based on first law of thermodynamics. Energy analyses is used for reduce the heat loss and to increase the heat gain. It doesn't give any information about the process occurring in energy reduction. Exergy analysis is based on first and second law of thermodynamics. Exergy analysis is explicitly specifying the locations of operations of exergy decrease in the process.

In this study, the ceramic plant energy and exergy analysis is investigated. Exergy analysis is studied in Spray dryer, Vertical Dryer and Furnace Process. The firs aim of in this study; minimize the energy losses of system using by first and second laws of thermodynamics to increase the efficiency of the system.

Key Word: Energy Analyse, Exergy Analyse, Ceramic, Vertical Dryer, Spray Dryer.

TEŐEKKÖR

Bu çalışmada desteklerini esirgemeyen hocam Doç. Dr. Tahir AYATA'ya, Yerköy Kale Seramik Fabrikasının değerli alıőanı Mak. Müh. Özkan ALKAN'a, ve de her zaman yanımda olan aileme ve biricik kardeőim Havva Nur AFŞAR'a teşekkür ederim.

ŞEKİLLER LİSTESİ

| | <u>Sayfa</u> |
|---|--------------|
| Şekil 2.1. Üretim Prosesi..... | 6 |
| Şekil 2.2. Açık Hammadde Stok Alanı..... | 6 |
| Şekil 2.3. Kapalı Stok Alanı..... | 7 |
| Şekil 2.4. Değirmenin Görünümü..... | 10 |
| Şekil 2.5. Sprey Kurutucunun Görünümü..... | 11 |
| Şekil 2.6. Sprey Kurutucunun Şematik Görünümü..... | 12 |
| Şekil 2.7. Dikey Kurutucunun Kesit Görünümü..... | 13 |
| Şekil 2.8. Fırının Görünümü..... | 14 |
| Şekil 3.1. Ekserji Kullanımı..... | 18 |
| Şekil 3.2. Isı ve İş Ekserjisi İle Eşleşen Enerji Transferi..... | 20 |
| Şekil 4.1. Sprey Kurutucuya Giren ve Çıkan Materyallerin Gösterimi..... | 26 |
| Şekil 4. 2. Sprey Kurutucu Giriş Çıkış Ekserji Değerleri..... | 33 |
| Şekil 4.3. Dikey Kurutucu..... | 33 |
| Şekil 4.4. Dikey Kurutucu Giriş Çıkış Ekserji Değerleri..... | 41 |
| Şekil 4.5. Fırın..... | 41 |
| Şekil 4.6. Fırın Giriş Çıkış Ekserji Değerleri..... | 49 |

TABLolar LİSTESİ

| | <u>Sayfa</u> |
|---|--------------|
| Tablo.1.1. Türkiye Seramik Sanayi Üretimi..... | 3 |
| Tablo 2.1. Bünye Hazırlama..... | 5 |
| Tablo 4.1. Sprey Kurutucu Kütle Denge Analizi..... | 26 |
| Tablo 4.2. Sprey Kurutucuya Giren Maddelerin Bileşik ve Yüzdeleri..... | 27 |
| Tablo 4.3. Sprey Kurutucudan Çıkan Maddelerin Bileşik ve Kütle Analizi.... | 27 |
| Tablo 4.4. Sprey Kurutucuya Giren Maddelerin Enerji Değerleri..... | 28 |
| Tablo 4.5. Sprey Kurutucudan Çıkan Maddelerin Enerji Değerleri..... | 28 |
| Tablo 4.6. Sprey Kurutucu Giriş Fiziksel Ekserji..... | 29 |
| Tablo 4.7. Sprey Kurutucu Giriş Kimyasal Ekserji..... | 30 |
| Tablo 4.8. Sprey Kurutucu Çıkış Fiziksel Ekserjisi..... | 31 |
| Tablo 4.9. Sprey Kurutucu Çıkış Kimyasal Ekserjisi..... | 32 |
| Tablo 4.10. Sprey Kurutucu Giriş Çıkış Ekserji Değerleri..... | 32 |
| Tablo 4.11. Dikey Kurutucu Kütle Analizi..... | 34 |
| Tablo 4.12. Dikey Kurutucuya Girin Maddelerin Bileşikleri ve Yüzdeleri..... | 34 |
| Tablo 4.13. Dikey Kurutucudan Çıkan Maddelerin Bileşikleri ve Yüzdeleri..... | 35 |
| Tablo 4.14. Dikey Kurutucuya Giren Maddelerin Enerji Değerleri..... | 35 |
| Tablo 4.15. Dikey Kurutucudan Çıkan Maddelerin Enerji Değerleri..... | 36 |
| Tablo 4.16. Dikey Kurutucu Giriş Fiziksel Ekserji..... | 37 |
| Tablo 4. 17. Dikey Kurutucu Giriş Kimyasal Ekserji..... | 38 |
| Tablo 4.18. Dikey Kurutucu Çıkış Fiziksel Ekserji..... | 39 |
| Tablo 4.19. Dikey kurutucu çıkış kimyasal ekserji..... | 40 |
| Tablo 4.20. Dikey Kurutucu Giriş-Çıkış Fiziksel ve Kimyasal Ekserji Değerleri. | 40 |
| Tablo 4.21. Fırın Kütle Analizi..... | 42 |
| Tablo 4.22. Fırına Girin Maddelerin Bileşikleri ve Yüzdeleri..... | 42 |
| Tablo 4.23. Fırından Çıkan Maddelerin Bileşikleri ve Yüzdeleri..... | 43 |
| Tablo 4.24. Fırına Giren Maddelerin Enerji Değerleri..... | 43 |
| Tablo 4.25. Fırından Çıkan Maddelerin Enerji Değerleri..... | 44 |
| Tablo 4.26. Fırın Giriş Fiziksel Ekserjisi..... | 45 |

| | |
|--|----|
| Tablo 4.27. Fırın Giriş Kimyasal Ekserji..... | 46 |
| Tablo 4.28. Fırın Giriş Fiziksel Ekserjisi..... | 47 |
| Tablo 4.29. Fırın Çıkış Kimyasal Ekserji..... | 48 |
| Tablo 4.30. Fırın Giriş-Çıkış Fiziksel ve Kimyasal Ekserji Değerleri..... | 48 |
| Tablo 5.1. Tesisin Enerji Analizi..... | 50 |
| Tablo 5.2. Tesisin Ekserji Analizi..... | 50 |

SEMBOLLER

| | |
|----------------------|---|
| C_p | : Sabit basınçta özgül ısı (kj/kg K) |
| E | : Toplam enerji (kj) |
| e | : Spesifik ekserji (kj/kg) |
| h | : Entalpi (kj/kg) |
| s | : Entropi (kj/kg) |
| i | : birim kütle başına düşen tersinmezlik (kj/kg) |
| I | : Tersinmezlik (kj) |
| K | : Kullanılabilirlik (kj) |
| K_a | : Akış kullanılabilirliği (kj/kg) |
| M | : Kütle (kg) |
| m | : Birim kütle (kg) |
| P | : Basınç (bar. kPa) |
| R | : Gaz sabiti (kj/kg K) |
| T | : Sıcaklık (k) |
| t | : Zaman |
| Q | : Isı alışverişi (kj) |
| W | : İş (kj/kg) |
| E_x | : Ekserji |
| η | : Verim |

1. SERAMİK ve ÜRETİMİ

Seramik bir veya birden fazla metalin, metal olmayan element ile birleşmesi ve sinterlenmesi sonucu oluşan inorganik bileşiktir.

1.1. Seramik Üretimi

Genellikle kayaların dış etkiler altında parçalanması ile oluşan kil, kaolen ve benzeri maddelerin yüksek sıcaklıkta pişirilmesi ile meydana gelir. Bu açıdan halk arasında *pişmiş toprak* esaslı malzeme olarak bilinir. Örneğin, cam, tuğla, kiremit, taş, beton, çimento, aşındırıcı tozlar porselen ve refrakter malzemeler bu gruba girer. Kil belirli bir üretim sürecini geçirdikten sonra, sert ve deforme olmayan, bazı özel etkenler dışında hiçbir dış etkiden kolayca etkilenmeyen bir malzeme haline gelir. Seramik malzeme üretiminde, kil hamuruna belirli maddeler katarak, değişik şekillendirme yöntemleriyle, kullanılan hamurun bünyesine uygun bir pişirme ile, seramik malzemeye istenilen niteliği kazandırma imkânı vardır.

1.2. Seramiğin Bileşenleri

Bileşiminde değişik türde silikatlar, alüminatlar ve bir miktar metal oksitler ile alkali ve toprak alkali bileşikler bulunan bir malzemedir. Seramik grubuna oksitler, nitritler, boridler, karbitler, silikatlar ve sülfidler girmektedir. Bazı seramiklerde iyonsal, kısmen kovalent bağ bulunabilir. Bazıları amorf, bazıları da kristal yapıdadırlar. Çok sert ve gevrekler. Erime sıcaklıkları yüksek (silis 1750°C'de alüminat 2050°C'de erir), ısı ve elektriksel yönden yalıtandırlar. Silise %6 alüminat katılırsa erime sıcaklığı 1550°C'e düşer. Demir oksit ve alkali bileşikler erime sıcaklığını daha da azaltarak 900°C'ye kadar düşürebilir.

1.3. Seramiğin Tarihi

Seramiğin tarihçesi tahkik edildiğinde, birbirinden bağımsız ve farklı olarak gelişmiş iki ayrı bölgesi görülür. Birincisi Güneydoğu Asya'da, 8-13. ncü asırlarda gelişmiş Pers Çinisi adı verilen yumuşak (düşük derecede) pişmiş seramik olup. Kuzey Afrika'dan Rberik Yarımadasına oradan da İtalya ve Avrupa'ya yayılmıştır. Pers

Çinisi adı verilen bu yumuşak pişmiş seramik Avrupa Seramiğinin temelini teşkil etmiştir. Diğerleri; sert, yüksek derecede pişmiş seramik olup **Tang ve Sung** (8 -12. yüzyıl) devirlerinde Çin'de gelişmiş oradan Japonya'ya ve daha sonrada Avrupa'ya geçmiştir. Bu sert - pişmiş seramik Avrupada Porselen adını almıştır [1].

1.4. Anadolu'da Seramik Üretimi

Anadolu'da seramik ve çini yapımı, kökleri 8000 yıl öncesine uzanan geleneksel bir sektördür. Ticari anlamda seramik üretimi 1960'larda başlamıştır. Kurulu kapasite miktarları, ürün kalitesi ve ürün çeşitliliği gibi faktörler göz önüne alındığında, Türk seramik sanayi içinde en gelişmiş alt sektörler kaplama malzemeleri ve sağlık gereçleri üretimin nispeten daha az olduğu alt sektörler ise sofraya ve süs eşyaları ile teknik seramikler ve refrakter malzemeler sektörüdür. Türk seramik sanayii hammadde ihtiyacının hemen hemen tümünü yurtiçinden karşılamaktadır. Gelişmekte olan ülkeler kategorisinde yer alan Türkiye için enerji tüketimi, dünya ortalamalarının üzerinde bir artış trendi izleyeceği görüntüsünü vermektedir. Ülkemizdeki enerji maliyetlerinin yüksek olması enerji kullanımı konusunda daha verimli olmamızı gerektirmektedir. Ancak burada sözü edilen, ekonomik büyümeden ve çağdaş yaşam koşullarından ödün vererek daha az enerji tüketmek anlamında değildir. Enerji kayıplarını minimuma indirerek, tüketimin maksimum verimle gerçekleştirilmesi, üretim hızı ve kalitesinin düşmeden verimliliğin artırılmasını sağlayacaktır [2,3].

Daha yüksek verimle enerji kaynaklarını kullanma hedefine ulaşmak için sistemde ekserji analizlerinin yapılması oldukça yararlı bir yöntemdir. Çünkü bu, kayıpların ve fazlalıkların ilgili büyüklüklerini, şekillerini ve konumlarını tespitine olanak sağlamaktadır. Bu sebeple mühendisler üretim dizaynlarında ekserji kayıplarını minimuma indirecek şekli kullanırlar [4,5]. Ülkemiz nihai enerji tüketimi içindeki yaklaşık % 35, elektrik tüketiminde % 54 tüketim payına sahip olan sanayi sektörü, hem yüksek enerji tasarruf potansiyeli, hem de tükettiği enerjinin tümüne yakınının ticari enerji olması nedeniyle enerji tasarrufu çalışmalarında öncelikli sektördür. Ayrıca 1996 yılında % 34,7 olan sanayi enerji tüketim payınının 2001'de % 37, 2010'da % 56 olması beklenmektedir. Bu oranlar da, sanayi sektör yapısının enerji tasarrufu açısından irdelenmesi gerektiğini ortaya koymaktadır [6].

1.5. Kaplama Malzemeleri

Kaplama malzemeleri alt sektöründe 28 firma bulunmaktadır. Toplam kurulu kapasitenin %80'inden fazlası beş büyük firmaya aittir. 1980 sonrası kurulu kapasite 11 katına çıkmıştır 2003 yılı itibariyle üretim miktarı 2.6 milyon tondur. Bu alt sektör yaklaşık 40 yıllık bir geçmişe sahip olmasına karşın, hızla gelişmiş; üretimde *dünyada beşinci, Avrupa'da ise üçüncü* duruma gelmiştir. Hem dünya ihracatında hem de Avrupa ihracatında, İtalya ve İspanya'dan sonra üçüncü sırada yer almaktadır. Yerel tüketim açısından da dünyada sekizinci büyük pazardır. Yurt içi talebin yaklaşık %99'u yerli üretimle karşılanmaktadır. Sektördeki en büyük karo üreticisi, Kale Grubudur. Kale Grubu, 60 milyon m²'lik karo üretimi ile, aynı zamanda dünyadaki en büyük karo üreticisidir. Kale'yi takip eden diğer firmalar; Toprak, Ege, Eczacıbaşı ve Kütahya'dır. Kele Seramik, Toprak Seramik ve Ege Seramik dünyadaki en büyük 20 seramik fabrikası arasında yer almaktadır. Karo üretimi yapan firmaların tümü ISO 9001 belgelidir ve firmalar aynı zamanda, ihracat yaptıkları ülkelerin standartlarına ilişkin belgelere de sahiptir [7].

Tablo.1.1. Türkiye Seramik Sanayi Üretimi (*Birim: 1000 Ton*) [7]

| | 2000 | 2001 | 2002 | 2003 |
|----------------------|------|------|------|------|
| Kaplama malzemesi | 2296 | 2296 | 2150 | 2639 |
| Sağlık gereçleri | 133 | 125 | 127 | 142 |
| Sofra ve süs eşyası | 42 | 40 | 41 | 45,1 |
| Teknik seramik | 10 | 10 | 8,5 | 9,4 |
| Refrakter malzemeler | 291 | 273 | 272 | 282 |

1.6. Türkiye'nin Seramik Ticareti

Seramik sanayi ihracatı sürekli olarak artmaktadır. Mevcut üretim kapasitesinin sürekli artmasına karşın, iç tüketim özellikle inşaat sektörünün durgun olduğu dönemlerde aynı dönemlerde artış gösterdiği için artan kapasite sürekli olarak ihracata yönlendirilmektedir. Sektör, üretimin yaklaşık %30'unu ihraç etmektedir. İhracat yapılan ülkelerin sayısı da giderek artmaktadır. 2005 yılında, 150 civarında

ülkeye ihracat yapmıştır. İhracatın yaklaşık %55'i Avrupa Birliği ülkelerine yapılmaktadır. AB ülkeleri içinde, İngiltere'nin payı %16, Almanya'nın %12, Fransa'nın payı %7'dir. AB ülkelerinden sonra en fazla ihracat yapılan ülkeler, ABD (%16), İsrail (%6) ve Kanada'dır %5 [7].

2. SERAMİK FABRİKASINDA ÜRETİM

2.1. Üretim Prosesi

Seramik bünye için seçilen hammaddeler ne olursa olsun, aşağıda ki üretim süreci değişmez bir biçimde uygulanır;

- Ocak seçimi, işletimi ve kalite kontrol
- Hammaddelerin karıştırılma işlemi için hazırlanması
- Öğütme ile bünye hazırlama
- Şekillendirme
- Kurutma
- Ürüne estetik katacak ek prosedürler
- Fırınlama
- Ayrım, paketleme ve depolama

Bu aşamaların her biri dikkat gerektirir ve çok dikkatli planlanmalı ve uygulanmalıdır. Kalite kontrol sabit ve esastır. Genel bir karo üretimin özeti aşama aşama aşağıda gösterilmektedir [8]:

Tablo 2.1. Bünye Hazırlama

| | |
|----------------------------|--|
| KIRICI | Kuru Çekiçli Değirmen |
| | Sarkaç Değirmen |
| | Yaş Bilyeli Değirmen |
| | Devamlı Çalışan Değirmen |
| | Hızlı Sallamalı Ayrıcı |
| ŞEKİLLENDİRME | Kuru Presleme |
| | Ekstrüzyon |
| | Döküm |
| | Çoklu Pres Dolgularıyla Dekorasyon |
| KURUTMA | Konveksiyon Yoluyla, Yavaş veya Hızlı |
| | Radyasyon Yoluyla |
| ESTETİK PROSEDÜRLER | Genellikle sırlama veya özel uygulamalar |
| FIRINLAMA | Geleneksel veya Hızlı |
| | Tek Pişirim (bünye + sır) |
| | Çift Pişirim(üzeri sırlı pişmiş bisküvi) [3] |

Şekil 2.1'deki akım şemaları genel üretim proseslerini özetlemektedir [8] .



Şekil 2.1. Seramik Üretim Prosesi

2.1.1. Temel Teknolojik Parametreler

Ürünün son özellikleri ve görünümü sadece hammaddelerin kimyasal ve mineralojik doğasına değil aynı zamanda üretim döngüsü esnasında farklı proseslerde ihtiyaç duyulan teknolojik gereksinimlere bağlıdır [8].



Şekil 2.2. Açık Hammadde Stok Alanı.



Şekil 2.3. Kapalı Hammadde Stok Alanı.

- | | |
|------------------------|------------------------|
| a- Öğütme | e- Bisküvi fırınlaması |
| b- Püskürtmeli kurutma | f- Sırlama |
| c- Presleme | g- Fırınlama |
| d- Kurutma | |

a. Öğütme

Öğütmenin amacı gelen hammaddelerin sabit tane boyutu dağılımı elde edilinceye kadar boyutunu azaltmak ve homojenleştirmektedir. Poroz tek pişirim gövdelerde hammaddelerin öğütme miktarı, diğer kimyasal ve fiziksel faktörlerle birlikte fırınlama esnasında karbonatların bozunma ve CO₂ gazı çıkış sıcaklığını etkileyebilir. Öğütme derecesi fırınlanan bileşenlerin reaktivitesini ve yeni oluşan bileşenlerin derecesini de etkileyebilir.

b. Püskürtmeli Kurutma

Bu prosesin amacı slibin içinde bulunan suyu buharlaştırmak ve bunu yaparken küresel tanecikleri oluşturmaktadır. Bu tanecikler tüm seramik karo gövdesinde benzer boyuttadırlar.

c. Presleme

Preslemenin amacı olası en yüksek yaş karo yoğunluğunu elde etmektedir. Uygulanan farklı presleme kuvvetleri farklı hacimsel yoğunlukla sonuçlanacak dolayısıyla farklı küçülme ve porozite değerleri oluşacaktır.

d. Kurutma

Gövde içerisinde kalan nem (%4-7) buharlaşmanın fiziksel fenomeni iyi anlaşılıyorsa ve kolay kontrol edilebiliyorsa, kurutma çok kolay bir aşamadır. Bu aşama boyunca, kalan nemin buharlaşmasının yanında, seramik parçanın eğilme mukavemeti artar çünkü tanecikler birbirine yaklaşır ve daha kuvvetli bir bağ kurarlar.

Tek pişirim ürünlerde eğme mukavemeti, elek baskı sırasında oluşabilecek gerilimlere dayanabilmesi için yüksek olmalıdır. Modern fırın döngülerinde, kurutma esnasında boyutsal değişimleri %0-0,3 Aralığında tutmak önemlidir, bu sayede karoların yüzeyinde veya köşelerinde oluşacak çatlak önemlidir.

e. Bisküvi fırınlaması

Fırınlama eğrileri ve fırın sıcaklıkları, istenilen fırınlanmış özelliklerini elde edebilmesi için, farklı bileşenler arasındaki reaksiyonların gelişimine izin vermeli ve yardımcı olmalıdır. Bu noktada seramik kütledeki sinterleşme reaksiyonlarının, gövdenin fiziksel ve kimyasal doğasına, öğütme derecesine, preslenmiş malzemenin hacimsel yoğunluğuna ve fırınlama sıcaklığına bağlı olduğunu göstermektedir.

f. Sırlama

Günümüzde seramik fabrikaların kataloglarında birçok tipte sır bulunmaktadır. Bunlar genellikle aşağıdaki tiplerden birine aittir.

- parlak
- mat(devitrifiye)
- rustik.

Bu ürünler kuru ve yaş uygulama teknikleriyle farklı sırları tabakalandırarak elde edilir. En çok pazar payına sahip duvar karosu ürünleri: transparan kristalin ve

opaklaştırılmış parlak beyaz sırlardır.En çok kullanılan sır uygumla aleti “çan” ünitesidir. Bu üreticilere sabit kalınlıkta ve akış hızında sır perdesinden geçen fırınlanmış veya fırınlanmamış karolar üzerinde düzgün yüzeyler elde etme imkânı sağlar.

Sır suyu, gövdenin kapilerliğine bağlı olarak sırlama esnasında bisküvi içine emilir. Bu bisküviye yapışmasına yardımcı olur ve sırnın yayılması ve kuruma zamanını etkiler.Sır “ötektik” davranış göstermeli, belirli refrakterlik karakteristiklere sahip olmalı ve sonrasında aniden eridiği 950-1030 °C sıcaklıklarına kadar gaz geçirgen olmalıdır.

g. Fırınlama

Ürünün son özelliklerini belirleye reaksiyonların burada bulunması nedeniyle, üretimin çok önemli bir bölümüdür. Çift pişimde genellikle fritler 1020-1050°C civarında sıcaklığa, ötektik ve monopoz fritleri 1080-1120°C civarında sıcaklığa ihtiyaç duyar. Her iki durumda da fırının maksimum sıcaklıkta, sırnın yayılması ve parlaklığı artırmak için, sadece birkaç dakika kalır.Hangi frit türü kullanılırsa kullanılсын, fırınlamayı 600°C'ye kadar hızlı soğutma takip eder. Bu sıcaklığa ulaşıldıktan sonra, 500°C'ye kadar yavaş soğutma yapılarak kuvars dönüşümünden kaynaklanan gerilmeler önlenir.

2.1.2. Seramik Üretim Makineleri

Tipik duvar karosu üretiminde başlıca makineleri [8];

- | | |
|----------------------------|------------------------------------|
| a- Tartım Sistemleri | f- Sırlama makineleri |
| b- Değirmenler | g- Fırınlar |
| c- Püskürtmeli kurutucular | h- Kalite ayırım |
| d- Presler | i- Transfer ve stoklama sistemleri |
| e- Kurutucular | |

a. Tartım Sistemleri

Harmanlama farklı seviyelerde otomasyona sahip makine ve ekipmanlar kullanılarak yapılır. Devamlı olmayan öğütme ile hammaddelerin harmanlanması geleneksel mekanik kaldırma türü sistemlerle veya tek tek tartım yapan yükleme bandı üzerine monte edilmiş daha sofistike sistemlerle gerçekleştirilir. Devamlı öğütme genellikle bant üzerinde mikro işlemcili devamlı tartım sistemleri kullanılır.

b. Değirmenler

Devamlı üretimi olmayan değirmenler silindir şeklinde ve çok kalın metal tabakadan yapılmıştır. Malzeme doldurma ve boşaltma kısımları vardır ve iç kısımları farklı malzemelerde astarlanmıştır, bu malzemeler silika, alubit (sinterlenmiş alümina) veya lastik olabilir. Devamlı olmayan öğütmede uygun harmanlanmış yük değirmenine önceden ayarlanmış miktarda su ve akışkanlaştırıcı ile birlikte yüklenir. Öğütme bittiğinde ve bakiye kontrol edildiğinde, silindirin döndürülmesiyle depolama tanklarına boşaltılır.



Şekil 2.4. Değirmenin Görünümü.

Devamlı öğütmede, karışım değirmene, farklı yükleme sistemleri tarafından kesilmeden, yüklenir. Hammaddeler ve deflokülanlar sulu süspansiyon olarak önceden karıştırılır. Değirmen çıkışında slip geniş-mesh eleklerle elenir. Elek bakiyesi değirmene harmanlama önce suyu ile beraber gönderilir. Slip, içerisinde karıştırıcı bulunan bekleme tankına alınır, oradan püskürtmeli kurutucuya gönderilir.

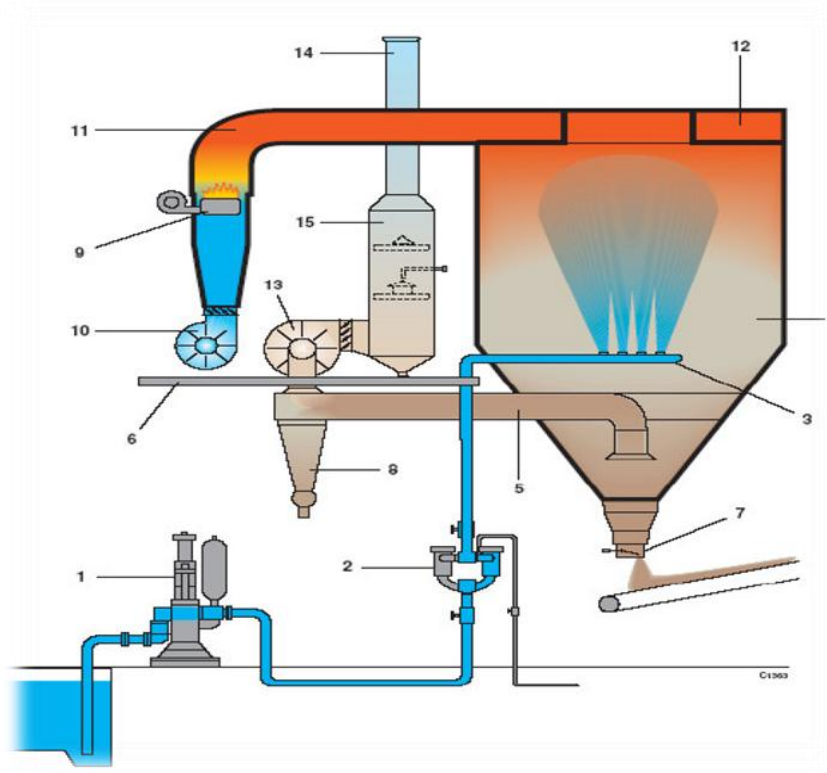
c. Sprey Kurutucular



Şekil 2.5. Sprey Kurutucunun Görünümü.

Püskürtmeli kurutma neredeyse slipteki tüm içeriğini buharlaştırır. Püskürtmeli kurutma ile su içeriği %4-7 oranına düşer. Slip, silindirin ortasına monte edilmiş halkanın üzerinde bulunan farklı boyutlardaki nozullardan aşağıdan yukarı doğru püskürtülür. Bu nozullar yüksek basınçlı pompalarla beslenir(25-30bar). Aynı anda sıcak hava silindirin tepesinden aşağıya doğru hareket eder ve teğet olarak yayılır, slip ile ters yönde akışı ısı değişimi ile sonuçlanır.

Püskürtmeli kurutma silip içine sistematik olarak karışan kirli yıkama suyu, sulu çamur ve tozlar için son ayırıcı olarak düşünülebilir. Çevresel standartlara uyumunu sağlamak için, bacadan buhar ile çıkabilecek ince tozları tutmak için kuru ve yağ filtreleri kullanılır. Püskürtmeli kurutucu, slibi, tane boyutu ve nemi kontrol edebilir, toz haline çevirebilir, bu tozlar konveyör bantlar yardımıyla silolara taşınır.



Şekil 2.6. Sprey Kurutucunun Şematik Görünümü [9].

- | | |
|--------------------------|------------------------------------|
| 1. Çamur besleme pompası | 9. Yakıt besleme sistemi ve yakıcı |
| 2. Çamur filtresi | 10. Yakma havası vantilatörü |
| 3. Dağıtıcı ring | 11. Isı iletim kanalı |
| 4. Kurutma kulesi | 12. Sıcak hava dağıtıcısı |
| 5. Toz emme borusu | 13. Emme vantilatörü |
| 6. Kaide | 14. Baca |
| 7. Mase çıkış valfi | 15. Sulu toz tutucu |
| 8. Silikon ayırıcı | |

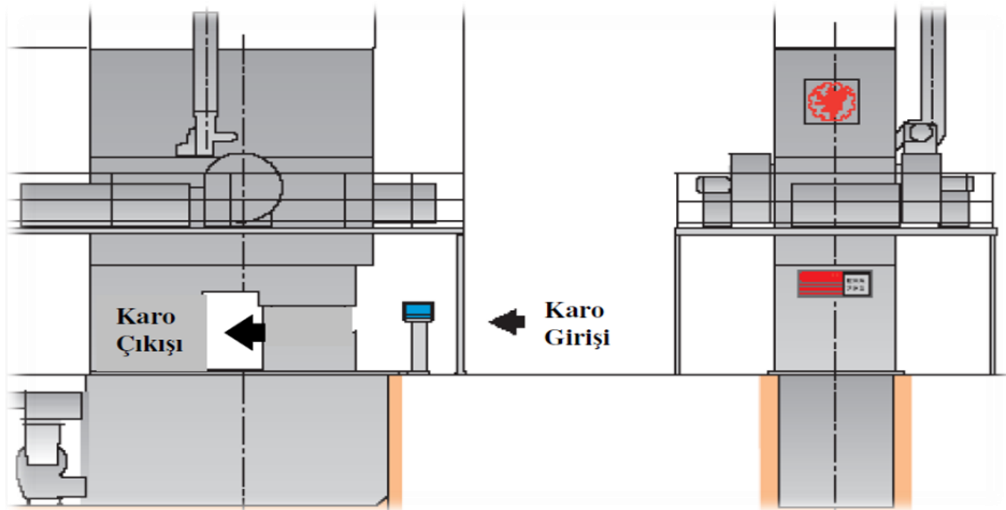
d. Presler

Prosesin bu aşaması seramik üretim teknolojisinin çok önemli bir tarafıdır. Normalde amaç gaz çıkışı ve “siyah çekirdek” problemleri olmadan en yüksek yağ yoğunluğu elde etmektir. Bu ürünler için kullanılan basınç genellikle $250\pm 50\text{kg/cm}^2$ aralığındadır. Preslere ilave olarak, toz doldurma kutusu ve kalıp gibi yardımcı ekipmanlarda göz önüne alınmalıdır. Toz doldurma kutusu tozları kalıp

içerisine besler ve boşlukların homojen olarak doldurulmasını sağlar. Şekillendirmek için genellikle metal kalıp kullanılır ve temizleme sıklığını azaltmak için lastik kaplıdır. Kalıp geleneksel tipte veya presleme homojenliğini optimize eden ve böylece tüm karo üzerinde eşit kütleli yoğunluk değeri, elde edilen “izostatik” tipte olabilir. Yukarıda bahsedilen son gereksinim izostatik kalıplarda elde edilebilir; kalıp içerisinde tozun aynı biçimde dağılımını sağlayan özel besleme cihazları da kullanılmaktadır.

e. Dikey Kurutucular

Yeni preslenmiş karolarda bulunan nemi elimine etmek için kurutma işlemi dikey veya yatay kurutucularla yapılır. Preslerden çıkan karolar rulolu konveyörlerle transfer edilir. Karolar parmaklı rafların üzerine dizilir, bu raflar kendilerini destekleyen ve kurutma kanallarında hareket edebilmesini sağlayan bir zincir sistemine bağlıdır. İç kısımdaki borular sıcak havayı kurutma bölgesine ve soğuk havayı soğutma bölgesine manuel olarak ayarlanan sürgülerle iletilir. Isı sıvı ve/veya gaz yakıt ile çalışan hava akışlı yarıncılarla sağlanır. Karolar kurutucu boyunca hızı ayarlanabilir rulolu konveyörler üzerinde hareket ederler. Bu makine benzer modüller dizisi içermektedir, her birinin kendi bağımsız termo-higrometrik ve hava akışı havalandırma karakteristikleri vardır. Her bölgenin kendi sıcak hava jeneratörleri bulunmaktadır.



Şekil 2.7. Dikey Kurutucunun Kesit Görünümü.

f. Sırlama Makineleri

Sırlama hatlarında uygun derecede esneklik sağlayabilmek için, birçok uygulama istasyonları bulunmaktadır ve bulunan tüm ekipmanları hızlı ürün değişimi için uygun olmalıdır. Antika veya rustik efekler istenildiğinde, fırçalama, kuru uygulama, vs. gibi tekrarlanan uygulama işlemlerine ihtiyaç duyulacaktır. Sırlama hattı otomasyonu durmadan gelişmektedir. Bu gelişme; uygulanan sır ağırlığını dinamik kontrol eden cihazların, hızı yöneten PLC ünitelerinin , vs. kullanımını uygun hale getirmiştir. Yine de üretim prosesinin her aşamasında görülen aşırı otomasyonun sırlama hattında da görülmesine rağmen personel hala birincil ve temel rol oynamaktadır.

g. Fırınlara

1970'li yıllar yavaş pişirmeden hızlıya geçiş görülmüştür: hızlı fırınlama yeni teknolojik gelişmelere neden olduğundan fırınlama prosesinin tüm aşamaları tekrar gözden geçirilmiştir. Fırın genişlikleri artırılmış, yanma sistemleri iyileştirilmiş, tüm fırın kesit alanında sabit sıcaklığı sağlamaktadır. Yanıcılar ve yanma odaları, yüksek alev hızları ile ünite başına düşük termal potansiyel elde etmek için boyutlandırılmıştır. Yüksek hızlı yanıcılara ek olarak, günümüzün teknolojisi fırın kesitinde azalıp çoğalan alev ve alev gücünü, dairesel akışı ve zamanı ayarlamayı sunmaktadır.



Şekil 2.8. Fırının Görünümü.

Yanıcı ünite genellikle refrakter harç malzemedен veya silisyum karbürden yapılmaktadır. Silisyum karbür maksimum fırınlama derecelerinde daha iyi ısı direnci göstermektedir ve ayrıca termal şoka karşı daha iyi dirence sahiptir. Hızlı veya çok katlı pişirimin benimsenmesi karoların taşınmasını kolaylaştırmış, büyük karoların üretimini desteklemiş ve üretim esnekliğini artırmıştır. Fırınlama sıcaklıkları ve döngüleri, seramik malzemelerin doğasına ve karoların boyutlarına bağlı olarak, 1100-1200°C ve 35-60 dakika aralığıdır.

h. Kalite Ayrım

Ürün ayrılması ürün özelliklerini etkilemese de, üretim prosesinin önemli bir bölümüdür. Bu bölümde de paketlemeden paketlemeye kadar otomasyon yaygındır. Karo geometrisi elektronik ve/veya kamera sistemleri ile kontrol edilir, daha sonra spesifik çıkış noktalarına gönderilir. Yüksek otomasyonlu sistemlerde operatör sadece estetik hataları analiz eder ve karolara sınıflarını tanımlamak için kodlar uygulanır.

2.2 Yerköy Kale Seramik Fabrikası Üretim ve Tüketim Verileri

- Yerköy Kale Seramik Fabrikası günlük ortalama elektrik tüketimi:

35.000 – 40.000 KW

- Yerköy Kale Seramik Fabrikası günlük ortalama doğalgaz tüketimi:

20.000 – 25.000 m³

- Yerköy Kale Seramik Fabrikası günlük ortalama kaplama seramiği üretimi:

9.000 – 10.000 m²

3. EKSERJİ ANALİZİ

3.1. Ekserji Kavramına Giriş

Özellikle 1970’li yıllardan sonra, enerjinin verimli kullanımı üzerindeki çalışmalar yoğunlaşmış, enerji dönüşümü içeren farklı sistemlerde verimliliğinin artırılmasının yanı sıra, aynı amaç için kurulacak yeni sistemlerin değerlendirilmesi ve mevcut sistemlerdeki ile karşılaştırılması da önem kazanmıştır.1940’larda ilk kez Kenan [10] tarafından ortaya atılan kullanılabilirlik kavramı da değişik enerji kaynakları kullanarak değişik ürünler üreten süreçlerin, enerjinin verimli kullanımı açısından değerlendirilmesi ve karşılaştırılabilmesi için oldukça sık kullanılmaya başlanmıştır.

Kullanılabilirlik kavramına eşdeğer olan ve Rant[11] tarafından ortaya atılan ekserji kavramı ise günümüzde daha yaygın olarak kullanılmaktadır. Bunun asıl sebebi ekserji sözcüğünün hemen her dilde kullanılabilmesidir.Ekserji analizi değişik süreçlerin ortak bir referans durumuna göre değerlendirilmesine imkan tanıdığı gibi, her süreçteki tersinmezlikleri ve bunların nedenlerinin de bulunmasını sağlar.

Süreçlerin ekserji analizinin temelini oluşturan yaklaşım iş, ısı, entalpi gibi değişik enerji türlerinin biri faydalı, diğeri faydasız iki değişik kısmı olduğunun kabul edilmesidir [12].

$$\text{Enerji} = \text{Ekserji} + \text{Anerji}$$

Herhangi bir enerji türünün ne kadarının ekserji olduğunun bilinmesi için ekserjinin tanımlanması gerekir. Baehr tarafından ekserji;“*Ekserji, enerjinin diğer enerji türlerine dönüştürebilen kısmıdır.*”şeklinde tanımlanır.Daha ayrıntılı bir tanım ise Bosnjaković tarafından yapılmıştır;“*Ekserji, tersinir bir süreç sonunda çevre ile dengeye ulaşıldığında sistemden elde edilecek iş miktarıdır.*” [12].

Ekserjinin hesaplanabilmesi için

i)Çevrenin sıcaklık, basınç ve kimyasal bileşiminin bilinmesi

ii)Sürecin tersinir olduğunun kabul edilmesi gereklidir [12] .

Bütün diğer enerji turlerine dönüştürülmesi imkansız olan enerjiye ise enerji denir.

3.2. Enerji Formlarının Sınıflandırılması

3.2.1. Düzenli Enerji

a) Gravisyonel, elektriksel ve manyetik güç alanı içinde depolanabilen potansiyel enerji. Mükemmelen bir elastik yayda depolanan germe enerjisi bu kategoriye girer.

b) Düzenli kinetik enerji; dönen volanın, ideal akışkan jetinin enerjisi.

Düzenli enerjinin karakteristikleri

i) Geçişlerin tersinir olduğu varsayılırsa, düzenli enerjinin bir formdan bir forma dnm tamdır.

ii) İki sistem arasındaki düzenli enerji transferi, onları birbirinden ayıran sınırlardaki bir iş etkileşimi olarak ortaya çıkar. Başka bir deyişle iş geçişteki düzenli enerjidir.

iii) Düzenli enerjinin tersinir transferi sistemlerin entropilerinde artışa sebep olmaz ve dolayısıyla sadece birinci kanun yeterlidir.

iv) İki sistem arasındaki enerji transferi düzenli enerji transferi ise bunu hesaplamak için evre parametreleri istenmez.

3.2.2. Düzensiz Enerji

Kimyasal enerji, termal enerji ve maddenin iç enerjisi düzensiz enerjinin değişik formlarıdır. Düzensiz enerjinin düzenli enerjiye dnm için;

i) Tüm işlemler tersinir olmalıdır.

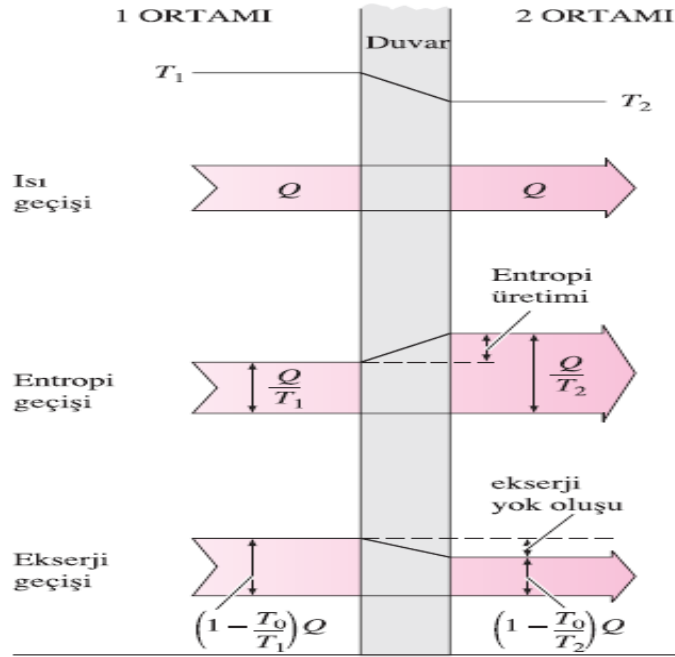
ii) Dnmn st limiti enerjinin depolandığı sistemin ve de çevrenin termodinamik parametrelerine bağlıdır.

iii) İşlemlerin analizi ikinci kanunu gerektirir.

iv) Bu dnm birbirini etkileyen sistemlerin entropilerindeki deđişiklikleri beraberinde getirir.

3.3. Ekserji Kavramı

Entropi ile karakterize edilen düzensiz enerjinin kalitesi, düzensiz enerji formlarına(örneğin kimyasal ve termal enerji), çevrenin ve taşınan enerjinin parametrelerine bağlı ve değişkendir. Diğer taraftan entropi ile karakterize edilemeyen düzenli enerji formları, değişmez bir kaliteye sahiptir ve iş etkileşimi esnasında diğer enerji formlarına tamamen dönüşebilir. Ekserji kavramının asıl kullanım alanlarından biri termal sistem analizinde ekserji balansı içindedir. Ekserji balansı enerji balansı gibidir. Ancak enerji balansı enerjinin korunumunun bir ifadesi iken ekserji balansına enerjinin azalmasının bir ifadesi olarak bakılabilir. Enerjinin azalması tersinmez olan tüm gerçek işlemlerde telafi edilemeyen enerji kaybına eşittir [12].



Şekil 3.1. Ekserji Kullanımı. [13]

3.4. Çevre

Ekserji metoduna mahsus bir kavram olarak çevre; mükemmel termodinamik denge durumu için büyük bir cisimdir. Bu kavramsal çevre basınç, sıcaklık, kimyasal potansiyel, kinetik ve potansiyel enerji farklılıklarını içermez. Bu yüzden çevrenin kısımları arasındaki etkileşimin herhangi bir formundan iş üretmek mümkün değildir.

Ancak çevre dışı sistemler basınç, sıcaklık yada kimyasal potansiyelle iş yapma kabiliyetine sahiptir ve çevre dışındaki sistemler, çevreye göre iş potansiyellerine bakılarak kıyas edilebilir.

3.5. Denge

İki tür dengeden bahsedebiliriz.

1) Sınırlı Denge

Sınırlı denge; sistem ve çevre arasında termal ve mekaniksel denge şartları sağlandığında yani sistem ve çevrenin basınç ve sıcaklıklarının eşit olması durumunda ortaya çıkar. Buradaki sınırlı sıfatı, sistemin maddelerinin sistem ve çevre arasında madde alışverişini önleyen bir fiziksel bariyer ile tutulmuş olduğunu belirtir.

Sınırlı denge şartları altında genel olarak sistemle çevre arasında kimyasal bir denge yoktur. Bu şekildeki çevre ile sınırlı denge durumu “çevresel durum” diye de adlandırılır.

2) Sınırsız Denge

Sınırsız dengede çevreyle sistem arasında termal, mekaniksel ve kimyasal denge şartları sağlanır. Burada basınç ve sıcaklığa eklenen, çevre ve sistemin kimyasal potansiyellerinin de eşit olma halidir. Sistemle çevre arasında tamamen termodinamik denge durumu diyebileceğimiz bu şartlar altında, çevreyle olan etkileşiminin herhangi bir formu esnasında sistemin durumunda bir değişiklik olmaz. Sınırsız denge “ölü hal” ile de ifade edilir.

3.6. Değişik Enerji Türlerinin Ekserjileri

3.6.1. İş Transferi ile Eşleşen Enerji

Verilen bir enerji formunun iş eşitliğini onun ekserjisinin bir ölçümü olarak tanımlayabildiğimizden dolayı açıkça iş; her yönden ekserjiye eşittir. Ekserji

transferi hem yön hem de büyüklük olarak iş transferi ile belirtilebilir. Ayrıca iş kolayca diğer bir enerji türüne dönüştürülebildiğine göre, “işin tamamı ekserjidir.” deriz.

$$E_W = W \quad (3.1)$$

3.6.2. Isı Transferi ile Eşleşen Ekserji

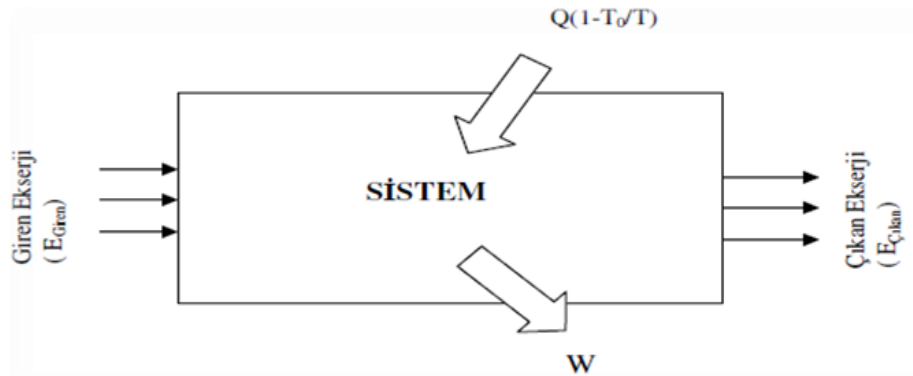
Kontrol yüzeyinden transfer olan ısının ekserjisi; çeviriyi sıfır dereceli bir enerji deposu gibi kullanarak ondan elde edilecek maksimum iş olarak bilinir. Q_r ısı transfer miktarı T_r ise ısı transferinin yer aldığı sıcaklık iken, termal enerjiden maksimum dönüşüm

$$\tau = 1 - \left(\frac{T_0}{T_r}\right) \quad (3.2)$$

$$W_{mak} = E^Q = Q_r \quad (3.3)$$

T boyutsuz ekserjetik sıcaklıktır ve başka bir TER gibi kullanılan T_0 sıcaklığındaki çevre durumunda Carnot verimine eşittir. Isı transferi ile eşleşen ekserji akışı olarak isimlendirilir ve açık sistem analizinde E^Q ile gösterilir. Sisteme transfer olan Q_r pozitifdir. Böylece kontrol bölgesiyle olan bir etkileşimde kontrol bölgesine olan ısı transferi ekserji kazancı olarak bilinir.

$$E^Q = Q_r \left[1 - \left(\frac{T_0}{T_r}\right) \right] \quad (3.4)$$



Şekil 3.2. Isı ve İş Ekserjisi İle Eşleşen Enerji Transferi [14].

3.6.3. Madde Akışı İle Eşleşen Ekserji

Kararlı bir madde akışının ekserjisi, akış başlangıç halinden ölü hale geldiğinde elde edilebilecek maksimum iş miktarıdır. Akışın sadece çevreyle etkileşime girdiği kabul edilir ve buna göre madde akışının ekserjisi akışın durumuna ve çevrenin durumuna bağlıdır.

3.7. Ekserji Bileşenleri

Madde akışının ekserjisi dört forma ayrılır.

1. *Kinetik Ekserji*

2. *Potansiyel Ekserji*

3. *Fiziksel Ekserji*

4. *Kimyasal Ekserji*

$$E_X = E_{Xk} + E_{Xp} + E_{Xfiz} + E_{Xkim} \quad (3.5)$$

Kinetik enerji ve potansiyel enerji yüksek dereceli enerjiyle eşleşirken, fiziksel ekserji ve kimyasal ekserji düşük dereceli enerjiyle eşleşir [12].

$$\varepsilon = \frac{E_X}{m} \quad (3.6)$$

iken özgül enerji;

$$\varepsilon_X = \varepsilon_{Xk} + \varepsilon_{Xp} + \varepsilon_{Xfiz} + \varepsilon_{Xkim} \quad (3.7)$$

3.7.1. Ekserjinin Kinetik ve Potansiyel Bileşenleri

Madde akışının kinetik ve potansiyel enerjisi, enerjinin düzenli formları olduğu için tamamıyla işe çevrilebilir. Çevreye ait referanslar kullanılarak kinetik ve potansiyel ekserji bileşenleri,

$$E_k = m \frac{c_0^2}{2} \quad (3.8)$$

$$E_p = mg_E Z_o \quad (3.9)$$

eşitlikleri ile verilir. Eşitliklerdeki m kütle akışını; C_o dünya yüzeyine göre akışın hızı; g_E özgül çekim kuvvetini ve Z_o deniz seviyesine göre akışın yüksekliğini gösterir.

3.7.2. Fiziksel Ekserji

Fiziksel ekserji; sadece çevre ile termal etkileşimde bulunan fiziksel işlemler tarafından, bir madde akışını başlangıç durumundan T_o, P_o ile tanımlanan çevresel duruma getirildiğinde elde edilecek maksimum işin miktarına eşittir.

Değişik sıcaklıklardaki özgül ısı kapasiteleri bilinmeyen maddelerin değerleri eşitlik[3.10]'da belirtilen formülasyon ile hesaplanmıştır.

$$C_p = a + bT + cT^2 + dT^3 \quad (3.10)$$

Sisteme girenler P_1, T_1 ve çıkanlar T_o, P_o ile belirtilen çevre şartlarında iken, sistemin çevre ile tersinir ısı transferi durumunda birim kütle başına transfer edilen ısı miktarı;

$$(q_o)_{\text{ters}} = T_o (S_o - S_1) \quad (3.11)$$

$$(S_o - S_1) = C_p m (T - T_o) \quad (3.12)$$

eşitliği ile hesaplanır. Kararlı akış için enerji denklemi;

$$(q_o)_{\text{ters}} - (W)_{\text{ters}} = h_o - h_1 \quad (3.13)$$

$$h_o - h_1 = C_p m \ln\left(\frac{T}{T_o}\right) \quad (3.14)$$

eşitliği ile hesaplanır. Buradan tersinir iş, akışın özgül fiziksel enerjisine eşittir.

$$E_{\text{xfiz}} = (h_o - h_1) - T_o (S_o - S_1) \quad (3.15)$$

şeklinde verilir.

3.7.3. Kimyasal Ekserji

Sıfır kinetik ve potansiyel enerjili ve T_0, P_0 ile tanımlanan çevresel durum fiziksel ekserjide akışın son durumu olarak verilmiştir. Kimyasal ekserjide bu durum başlangıç durumudur. Son durum ise çevre ile sınırsız denge hali olan “ölü hal”dir. Dolayısıyla kimyasal ekserji, sadece çevre ile madde alışverişi ve ısı transferi içeren işlemlerde maddenin çevresel durumdan ölü duruma getirildiğinde elde edilen maksimum iş miktarına denir. “e” spesifik ekserjidir.

$$E_{Xkim} = e \left(\frac{m}{M} \right) \quad (3.16)$$

3.8. Enerji ve Ekserji Analizi

Sonlu zaman aralığında ki bir sistemde sürekli akış işlemi için enerji ekserji balansı;

$$E_{Xi} - E_{Xo} = E_{Xtop} \quad (3.17)$$

Enerjini tersinmezlikten dolayısıyla tükenir olduğu gösterir.

$$\sum m_g (h + e_k + e_p)_g + m_\zeta (h + e_k + e_p)_\zeta + \sum Q_r - W = 0 \quad (3.18)$$

$$\sum m_g \varepsilon - \sum E^{Qr} - \sum E^W - I = 0 \quad (3.19)$$

ε, e_k, e_p özgül değerlerdir.

I sistemdeki ekserji tüketimidir.

Q_r sisteme olan ısı transferi.

E^{Qr} Q_r ile eşleşen ekserji transferi

E^W W ile eşleşen ekserji transferi

$$E^Q = Q_r \left[1 - \left(\frac{T_0}{T_r} \right) \right] \quad (3.20)$$

$$E_W = W \quad (3.21)$$

$$E_{gir} = \sum m \varepsilon \quad (3.22)$$

$$E_{cik} = \sum m\varepsilon \quad (3.23)$$

$$\varepsilon_X = \varepsilon_{Xk} + \varepsilon_{Xp} + \varepsilon_{Xfiz} + \varepsilon_{Xkim} \quad (3.24)$$

$$\varepsilon = \left[(h_o - h_1) - T_o(S_o - S_1) + \frac{c_o^2}{2} g_E Z_o \right] \quad (3.25)$$

Enerji verimi;

$$\eta_E = \frac{\text{Ürünlerin enerjisi}}{\text{toplam enerji girdisi}}$$

$$\eta_{EX} = \frac{\text{ürünlerin ekserjisi}}{\text{toplam ekserji girdisi}}$$

Birinci kanun verimi; enerjinin nasıl daha verimli kullanılacağını ölçerken, Ekserjetik verim ekserjinin nasıl daha iyi kullanabileceğini işaret eder. Birinci kanun bir korunum prensibidir ve belirli bir kısıtlama altında teorik enerji değişimi ile gerçek enerji değişimini karşılaştırır. Örneğin türbinler, kompresörler, lüleler ve pompalar. Bir çevrimin 1. Kanun verimi istenen enerji girdisi ile gerekli enerji çıkıtısını karşılaştırır. Termal verim ve performans katsayısı (COP) tipik örneklerdir.

Diğer taraftan 2. Kanun birer ifadesi olan entropi ve ekserji korunamayan özelliklerdir. Tersinmezlikler göz önüne alındığında toplam entropi artar, toplam ekserji azalır. İlkinin etkisi entropi üretimi 'II' ile ölçülürken, ikincisinin etkisi tersinmezlikler 'I' ile ölçülür.

Sonuç olarak 2. Kanun verimi işlem esnasındaki kullanılabilirlikteki kayıpların ölçüsüdür [12].

3.9. Enerji ve Ekserji Dengesi

Açık bir sistemde enerji dengesini bulabilmemiz için aşağıdaki formüllerden yararlanır.

$$\text{Giren Enerji} = \sum_g m_g \left(h_g + \frac{1}{2} V_g^2 + gZ_g \right) + Q \quad (3.26)$$

$$\text{Çıkan Enerji} = \sum_{\epsilon} m_{\epsilon} \left(h_{\epsilon} + \frac{1}{2} V_{\epsilon}^2 + gZ_{\epsilon} \right) + W \quad (3.27)$$

$$\text{Sistemdeki değişiklik } \Delta E = \Delta(U + PE + KE) \quad (3.28)$$

Sistemde kinetik ve potansiyel enerjiler ihmal edildiğinde aşağıdaki formül elde edilir.

$$\sum_g m_g h_g - \sum_{\epsilon} m_{\epsilon} h_{\epsilon} + Q - W = 0 \quad (3.29)$$

Bu ifadelerde “h”, birim kütle başına entalpi’yi, “V” hızı, “Z” ise belirli bir referansa göre yüksekliği ifade etmektedir. Isı ve iş dışındaki diğer enerji türleri (yüzey gerilimi, elektriksel vb.) ihmal edilmiştir. Sistem toplam enerjisi de “E” ile gösterilmiştir. Potansiyel ve kinetik enerjiler de ihmal edildiği takdirde termodinamiğin birinci kanunu açık bir sistem için ifade (3.29) halini alır.

Ekserji, enerji kalitesinin bir ölçüsüdür. Termodinamiğin ikinci kanunu, termal sistemlerin dizayn ve analizi için ekserji balansını inceler. Sürekli akış halindeki sistemin ekserji dengesi yararlanılan formüller (3.30 - 3.34).

$$E_{\text{Giren}} + E_Q = E_{\text{Çıkan}} + W + I \quad (3.30)$$

$$E_{\text{Giren}} = \sum m_g e_g \quad (3.31)$$

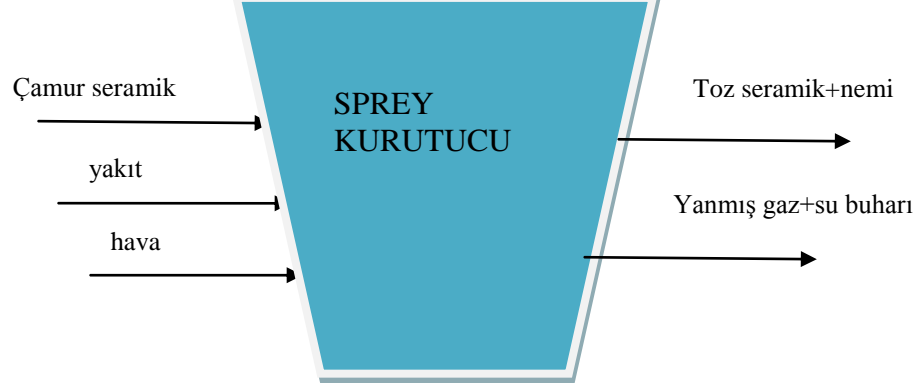
$$E_{\text{Çıkan}} = \sum m_{\epsilon} e_{\epsilon} \quad (3.32)$$

$$E_Q = \sum Q \left(1 - \frac{T_0}{T_r} \right) \quad (3.33)$$

$$E = (h - h_0) - T_0 (s - s_0) + e_{\text{ch}} + (V_0^2 / 2) + gZ_0 \quad (3.34)$$

4. HESAPLAR

4.1. Sprey Kurutucu



Şekil 4.1. Sprey Kurutucuya Giren ve Çıkan Materyallerin Gösterimi.

4.1.1. Sprey Kurutucu Kütle Analizi

$$\dot{m}_{\text{giren}} = \dot{m}_{\text{çıkan}}$$

$$\begin{aligned} \dot{m}_{\text{çamur katı madde}} + \dot{m}_{\text{çamur sulu madde}} + \dot{m}_{\text{doğalgaz}} + \dot{m}_{\text{yakma havası}} \\ = \dot{m}_{\text{toz seramik}} + \dot{m}_{\text{toz seramiğin nemi}} + \dot{m}_{\text{yanmış gaz}} + \dot{m}_{\text{bacaya gazındaki nem}} \end{aligned}$$

Tablo 4.1. Sprey Kurutucu Kütle Denge Analizi.

| No | Giren maddeler | Sıcaklık (K) | Debi (kg/h) | No | Çıkan maddeler | Sıcaklık (K) | Debi (kg/h) |
|---------------|--------------------|--------------|-------------|---------------|----------------------|--------------|-------------|
| 1 | Çamur (kuru madde) | 303 | 4167 | 1 | Toz seramik | 330 | 4167 |
| 2 | Çamur (sulu madde) | 303 | 2778 | 2 | Nem | 330 | 208 |
| 3 | Doğalgaz | 298 | 369 | 3 | Yanmış gaz | 383 | 9683 |
| 4 | Yakma havası | 298 | 9314 | 4 | Bacaya gazındaki nem | 383 | 2570 |
| Toplam | | | 16628 | Toplam | | | 16628 |

Tablo 4.2. Sprey Kurutucuya Giren Maddelerin Bileşik ve Yüzdeleri.

| Giren maddeler | Bileşikler | Sıcaklık (K) | Dağılım % | Kütlesel debi (Kg/h) |
|-------------------------|--------------------------------|--------------|-----------|----------------------|
| Çamur kuru halde | Al ₂ O ₃ | 303 | 20,2 | 841,7 |
| | SiO ₂ | 303 | 67,2 | 2800 |
| | Na ₂ O | 303 | 0,5 | 21,5 |
| | Fe ₂ O | 303 | 1,5 | 62,5 |
| | CaO | 303 | 0,7 | 29 |
| | MgO | 303 | 0,4 | 16,7 |
| | DIĞER | 303 | 9,5 | 396 |
| Toplam | | | | 4167 |
| Çamur sulu halde | H ₂ O | 303 | 100 | 2778 |
| Toplam | | | | 2778 |
| Doğalgaz | CH ₄ | 298 | 100 | 369 |
| Toplam | | | | 369 |
| Yanma için gerekli hava | N ₂ | 298 | 73,37 | 7265 |
| | O ₂ | 298 | 20,76 | 1863 |
| | CO ₂ | 298 | 0,03 | 4 |
| | Ar | 298 | 0,92 | 84 |
| | H ₂ O | 298 | 0,03 | 4 |
| | DIĞER | 298 | 0,91 | 84 |
| yoplam | | | | 9314 |

Tablo 4.3. Sprey Kurutucudan Çıkan Maddelerin Bileşik ve Kütlesel Analizi

| Çıkan maddeler | BİLEŞİKLER | SICAKLIK (K) | DAĞILIM % | KÜTLESEL DEBİ (Kg/h) |
|---------------------|--------------------------------|--------------|-----------|----------------------|
| Toz haldeki seramik | Al ₂ O ₃ | 330 | 19,2 | 841,7 |
| | SiO ₂ | 330 | 64 | 2800 |
| | Na ₂ O | 330 | 0,5 | 21,5 |
| | Fe ₂ O | 330 | 1,4 | 62,5 |
| | CaO | 330 | 0,66 | 29 |
| | MgO | 330 | 0,38 | 16,7 |
| | DIĞER | 330 | 9 | 396 |
| | NEM | 330 | 4,86 | 208 |
| Toplam | | | | 4375 |
| Nem | H ₂ O | 330 | 100 | 2569 |
| Toplam | | | | 2569 |
| Yanmış gaz | CO ₂ | 375 | 1,65 | 154 |
| | CO | 375 | 0,0002 | 0,047 |
| | NO | 375 | 0,004 | 0,4 |
| | NO ₂ | 375 | 0,00004 | 0,004 |
| | O ₂ | 375 | 17,39 | 1646 |
| | H ₂ O | 375 | 3,3 | 191 |
| | N ₂ | 375 | 77,68 | 7456 |
| Toplam | | | | 9683 |

4.1.2. Sprey Kurutucu Enerji Analizi

Hesaplamalarda baca gazları, mükemmel gaz olarak kabul edilmiştir. Baca gazlarını oluşturan her bir bileşiğin ilgili “T” sıcaklığındaki (C_p) ısıl kapasite değeri belirlenerek entalpi değerlerine ulaşılmış ve tüm elementlerin entalpi değer toplamlarından yararlanarak bileşiğin sahip olduğu toplam entalpi değeri bulunmuştur. Sprey kurutucunun çalışma esnasında tükettiği ortalama elektrik 113,2 kW’dır.

Tablo 4.4. Sprey Kurutucuya Giren Maddelerin Enerji Değerleri.

| | Sıcaklık (K) | Cp (kJ/kgK) | Kütleli debi (kg/h) | Q (kJ/h) |
|--------------------------------------|--------------|-------------|---------------------|-------------------|
| Çamur kuru halde | 303 | 0,749 | 4167 | 945.688 |
| Çamur sulu halde | 303 | 4,18 | 2778 | 3.518.448 |
| Doğalgaz yanma ısı | - | - | - | 20.511.761 |
| Doğalgaz duyulur ısı | 298 | 2,22 | 369 | 244.116 |
| Yakma havası | 298 | 1,005 | 9314 | 2.789.450 |
| Isıya dönüştürülen elektrik enerjisi | - | - | - | 408.960 |
| Toplam | | | | 28.418.423 |

Tablo 4.5. Sprey Kurutucudan Çıkan Maddelerin Enerji Değerleri.

| | Sıcaklık (K) | Cp (kJ/kgK) | Kütleli debi (kg/h) | Q (kJ/h) |
|---------------|--------------|-------------|---------------------|-------------------|
| Toz seramik | 303 | 0,749 | 4167 | 1.029.957 |
| Nem | 303 | 4,18 | 208 | 263.440 |
| Yanmış gaz | 383 | 1,05 | 12252 | 4.715.978 |
| Kullanılan | - | - | - | 22.409.048 |
| Toplam | | | | 28.418.423 |

4.1.2.1. Sprey Kurutucu Enerji Verimliliği

Enerji verim hesabını ,kayıpların düşüldüğünde çıkan toplam enerji değerinin, giren maddelerin toplam enerji değerine oranı olarak tanımlamak mümkündür. Bu durumda verim ifadesi [15] ;

$$\eta = \frac{Q_{giren} - Q_{çıkan}}{Q_{giren}}$$

bu ifadeye göre sprej kurutucunun enerji verimliliği;

$$\eta = \frac{22409048}{28418423} = 0,79$$

$$\eta = \%79$$

4.1.3. Sprey Kurutucunun Ekserji Analizi

Sprey kurutucun ekserji analizinde sistem, sürekli akış halindeki kapalı bir sistem olarak değerlendirilmiş ve basınç $P=1$ bar, $T=295K$ olarak alınmıştır. Sprey kurutucunun giriş ve çıkış fiziksel ekserji değerlerini bulmak için denklem (3.10), (3.11), (3.12) ve (3.15) kullanılmıştır. Sprey kurutucunun giriş ve çıkış kimyasal ekserji değerlerini bulmak için denklem (3.10) ve (3.16) kullanılmıştır. Değerler Tablo 4.6, 4.7, 4.8, 4.9te verilmiştir.

Tablo 4.6. Sprey Kurutucu Giriş Fiziksel Ekserji.

| Madde adı | C_p (kJ/kgK) | T_0 (K) | T (K) | $\ln(T_0/T)$ (K) | T_0-T (K) | m (kg/h) | Entalpi (kJ/h) | Entropi (kJ/h) | Fiziksel Ekserji (kJ/h) | Toplam Ekserji (kJ/h) | Genel toplam (kJ/h) |
|--------------------------------|-------------------|--------------|------------|---------------------|----------------|---------------|-------------------|-------------------|-------------------------------|-----------------------------|---------------------------|
| Çamur haldeki seramik | 0,74 9 | | | | | 6.945 | | | | | |
| Al ₂ O ₃ | 0,77 | 298 | 303 | 0,01664 | 5 | 841,7 | 3.240,5 | 10,77 | 31,04 | 543,046 | 543,046 |
| SiO ₃ | 0,74 | 298 | 303 | 0,01664 | 5 | 2.800 | 10.360 | 34,48 | 84,86 | | |
| Na ₂ O | 1,49 | 298 | 303 | 0,01664 | 5 | 21,5 | 160,175 | 0,533 | 1,341 | | |
| Fe ₂ O | 0,65 | 298 | 303 | 0,01664 | 5 | 62,5 | 203,125 | 0,676 | 1,677 | | |
| CaO | 0,75 | 298 | 303 | 0,01664 | 5 | 29 | 108,75 | 0,362 | 0,874 | | |
| MgO | 0,92 | 298 | 303 | 0,01664 | 5 | 16,7 | 76,82 | 0,256 | 0,532 | | |
| Diğer | 0,74 | 298 | 303 | 0,01664 | 5 | 396 | 1.465,2 | 4,876 | 12,152 | | |
| Nem | 4,18 | 298 | 303 | 0,01664 | 5 | 2.778 | 58.060,2 | 193,2 | 486,6 | | |
| Doğal gaz | 2,22 | | | | | 369 | | | | 0 | 543,046 |
| C | 0,71 | 298 | 298 | 0 | 0 | 276 | 0 | 0 | 0 | | |
| H ₄ | 6,7 | 298 | 298 | 0 | 0 | 93 | 0 | 0 | 0 | | |
| Hava | 1,005 | | | | | 9.314 | | | | 0 | 543,046 |
| N ₂ | 1,04 | 298 | 298 | 0 | 0 | 7.265 | 0 | 0 | 0 | | |
| O ₂ | 0,918 | 298 | 298 | 0 | 0 | 1.863 | 0 | 0 | 0 | | |
| CO ₂ | 0,844 | 298 | 298 | 0 | 0 | 4 | 0 | 0 | 0 | | |
| Ar | 0,52 | 298 | 298 | 0 | 0 | 84 | 0 | 0 | 0 | | |
| H ₂ O | 4,18 | 298 | 298 | 0 | 0 | 4 | 0 | 0 | 0 | | |
| Diğer | 0,48 | 298 | 298 | 0 | 0 | 84 | 0 | 0 | 0 | | |

Tablo 4.7. Sprey Kurutucu Giriş Kimyasal Ekserji.

| Madde Adı | Cp (kJ/kgK) | T ₀ (K) | T (K) | e (kJ/mol) | M (kg/mol) | m (kg/h) | Kimyasal Ekserji (kJ/h) | Toplam Ekserji (kJ/h) | Genel toplam (kJ/h) |
|--------------------------------|----------------|-----------------------|----------|---------------|---------------|-------------|-------------------------------|-----------------------------|------------------------|
| Çamur haldeki seramik | 0,749 | | | | | 6.945 | | 887.589 | 20.359.613 |
| Al ₂ O ₃ | 0,77 | 298 | 303 | 15 | 0,1019 | 841,7 | 123.901 | | |
| SiO ₃ | 0,74 | 298 | 303 | 8,2 | 0,06 | 2.800 | 382.667 | | |
| Na ₂ OH | 1,49 | 298 | 303 | 296,2 | 0,0629 | 21,5 | 101.176 | | |
| Fe ₂ O | 0,65 | 298 | 303 | 12,4 | 0,1596 | 62,5 | 4.856 | | |
| CaO | 0,75 | 298 | 303 | 110,2 | 0,056 | 29 | 57.068 | | |
| MgO | 0,92 | 298 | 303 | 59,1 | 0,0403 | 16,7 | 24.901 | | |
| Diğer | 0,74 | 298 | 303 | 8,2 | 0,06 | 396 | 54.120 | | |
| Nem | 4,18 | 298 | 303 | 0,9 | 0,018 | 2.778 | 138.900 | | |
| Doğalgaz | 2,22 | | | | | 369 | | 19.231.41 | |
| C | 0,71 | 298 | 298 | 413,16 | 0,012 | 276 | 9.502.680 | | |
| H ₄ | 6,7 | 298 | 298 | 418,44 | 0,004 | 93 | 9.728.730 | | |
| Hava | 1,005 | | | | | 9.314 | | 240.614 | |
| N ₂ | 1,04 | 298 | 298 | 0,72 | 0,028 | 7.265 | 186.814 | | |
| O ₂ | 0,918 | 298 | 298 | 3,97 | 0,32 | 1.863 | 23.113 | | |
| CO ₂ | 0,844 | 298 | 298 | 19,87 | 0,044 | 4 | 1.806 | | |
| Ar | 0,52 | 298 | 298 | 11,69 | 0,0399 | 84 | 24.610 | | |
| H ₂ O | 4,18 | 298 | 298 | 9,5 | 0,018 | 4 | 2.111 | | |
| Diğer | 0,48 | 298 | 298 | 0,72 | 0,028 | 84 | 2.160 | | |

Tablo 4.8. Sprey Kurutucu Çıkış Fiziksel Ekserjisi.

| Madde adı | Cp (kJ/kgK) | T ₀ (K) | T (K) | ln(T ₀ /T) (K) | (T ₀ -T) (K) | m (kg/h) | Entalpi (kJ/h) | Entropi (kJ/h) | Fiziksel Ekserji (kJ/h) | Toplam Ekserji (kJ/h) | Genel toplam (kJ/h) |
|--------------------------------|-------------|--------------------|-------|---------------------------|-------------------------|----------|----------------|----------------|-------------------------|-----------------------|---------------------|
| Çamur haldeki seramik | 0,749 | | | | | 6945 | | | | | |
| Al ₂ O ₃ | 0,77 | 298 | 313 | 0,0491 | 15 | 841,7 | 9.121,64 | 31,8 | 254,24 | 64.944 | 169.885 |
| SiO ₃ | 0,74 | 298 | 313 | 0,0491 | 15 | 2.800 | 31,5 | 103,1 | 766 | | |
| Na ₂ OH | 1,49 | 298 | 313 | 0,0491 | 15 | 21,5 | 483,75 | 1,583 | 12,016 | | |
| Fe ₂ O | 0,65 | 298 | 313 | 0,0491 | 15 | 62,5 | 618,75 | 2,025 | 15,3 | | |
| CaO | 0,75 | 298 | 313 | 0,0491 | 15 | 29 | 334,95 | 1,096 | 8,342 | | |
| MgO | 0,92 | 298 | 313 | 0,0491 | 15 | 16,7 | 290,46 | 0,75 | 6,96 | | |
| Diğer | 0,74 | 298 | 313 | 0,0491 | 15 | 396 | 4.395,6 | 14,39 | 107,38 | | |
| Nem | 4,18 | 298 | 313 | 0,0491 | 15 | 208 | 13.069,79 | 4278 | 12.428 | | |
| Su buharı | 1,903 | 298 | 383 | 0,25 | 85 | 2.570 | 415.653,73 | 1.222 | 51.345,5 | | |
| Baca gazı | 1,005 | | | | | 9.683 | | | | | |
| CO ₂ | 0,921 | 298 | 383 | 0,25 | 85 | 154 | 12.056 | 35 | 1626 | | |
| CO | 1,047 | 298 | 383 | 0,25 | 85 | 0,047 | 4 | 0,1 | 1 | | |
| NO | 1,006 | 298 | 383 | 0,25 | 85 | 0,4 | 34 | 0,01 | 4 | | |
| NO ₂ | 0,867 | 298 | 383 | 0,25 | 85 | 0,004 | 0,3 | 0,001 | 0,06 | | |
| O ₂ | 0,936 | 298 | 383 | 0,25 | 85 | 1.646 | 130.955 | 385 | 16.225 | | |
| H ₂ O | 1,905 | 298 | 383 | 0,25 | 85 | 291 | 42.262 | 124 | 5.310 | | |
| N ₂ | 1,045 | 298 | 383 | 0,25 | 85 | 7.456 | 662.279 | 1.948 | 81.775 | | |

Tablo 4.9. Sprey Kurutucu Çıkış Kimyasal Ekserjisi

| Madde adı | Cp (kJ/kgK) | T ₀ (K) | T (K) | e (kJ/mol) | M (kg/mol) | m (kg/h) | Kimyasal Ekserji (kJ/h) | Toplam Ekserji (kJ/h) | Genel toplam (kJ/h) |
|--------------------------------|-------------|--------------------|-------|------------|------------|----------|-------------------------|-----------------------|---------------------|
| Çamur haldeki seramik | 0,749 | | | | | 6.945 | | 2.115.310 | 2.736.015 |
| Al ₂ O ₃ | 0,77 | 298 | 313 | 15 | 0,1019 | 841,7 | 123.901 | | |
| SiO ₃ | 0,75 | 298 | 313 | 8,2 | 0,06 | 2.800 | 382.667 | | |
| Na ₂ OH | 1,50 | 298 | 313 | 296,2 | 0,0629 | 21,5 | 101.176 | | |
| Fe ₂ O | 0,66 | 298 | 313 | 12,4 | 0,1596 | 62,5 | 4.856 | | |
| CaO | 0,77 | 298 | 313 | 110,2 | 0,056 | 29 | 57.068 | | |
| MgO | 0,92 | 298 | 313 | 59,1 | 0,0403 | 16,7 | 24.901 | | |
| Diğer | 0,74 | 298 | 313 | 8,2 | 0,06 | 396 | 54.120 | | |
| Nem | 4,182 | 298 | 313 | 0,9 | 0,018 | 208 | 10.417,5 | | |
| Su buharı | 1,903 | 298 | 383 | 9,5 | 0,018 | 2569 | 1.356.204 | | |
| Baca gazı | 1,05 | | | | | 9683 | | 620.705 | 2.736.015 |
| CO ₂ | 0,921 | 298 | 383 | 19,87 | 0,044 | 154 | 69.545 | | |
| CO | 1,047 | 298 | 383 | 271,1 | 0,028 | 0,047 | 455 | | |
| NO | 1,006 | 298 | 383 | 88,9 | 0,03 | 0,4 | 1.185 | | |
| NO ₂ | 0,867 | 298 | 383 | 55,6 | 0,046 | 0,004 | 5 | | |
| O ₂ | 0,936 | 298 | 383 | 3,97 | 0,032 | 1646 | 204.207 | | |
| H ₂ O | 1,905 | 298 | 383 | 9,5 | 0,018 | 291 | 153.583 | | |
| N ₂ | 1,045 | 298 | 383 | 0,72 | 0,028 | 7456 | 191.725 | | |

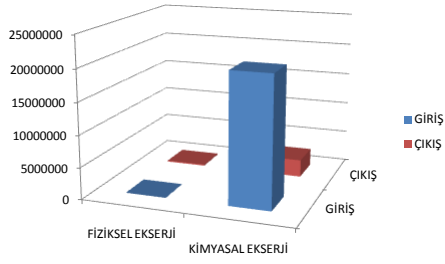
Tablo 4.10. Sprey Kurutucu Giriş Çıkış Ekserji Değerleri.

| | Sprey kurutucu giriş | Sprey kurutucu çıkış |
|-------------------|----------------------|----------------------|
| Fiziksel ekserji. | 543 | 169.885 |
| Kimyasal ekserji | 20.359.613 | 2.736.015 |
| Toplam ekserji | 20.360.156 | 2.905.900 |

$$\eta = \frac{EX_{giren} - EX_{çikan}}{EX_{giren}}$$

$$\eta = \frac{20.360.156 - 2.905.900}{20.360.156} = 0,857$$

$$\eta = \%85,7$$



Şekil 4.2. Sprey Kurutucu Giriş Çıkış Ekserji Değerleri

4.2. Dikey Kurutucu



Şekil 4.2. Dikey Kurutucuya Giren ve Çıkan Materyallerin Gösterimi.

4.2.1. Dikey Kurutucu Kütle Analizi

$$\dot{m}_{\text{giren}} = \dot{m}_{\text{çıkan}}$$

$$\dot{m}_{\text{karo}} + \dot{m}_{\text{doğalgaz}} + \dot{m}_{\text{yakma havası}} + \dot{m}_{\text{nem}} =$$

$$\dot{m}_{\text{karo}} + \dot{m}_{\text{karonun nemi}} + \dot{m}_{\text{bacaya gazındaki nem}} + \dot{m}_{\text{yanmış gaz}}$$

Tablo 4.11. Dikey Kurutucu Kütle Analizi

| No | Giren maddeler | Sıcaklık (K) | Debi (kg/h) | No | Çıkan maddeler | Sıcaklık (K) | Debi (kg/h) |
|---------------|----------------|--------------|-------------|---------------|--------------------|--------------|-------------|
| 1 | Karo | 298 | 4167 | 1 | Karo | 368 | 4167 |
| 2 | Karonun nemi | 298 | 208,5 | 2 | Nem | 368 | 15 |
| 3 | Doğalgaz | 298 | 39 | 3 | Yanmış gaz | 383 | 1023 |
| 4 | Yakma havası | 298 | 984 | 4 | Baca gazındaki nem | 383 | 193,5 |
| Toplam | | | 5398,5 | Toplam | | | 5398,5 |

Tablo 4.12. Dikey Kurutucuya Girin Maddelerin Bileşikleri ve Yüzdeleri.

| GİREN MADDELER | BİLEŞİKLER | SICAKLIK (K) | DAĞILIM % | KÜTLESEL DEBİ (Kg/h) |
|--------------------------------|--------------------------------|--------------|-----------|----------------------|
| KARO | Al ₂ O ₃ | 308 | 20,2 | 841,7 |
| | SiO ₂ | 308 | 67,2 | 2800 |
| | Na ₂ O | 308 | 0,5 | 21,5 |
| | Fe ₂ O | 308 | 1,5 | 62,5 |
| | CaO | 308 | 0,7 | 29 |
| | MgO | 308 | 0,4 | 16,7 |
| | DİĞER | 308 | 9,5 | 396 |
| TOPLAM | | | | 4167 |
| NEM | H ₂ O | 308 | 100 | 208,5 |
| TOPLAM | | | | 208,5 |
| DOĞALGAZ | CH ₄ | 298 | 100 | 39 |
| TOPLAM | | | | 39 |
| YAKMA İÇİN GEREKLİ HAVA | N ₂ | 298 | 73,37 | 767 |
| | O ₂ | 298 | 20,76 | 198 |
| | CO ₂ | 298 | 0,03 | 0,5 |
| | Ar | 298 | 0,92 | 9 |
| | H ₂ O | 298 | 0,03 | 0,5 |
| | DİĞER | 298 | 0,91 | 9 |
| TOPLAM | | | | 984 |

Tablo 4.13. Dikey Kurutucudan Çıkan Maddelerin Bileşikleri ve Yüzdeleri.

| Çıkan maddeler | Bileşikler | Sıcaklık (K) | Dağılım % | Kütlesel debi (Kg/h) |
|---------------------------|--------------------------------|--------------|-----------|----------------------|
| Karo | Al ₂ O ₃ | 368 | 20,3 | 841,7 |
| | SiO ₂ | 368 | 67 | 2800 |
| | Na ₂ O | 368 | 0,5 | 21,5 |
| | Fe ₂ O | 368 | 1,4 | 62,5 |
| | CaO | 368 | 0,66 | 29 |
| | MgO | 368 | 0,3 | 16,7 |
| | DİĞER | 368 | 9,5 | 396 |
| | NEM | 368 | 0,3 | 15 |
| Toplam | | | | 4182 |
| Baca gazındaki nem | H ₂ O | 383 | 100 | 2762 |
| Toplam | | | | 2762 |
| Yanmış gaz | CO ₂ | 383 | 1,65 | 18 |
| | CO | 383 | 0,0002 | 0,01 |
| | NO | 383 | 0,004 | 0,04 |
| | NO ₂ | 383 | 0,00004 | 0,001 |
| | O ₂ | 383 | 17,39 | 176 |
| | H ₂ O | 383 | 3,3 | 34 |
| | N ₂ | 383 | 77,68 | 793 |
| Toplam | | | | 1023 |

4.2.2. Dikey Kurutucunun Enerji Analizi

Hesaplamalarda baca gazları, mükemmel gaz olarak kabul edilmiştir. Baca gazlarını oluşturan her bir bileşiğin ilgili “T” sıcaklığındaki (C_p) ısıl kapasite değeri belirlenerek entalpi değerlerine ulaşılmış ve tüm elementlerin entalpi değer toplamlarından yararlanarak bileşiğin sahip olduğu toplam entalpi değeri bulunmuştur.

Tablo 4.14. Dikey Kurutucuya Giren Maddelerin Enerji Değerleri.

| | Sıcaklık (K) | C _p (kJ/kgK) | Kütlesel debi (kg/h) | Q (kJ/h) |
|---|--------------|-------------------------|----------------------|-----------|
| Karo | 298 | 0,749 | 4167 | 930.082 |
| Karonun nemi | 298 | 4,18 | 208 | 259.093 |
| Isıya dönüştürülen elektrik enerjisi | - | - | - | 43.050 |
| Doğalgaz yanma ısı | - | - | - | 2.167.909 |
| Doğalgaz duyulur ısı | 298 | 2,2 | 39 | 195.369 |
| Yakma havası | 298 | 1,005 | 984 | 294.698 |
| Toplam | | | | 3.890.201 |

Tablo 4.15. Dikey Kurutucudan Çıkan Maddelerin Enerji Değerleri.

| | Sıcaklık (K) | Cp (kJ/kgK) | Kütlesel debi (kg/h) | Q (kJ/h) |
|--------------------|-----------------|----------------|-------------------------|------------------|
| Karo | 363 | 0,749 | 4167 | 1.132.953 |
| Nem | 363 | 4,18 | 15 | 22.760 |
| Yanmış gaz | 383 | 1,05 | 1023 | 411.399 |
| Baca gazındaki nem | 383 | 1,903 | 193 | 140.668 |
| Kullanılan | - | - | - | 2.139.351 |
| Toplam | | | | 3.847.151 |

4.2.2.1. Dikey Kurutucu Enerji Verimliliği

Enerji verim hesabını ,kayıpların düşüldüğünde çıkan toplam enerji değerinin, giren maddelerin toplam enerji değerine oranı olarak tanımlamak mümkündür. Bu durumda verim ifadesi:[15]

$$\eta = \frac{Q_{giren} - Q_{çıkan}}{Q_{giren}}$$

bu ifadeye göre spray kurutucunu enerji verimliliği;

$$\eta = \frac{2139351}{3857151} = 0,556$$

$$\eta = \%55,6$$

4.2.3. Dikey Kurutucunun Ekserji Analizi

Spray kurutucun ekserji analizinde sistem, sürekli akış halindeki kapalı bir sistem olarak değerlendirilmiş ve basınç P=1 bar, T=298K olarak alınmıştır.Dikey kurutucunun giriş ve çıkış fiziksel ekserji değerlerini bulmak için denklem (3.10), (3.11), (3.12) ve (3.15) kullanılmıştır. Dikey kurutucunun giriş ve çıkış kimyasal ekserji değerlerini bulmak için denklem (3.10) ve (3.16) kullanılmıştır. Tablo 4.16, 4.17, 4.18, 4.18 te verilmiştir.

Tablo 4.16. Dikey Kurutucu Giriş Fiziksel Ekserji

| Madde adı | Cp (kJ/kgK) | T ₀ (K) | T (K) | ln(T ₀ /T) (K) | T ₀ -T (K) | m (kg/h) | Entalpi (kJ/h) | Entropi (kJ/h) | Fiziksel ekserji (kJ/h) | Toplam ekserji (kJ/h) | Genel toplam (kJ/h) | | |
|------------------------------------|----------------|-----------------------|----------|------------------------------|--------------------------|-------------|-------------------|-------------------|-------------------------------|-----------------------------|------------------------|---------------|---------------|
| KARO | 0,74 9 | | | | | 6.945 | | | | | | 660,64 | 660,64 |
| Al₂O₃ | 0,77 | 298 | 308 | 0,033 | 10 | 841,7 | 6.475,7 | 21,4 | 98,5 | | | | |
| SiO₃ | 0,74 | 298 | 308 | 0,033 | 10 | 2.800 | 21.000 | 69,3 | 348,6 | | | | |
| Na₂OH | 1,49 | 298 | 308 | 0,033 | 10 | 21,5 | 322,5 | 1,06 | 6,6 | | | | |
| Fe₂O | 0,65 | 298 | 308 | 0,033 | 10 | 62,5 | 412,5 | 1,36 | 7,2 | | | | |
| CaO | 0,75 | 298 | 308 | 0,033 | 10 | 29 | 223,3 | 0,736 | 3,97 | | | | |
| MgO | 0,92 | 298 | 308 | 0,033 | 10 | 16,7 | 153,64 | 0,507 | 2,55 | | | | |
| Diğer | 0,74 | 298 | 308 | 0,033 | 10 | 396 | 29.304 | 9,67 | 48,74 | | | | |
| Nem | 4,18 | 298 | 308 | 0,033 | 10 | 2.778 | 8.709 | 28,74 | 144,5 | | | | |
| Doğal gaz | 2,22 | | | | | 369 | | | | | | | |
| C | 0,71 | 298 | 298 | 0 | 0 | 276 | 0 | 0 | 0 | | | | |
| H₄ | 6,7 | 298 | 298 | 0 | 0 | 93 | 0 | 0 | 0 | | | | |
| Hava | 1,005 | | | | | 9.314 | | | | | | 0 | 660,64 |
| N₂ | 1,04 | 298 | 298 | 0 | 0 | 7.265 | 0 | 0 | 0 | | | | |
| O₂ | 0,918 | 298 | 298 | 0 | 0 | 1.863 | 0 | 0 | 0 | | | | |
| CO₂ | 0,844 | 298 | 298 | 0 | 0 | 4 | 0 | 0 | 0 | | | | |
| Ar | 0,52 | 298 | 298 | 0 | 0 | 84 | 0 | 0 | 0 | | | | |
| H₂O | 4,18 | 298 | 298 | 0 | 0 | 4 | 0 | 0 | 0 | | | | |
| Diğer | 0,48 | 298 | 298 | 0 | 0 | 84 | 0 | 0 | 0 | | | | |

Tablo 4.17. Dikey Kurutucu Giriş Kimyasal Ekserji

| Madde adı | Cp (kJ/kgK) | T _o (K) | T (K) | e (kJ/mol) | M (kg/mol) | m (kg/h) | Kimyasal Ex. (kJ/h) | Toplam Ex. (kJ/h) | Genel toplam (kJ/h) |
|------------------------------------|-------------|--------------------|-------|------------|------------|----------|---------------------|-------------------|---------------------|
| Karo | 0,749 | | | | | 4.375 | | 749.731 | 2.819.838 |
| Al₂O₃ | 0,77 | 298 | 308 | 15 | 0,1019 | 841,7 | 123.901 | | |
| SiO₃ | 0,74 | 298 | 308 | 8,2 | 0,06 | 2.800 | 382.667 | | |
| Na₂O | 1,49 | 298 | 308 | 296,2 | 0,0629 | 21,5 | 101.176 | | |
| H | | | | | | | | | |
| Fe₂O | 0,65 | 298 | 308 | 12,4 | 0,1596 | 62,5 | 4.856 | | |
| CaO | 0,75 | 298 | 308 | 110,2 | 0,056 | 29 | 57.068 | | |
| MgO | 0,92 | 298 | 308 | 59,1 | 0,0403 | 16,7 | 24.901 | | |
| Diğer | 0,74 | 298 | 308 | 8,2 | 0,06 | 396 | 54.120 | | |
| Nem | 4,18 | 298 | 308 | 0,9 | 0,018 | 208,35 | 1.042 | 2.044.570 | |
| Doğal gaz | 2,22 | | | | | 39 | | | |
| C | 0,71 | 298 | 298 | 413,16 | 0,012 | 29 | 998.470 | | |
| H₄ | 6,7 | 298 | 298 | 418,44 | 0,004 | 10 | 1.046.100 | 25.537 | |
| Hava | 1,005 | | | | | 984 | | | |
| N₂ | 1,04 | 298 | 298 | 0,72 | 0,028 | 767 | 19.723 | | |
| O₂ | 0,918 | 298 | 298 | 3,97 | 0,32 | 198 | 2.456 | | |
| CO₂ | 0,844 | 298 | 298 | 19,87 | 0,044 | 0,5 | 226 | | |
| Ar | 0,52 | 298 | 298 | 11,69 | 0,0399 | 9 | 2.637 | | |
| H₂O | 4,18 | 298 | 298 | 9,5 | 0,018 | 0,5 | 264 | | |
| Diğer | 0,48 | 298 | 298 | 0,72 | 0,028 | 9 | 231 | | |

Tablo 4.18. Dikey Kurutucu Çıkış Fiziksel Ekserji.

| Madde adı | C _p (kJ/kgK) | T ₀ (K) | T (K) | ln(T ₀ /T) (K) | T ₀ -T (K) | m (kg/h) | Entalpi (kJ/h) | Entropi (kJ/h) | Fiziksel Ex. (kJ/h) | Toplam Ex. (kJ/h) | Genel toplam (kJ/h) | |
|------------------------------------|-------------------------|--------------------|-------|---------------------------|-----------------------|----------|----------------|----------------|---------------------|-------------------|---------------------|--------|
| Karo | 0,749 | | | | | 4375 | | | | | 28.390 | 40.952 |
| Al₂O₃ | 0,79 | 298 | 368 | 0,21 | 70 | 841,3 | 46.546 | 139,5 | 4.975 | | | |
| SiO₃ | 0,74 | 298 | 368 | 0,21 | 70 | 2.800 | 150.920 | 452,76 | 15.997,5 | | | |
| Na₂OH | 1,52 | 298 | 368 | 0,21 | 70 | 21,5 | 2.287,6 | 6,863 | 242,4 | | | |
| Fe₂O | 0,68 | 298 | 368 | 0,21 | 70 | 62,5 | 2.975 | 9 | 293 | | | |
| CaO | 0,77 | 298 | 368 | 0,21 | 70 | 29 | 1.604 | 4,81 | 170,6 | | | |
| MgO | 0,95 | 298 | 368 | 0,21 | 70 | 16,7 | 1.110,4 | 3,33 | 118,16 | | | |
| Diğer | 0,77 | 298 | 368 | 0,21 | 70 | 396 | 21.345 | 64,03 | 2.264 | | | |
| Nem | 4,182 | 298 | 368 | 0,21 | 70 | 15 | 4.391 | 13,173 | 465,4 | | | |
| Su buharı | 1,903 | 298 | 383 | 0,25 | 85 | 193 | 31.275 | 92 | 3.859 | | | |
| Baca gazı | 1,005 | | | | | 1023 | | | | 12.562 | | |
| CO₂ | 0,921 | 298 | 383 | 0,25 | 85 | 18 | 10.407 | 30,6 | 1.288 | | | |
| CO | 1,047 | 298 | 383 | 0,25 | 85 | 0,01 | 0,9 | 0,002 | 0,3 | | | |
| NO | 1,006 | 298 | 383 | 0,25 | 85 | 0,04 | 3,4 | 0,01 | 0,42 | | | |
| NO₂ | 0,867 | 298 | 383 | 0,25 | 85 | 0,001 | 0,07 | 0,0002 | 0,01 | | | |
| O₂ | 0,936 | 298 | 383 | 0,25 | 85 | 176 | 14.002 | 41 | 1.784 | | | |
| H₂O | 1,905 | 298 | 383 | 0,25 | 85 | 34 | 5.505 | 16 | 737 | | | |
| N₂ | 1,045 | 298 | 383 | 0,25 | 85 | 793 | 70.438 | 207 | 8.752 | | | |

Tablo 4.19. Dikey Kurutucu Çıkış Kimyasal Ekserji.

| Madde adı | C _p (kJ/kgK) | T ₀ (K) | T (K) | e (kJ/mol) | M (kg/mol) | m (kg/h) | Kimyasal Ekserji (kJ/h) | Toplam Ekserji (kJ/h) | Genel toplam (kJ/h) |
|--------------------------------|----------------------------|-----------------------|----------|---------------|---------------|-------------|----------------------------|--------------------------|------------------------|
| Karo | 0,749 | | | | | 4375 | | 850.550 | 919.064 |
| Al ₂ O ₃ | 0,77 | 298 | 313 | 15 | 0,1019 | 841,7 | 123.901 | | |
| SiO ₃ | 0,75 | 298 | 313 | 8,2 | 0,06 | 2.800 | 382.667 | | |
| Na ₂ OH | 1,50 | 298 | 313 | 296,2 | 0,0629 | 21,5 | 101.176 | | |
| Fe ₂ O | 0,66 | 298 | 313 | 12,4 | 0,1596 | 62,5 | 4.856 | | |
| CaO | 0,77 | 298 | 313 | 110,2 | 0,056 | 29 | 57.068 | | |
| MgO | 0,92 | 298 | 313 | 59,1 | 0,0403 | 16,7 | 24.901 | | |
| Diğer | 0,74 | 298 | 313 | 8,2 | 0,06 | 396 | 54.120 | | |
| Nem | 4,182 | 298 | 313 | 0,9 | 0,018 | 15 | 750 | | |
| Su buharı | 1,903 | 298 | 383 | 9,5 | 0,018 | 193 | 101.861 | | |
| Baca gazı | 1,05 | | | | | 1023 | | 68.514 | 919.064 |
| CO ₂ | 0,921 | 298 | 383 | 19,87 | 0,044 | 18 | 8.128 | | |
| CO | 1,047 | 298 | 383 | 271,1 | 0,028 | 0,01 | 97 | | |
| NO | 1,006 | 298 | 383 | 88,9 | 0,03 | 0,04 | 118,4 | | |
| NO ₂ | 0,867 | 298 | 383 | 55,6 | 0,046 | 0,001 | 1,2 | | |
| O ₂ | 0,936 | 298 | 383 | 3,97 | 0,032 | 176 | 21.835 | | |
| H ₂ O | 1,905 | 298 | 383 | 9,5 | 0,018 | 34 | 17.944 | | |
| N ₂ | 1,045 | 298 | 383 | 0,72 | 0,028 | 793 | 20.391 | | |

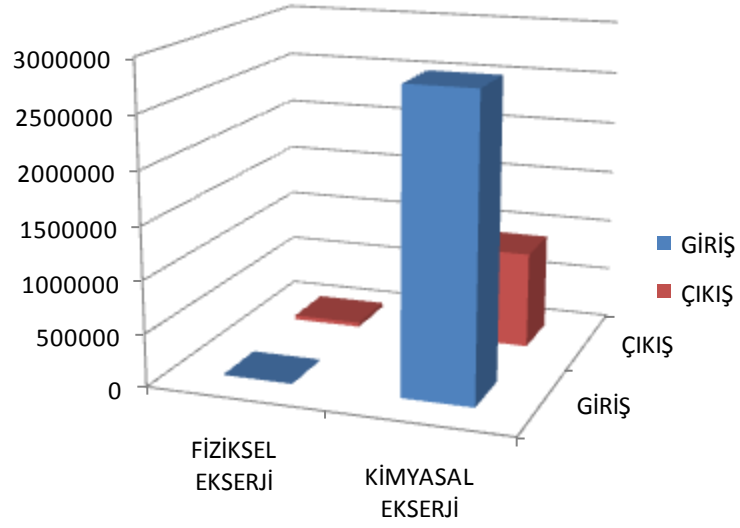
Tablo 4.20. Dikey Kurutucu Giriş-Çıkış Fiziksel ve Kimyasal Ekserji Değerleri.

| | Dikey kurutucu giriş | Dikey kurutucu çıkış |
|-------------------------|----------------------|----------------------|
| Fiziksel ekserji | 660 | 40.952 |
| Kimyasal ekserji | 2.819.838 | 919.064 |
| Toplam ekserji | 2.820.498 | 960.016 |

$$\eta = \frac{EX_{giren} - EX_{çıkan}}{EX_{giren}}$$

$$\eta = \frac{2.820.498 - 960.016}{2.820.498} = 0,659$$

$$\eta = 65,9$$



Şekil 4.4. Dikey Kurutucu Giriş Çıkış Ekserji Değerleri.

4.3. Fırın



Şekil 4.5. Fırın

4.3.1. Fırın Kütle Analizi

$$\dot{m}_{giren} = \dot{m}_{çıkan}$$

$$\dot{m}_{karo} + \dot{m}_{doğalgaz} + \dot{m}_{yakma\ havası} + \dot{m}_{nem} + \dot{m}_{sır} =$$

$$\dot{m}_{karo} + \dot{m}_{karonun\ nemi} + \dot{m}_{baca\ gazındaki\ nem} + \dot{m}_{sır} + \dot{m}_{yanmış\ gaz}$$

Tablo 4.21. Fırın Kütle Analizi

| No | Giren maddeler | Sıcaklık (K) | Debi (kg/h) | No | Çıkan maddeler | Sıcaklık (K) | Debi (kg/h) |
|--------|----------------|--------------|-------------|--------|--------------------|--------------|-------------|
| 1 | Karo | 298 | 4.167 | 1 | Karo | 394 | 4.167 |
| 2 | Karonun nemi | 298 | 85 | 2 | Nem | 0 | 0 |
| 3 | Sır | 298 | 27 | 3 | Sır | 394 | 27 |
| 3 | Doğalgaz | 298 | 455 | 3 | Yanmış gaz | 458 | 10.753 |
| 4 | Yakma havası | 298 | 10.298 | 4 | Baca gazındaki nem | 458 | 85 |
| Toplam | | | 15.032 | Toplam | | | 15.032 |

Tablo 4.22. Fırına Girin Maddelerin Bileşikleri ve Yüzdeleri.

| Giren maddeler | Bileşikler | Sıcaklık (K) | Dağılım % | Kütleli debi (Kg/h) |
|-------------------------|--------------------------------|--------------|-----------|---------------------|
| Karo | Al ₂ O ₃ | 298 | 20,1 | 841,7 |
| | SiO ₂ | 298 | 67,1 | 2.800 |
| | Na ₂ O | 298 | 0,4 | 21,5 |
| | Fe ₂ O | 298 | 1,4 | 62,5 |
| | CaO | 298 | 0,6 | 29 |
| | MgO | 298 | 0,4 | 16,7 |
| | DİĞER | 298 | 9,4 | 396 |
| Toplam | | | | 4.194 |
| Nem | H ₂ O | 298 | 100 | 85 |
| Toplam | | | | 85 |
| Doğalgaz | CH ₄ | 298 | 100 | 455 |
| Toplam | | | | 455 |
| Yakma için gerekli hava | N ₂ | 298 | 73,37 | 8.032 |
| | O ₂ | 298 | 20,76 | 2.061 |
| | CO ₂ | 298 | 0,03 | 7 |
| | Ar | 298 | 0,92 | 95 |
| | H ₂ O | 298 | 0,03 | 7 |
| | DİĞER | 298 | 0,91 | 95 |
| Toplam | | | | 10.298 |

Tablo 4.23. Fırından Çıkan Maddelerin Bileşikleri ve Yüzdeleri.

| Çıkan maddeler | Bileşikler | Sıcaklık (K) | Dağılım % | Kütlesel debi (Kg/h) |
|--------------------|--------------------------------|--------------|-----------|----------------------|
| Karo | Al ₂ O ₃ | 394 | 20,2 | 841,7 |
| | SiO ₂ | 394 | 67 | 2800 |
| | Na ₂ O | 394 | 0,5 | 21,5 |
| | Fe ₂ O | 394 | 1,3 | 62,5 |
| | CaO | 394 | 0,65 | 29 |
| | MgO | 394 | 0,3 | 16,7 |
| | DİĞER | 394 | 9,4 | 396 |
| | NEM | 0 | 0 | 0 |
| | SIR | 394 | 0,6 | 27 |
| Toplam | | | | 4.194 |
| Baca gazındaki nem | H ₂ O | 458 | 100 | 85 |
| Toplam | | | | 85 |
| Yanmış gaz | CO ₂ | 458 | 1,65 | 192 |
| | CO | 458 | 0,0002 | 0,05 |
| | NO | 458 | 0,004 | 0,5 |
| | NO ₂ | 458 | 0,00004 | 0,005 |
| | O ₂ | 458 | 17,39 | 1.858 |
| | H ₂ O | 458 | 3,3 | 323 |
| | N ₂ | 458 | 77,68 | 8.380 |
| Toplam | | | | 10.753 |

4.3.2. Fırın Enerji Analizi

Hesaplamalarda baca gazları, mükemmel gaz olarak kabul edilmiştir. Baca gazlarını oluşturan her bir bileşiğin ilgili “T” sıcaklığındaki (Cp) ısı kapasite değeri belirlenerek entalpi değerlerine ulaşılmış ve tüm elementlerin entalpi değer toplamlarından yararlanarak bileşiğin sahip olduğu toplam entalpi değeri bulunmuştur.

Tablo 4.24. Fırına Giren Maddelerin Enerji Değerleri.

| | Sıcaklık (K) | Cp (kJ/kgK) | Kütlesel debi (kg/h) | Q (kJ/h) |
|---|--------------|-------------|----------------------|------------|
| Karo | 298 | 0,749 | 4167 | 930.082 |
| Karonun nemi | 298 | 4,18 | 85 | 259.093 |
| Sır | 298 | 0,761 | 27 | 6.123 |
| Isıya dönüştürülen elektrik enerjisi | - | - | - | 450.000 |
| Doğalgaz yanma ısı | - | - | - | 25.293.271 |
| Doğalgaz duyulur ısı | 298 | 2,22 | 455 | 301.010 |
| Yakma havası | 298 | 1,005 | 10.298 | 3.084.148 |
| Toplam | | | | 30.323.727 |

Tablo 4.25. Fırından Çıkan Maddelerin Enerji Değerleri.

| | Sıcaklık (K) | Cp (kJ/kgK) | Kütleli debi (kg/h) | Q (kJ/h) |
|---------------------------|-----------------|----------------|------------------------|-------------|
| Karo | 394 | 0,749 | 4.167 | 1.229.706 |
| Nem | 0 | 4,18 | 0 | 0 |
| Sır | 394 | 0,761 | 27 | 8.956 |
| Yanmış gaz | 458 | 1,005 | 10.753 | 4.949.498 |
| Baca gazındaki nem | 458 | 1,903 | 85 | 74.084 |
| Kullanılabilen | - | - | - | 24.061.483 |
| Toplam | | | | 30.323.727 |

4.3.2.1. Fırın Enerji Verimliliği

Enerji verim hesabını ,kayıpların düşüldüğünde çıkan toplam enerji değerinin, giren maddelerin toplam enerji değerine oranı olarak tanımlamak mümkündür. Bu durumda verim ifadesi:[15]

$$\eta = \frac{Q_{giren} - Q_{çıkan}}{Q_{giren}}$$

bu ifadeye göre sprej kurutucunu enerji verimliliği;

$$\eta = \frac{24061483}{30323727} = 0,793$$

$$\eta = \%79,3$$

4.3.3. Fırın Ekserji Analizi

Sprej kurutucun ekserji analizinde sistem, sürekli akış halindeki kapalı bir sistem olarak değerlendirilmiş ve basınç P=1 bar , T=298K olarak alınmıştır. Fırın giriş ve çıkış fiziksel ekserji değerlerini bulmak için denklem (3.10), (3.11), (3.12) ve (3.15) kullanılmıştır. Fırın giriş ve çıkış kimyasal ekserji değerlerini bulmak için denklem (3.10) ve (3.16) kullanılmıştır. Tablo 4.25, 4.26, 4.27, 4.28 te verilmiştir.

Tablo 4.26. Fırın Giriş Fiziksel Ekserjisi.

| Madde adı | C _p (kJ/kgK) | T ₀ (K) | T (K) | ln(T ₀ /T) (K) | T ₀ -T (K) | m (kg/h) | Entalpi (kJ/h) | Entropi (kJ/h) | Fiziksel Ex. (kJ/h) | Toplam Ex. (kJ/h) | Genel toplam (kJ/h) |
|--------------------------------|----------------------------|-----------------------|----------|------------------------------|--------------------------|-------------|-------------------|-------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|
| Karo | 0,749 | | | | | 4.279 | | | | 0 | 0 |
| Al ₂ O ₃ | 0,77 | 298 | 298 | 0 | 0 | 841,7 | 0 | 0 | 0 | | |
| SiO ₃ | 0,74 | 298 | 298 | 0 | 0 | 2.800 | 0 | 0 | 0 | | |
| Na ₂ OH | 1,49 | 298 | 298 | 0 | 0 | 21,5 | 0 | 0 | 0 | | |
| Fe ₂ O | 0,65 | 298 | 298 | 0 | 0 | 62,5 | 0 | 0 | 0 | | |
| CaO | 0,75 | 298 | 298 | 0 | 0 | 29 | 0 | 0 | 0 | | |
| MgO | 0,92 | 298 | 298 | 0 | 0 | 16,7 | 0 | 0 | 0 | | |
| Diğer | 0,74 | 298 | 298 | 0 | 0 | 396 | 0 | 0 | 0 | | |
| Sır | 0,74 | 298 | 298 | 0 | 0 | 27 | 0 | 0 | 0 | | |
| Nem | 4,18 | 298 | 298 | 0 | 0 | 85 | 0 | 0 | 0 | | |
| Doğal gaz | 2,22 | 455 | | | | | | | 0 | 0 | |
| C | 0,71 | 298 | 298 | 0 | 0 | 340 | 0 | 0 | | | 0 |
| H ₄ | 6,7 | 298 | 298 | 0 | 0 | 155 | 0 | 0 | | | 0 |
| Hava | 1,005 | | | | | 10.298 | | | | 0 | 0 |
| N ₂ | 1,04 | 298 | 298 | 0 | 0 | 8.032 | 0 | 0 | 0 | | |
| O ₂ | 0,918 | 298 | 298 | 0 | 0 | 2.061 | 0 | 0 | 0 | | |
| CO ₂ | 0,844 | 298 | 298 | 0 | 0 | 7 | 0 | 0 | 0 | | |
| Ar | 0,52 | 298 | 298 | 0 | 0 | 95 | 0 | 0 | 0 | | |
| H ₂ O | 4,18 | 298 | 298 | 0 | 0 | 7 | 0 | 0 | 0 | | |
| Diğer | 0,48 | 298 | 298 | 0 | 0 | 95 | 0 | 0 | 0 | | |

Tablo 4.27. Fırın Giriş Kimyasal Ekserji.

| Madde adı | C _p (kJ/kgK) | T _o (K) | T (K) | e (kJ/mol) | M (kg/mol) | m (kg/h) | Kimyasal Ekserji (kJ/h) | Toplam Ekserji (kJ/h) | Genel toplam (kJ/h) |
|--------------------------------|-------------------------|--------------------|-------|------------|------------|----------|-------------------------|-----------------------|---------------------|
| Karo | 0,749 | | | | | 4.279 | | 756.629 | 24.762.216 |
| Al ₂ O ₃ | 0,77 | 298 | 298 | 15 | 0,1019 | 841,7 | 123.901 | | |
| SiO ₃ | 0,74 | 298 | 298 | 8,2 | 0,06 | 2.800 | 382.667 | | |
| Na ₂ OH | 1,49 | 298 | 298 | 296,2 | 0,0629 | 21,5 | 101.176 | | |
| Fe ₂ O | 0,65 | 298 | 298 | 12,4 | 0,1596 | 62,5 | 4.856 | | |
| CaO | 0,75 | 298 | 298 | 110,2 | 0,056 | 29 | 57.068 | | |
| MgO | 0,92 | 298 | 298 | 59,1 | 0,0403 | 16,7 | 24.901 | | |
| Diğer | 0,74 | 298 | 298 | 8,2 | 0,06 | 396 | 54.120 | | |
| Sır | 0,74 | 298 | 298 | 8,2 | 0,06 | 27 | 3.690 | | |
| Nem | 4,18 | 298 | 298 | 0,9 | 0,018 | 85 | 4.250 | | |
| Doğal gaz | 2,22 | | | | | 455 | | 23.736.350 | |
| C | 0,71 | 298 | 298 | 413,16 | 0,012 | 340 | 11.706.200 | | |
| H ₄ | 6,7 | 298 | 298 | 418,44 | 0,004 | 115 | 12.030.150 | | |
| Hava | 1,005 | | | | | 10.298 | | 269.237 | |
| N ₂ | 1,04 | 298 | 298 | 0,72 | 0,028 | 8.032 | 206.537 | | |
| O ₂ | 0,918 | 298 | 298 | 3,97 | 0,32 | 2.061 | 25.569 | | |
| CO ₂ | 0,844 | 298 | 298 | 19,87 | 0,044 | 7 | 3.161 | | |
| Ar | 0,52 | 298 | 298 | 11,69 | 0,0399 | 95 | 27.833 | | |
| H ₂ O | 4,18 | 298 | 298 | 9,5 | 0,018 | 7 | 3.694 | | |
| Diğer | 0,48 | 298 | 298 | 0,72 | 0,028 | 95 | 2.443 | | |

Tablo 4.28. Fırın Giriş Fiziksel Ekserjisi.

| Madde adı | Cp (kJ/kgK) | T ₀ (K) | T (K) | ln(T ₀ /T) (K) | T ₀ -T (K) | m (kg/h) | Entalpi (kJ/h) | Entropi (kJ/h) | Fiziksel Ekserji (kJ/h) | Toplam Ekserji (kJ/h) | Genel toplam (kJ/h) | |
|------------------------------------|-------------|--------------------|-------|---------------------------|-----------------------|----------|----------------|----------------|-------------------------|-----------------------|---------------------|------------------|
| Karo | 0,77 | | | | | 4.194 | | | | | 795.361 | 1.163.361 |
| Al₂O₃ | 0,79 | 298 | 394 | 0,279 | 115 | 841,3 | 63835 | 185 | 123.901 | | | |
| SiO₃ | 0,76 | 298 | 394 | 0,279 | 115 | 2.800 | 204288 | 593 | 382.667 | | | |
| Na₂OH | 1,53 | 298 | 394 | 0,279 | 115 | 21,5 | 3158 | 9 | 101.245 | | | |
| Fe₂O | 0,69 | 298 | 394 | 0,279 | 115 | 62,5 | 4140 | 12 | 4.856 | | | |
| CaO | 0,83 | 298 | 394 | 0,279 | 115 | 29 | 2310 | 6,7 | 57.068 | | | |
| MgO | 0,97 | 298 | 394 | 0,279 | 115 | 16,7 | 1555 | 4,5 | 22.953 | | | |
| Diğer | 0,761 | 298 | 394 | 0,279 | 115 | 396 | 28930 | 84 | 54.120 | | | |
| Sır | 0,761 | 298 | 394 | 0,279 | 115 | 27 | 1972 | 3,4 | 3.690 | | | |
| Su buharı | 1,903 | 298 | 458 | 0,429 | 160 | 85 | 25881 | 69,4 | 44.861 | | | |
| Baca gazı | 1,064 | | | | | 10753 | | | | | 368.000 | 1.163.361 |
| CO₂ | 0,996 | 298 | 458 | 0,429 | 160 | 192 | 30.597 | 82 | 6.161 | | | |
| CO | 1,059 | 298 | 458 | 0,429 | 160 | 0,005 | 8 | 0,02 | 2 | | | |
| NO | 1,021 | 298 | 458 | 0,429 | 160 | 0,5 | 81 | 0,21 | 18 | | | |
| NO₂ | 0,934 | 298 | 458 | 0,429 | 160 | 0,005 | 0,7 | 0,002 | 0,1 | | | |
| O₂ | 0,964 | 298 | 458 | 0,429 | 160 | 1858 | 286.578 | 768 | 57.714 | | | |
| H₂O | 1,953 | 298 | 458 | 0,429 | 160 | 323 | 100.931 | 270 | 20.471 | | | |
| N₂ | 1,053 | 298 | 458 | 0,429 | 160 | 8380 | 1.411.86 | 3786 | 283.634 | | | |

Tablo 4.29. Fırın Çıkış Kimyasal Ekserji.

| Madde adı | C _p (kJ/kgK) | T ₀ (K) | T (K) | e (kJ/mol) | M (kg/mol) | m (kg/h) | Kimyasal Ex. (kJ/h) | Toplam Ex. (kJ/h) | Genel toplam (kJ/h) |
|--------------------------------|-------------------------|--------------------|-------|------------|------------|----------|---------------------|-------------------|---------------------|
| KARO | 0,77 | | | | | 4.194 | | 795.361 | 1.500.503 |
| Al ₂ O ₃ | 0,79 | 298 | 394 | 15 | 0,1019 | 841,7 | 123.901 | | |
| SiO ₃ | 0,76 | 298 | 394 | 8,2 | 0,06 | 2.800 | 382.667 | | |
| Na ₂ OH | 1,53 | 298 | 394 | 296,2 | 0,0629 | 21,5 | 101.176 | | |
| Fe ₂ O | 0,69 | 298 | 394 | 12,4 | 0,1596 | 62,5 | 4.856 | | |
| CaO | 0,83 | 298 | 394 | 110,2 | 0,056 | 29 | 57.068 | | |
| MgO | 0,97 | 298 | 394 | 59,1 | 0,0403 | 16,7 | 24.901 | | |
| Diğer | 0,761 | 298 | 394 | 8,2 | 0,06 | 396 | 54.120 | | |
| Sır | 0,761 | 298 | 394 | 8,2 | 0,06 | 27 | 3.690 | | |
| Su buharı | 1,903 | 298 | 458 | 9,5 | 0,018 | 85 | 44.861 | | |
| Baca gazı | 1,064 | | | | | 10.753 | | 705.142 | 1.500.503 |
| CO ₂ | 0,996 | 298 | 458 | 19,87 | 0,044 | 192 | 86.705 | | |
| CO | 1,059 | 298 | 458 | 271,1 | 0,028 | 0,05 | 484 | | |
| NO | 1,021 | 298 | 458 | 88,9 | 0,03 | 0,5 | 1.481 | | |
| NO ₂ | 0,934 | 298 | 458 | 55,6 | 0,046 | 0,005 | 6 | | |
| O ₂ | 0,964 | 298 | 458 | 3,97 | 0,032 | 1858 | 230.508 | | |
| H ₂ O | 1,953 | 298 | 458 | 9,5 | 0,018 | 323 | 170.472 | | |
| N ₂ | 1,053 | 298 | 458 | 0,72 | 0,028 | 8380 | 215.486 | | |

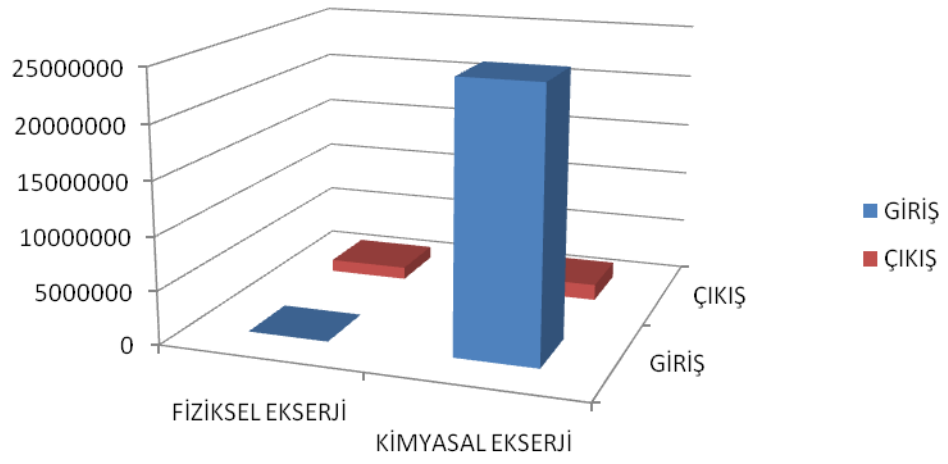
Tablo 4.30. Fırın Giriş-Çıkış Fiziksel ve Kimyasal Ekserji Değerleri.

| | Fırın giriş | Fırın çıkış |
|-------------------------|-------------|-------------|
| Fiziksel ekserji | 0 | 1.163.361 |
| Kimyasal ekserji | 24.762.216 | 1.500.503 |
| Toplam ekserji | 24.762.216 | 2.663.864 |

$$\eta = \frac{EX_{giren} - EX_{çikan}}{EX_{giren}}$$

$$\eta = \frac{24.762.216 - 2.663.864}{24.762.216} = 0,892$$

$$\eta = 89,2$$



Şekil 4.6. Fırın Giriş Çıkış Ekserji Değerleri.

5. SONUÇ VE DEĞERLENDİRMELER

Yapılan bu enerji ve ekserji analiz çalışmasında tesisteki enerji tüketiminin fazla olduğu noktaların belirlenmesi ve bu noktalarda yapılabilecek iyileştirmelerin tespitine olanak sağlamıştır. Termodinamiğin birinci kanununa göre yapılmış analizler sonucunda elde edilen ünitelere ait toplam enerji giriş ve çıkışları Tablo 5.1 verilmiştir.

Tablo 5.1. Tesisin Enerji Analizi.

| | Toplam giren enerji | Toplam çıkan enerji |
|-----------------------|----------------------------|----------------------------|
| Sprey kurutucu | 28.418.423 | 6.009.375 |
| Dikey kurutucu | 3.848.151 | 1.707.800 |
| Fırın | 30.323.727 | 6.262.864 |
| Toplam | 62.590.301 | 13.980.039 |

Yapılan bu enerji ve ekserji analiz çalışmasında tesisteki enerji tüketiminin fazla olduğu noktaların belirlenmesi ve bu noktalarda yapılabilecek iyileştirmelerin tespitine olanak sağlamıştır. Tablo 5.1’de görüldüğü gibi oransal olarak en büyük enerji çıkışı ve dikey kurutucuda olmasına rağmen dikkate değer enerji çıkışları fırın ve Sprey kurutucuda gerçekleşmektedir.

Termodinamiğin ikinci kanununa göre yapılmış analizler sonucunda elde edilen ünitelere ait toplam ekserji giriş ve çıkışları Tablo 5.2’de verilmiştir.

Tablo 5.2. Tesisin Ekserji Analizi.

| | Toplam giren ekserji | Toplam çıkan ekserji |
|-----------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| Sprey kurutucu | 20.360.156 | 2.905.900 |
| Dikey kurutucu | 2.820.498 | 960.016 |
| Fırın | 24.762.216 | 2.663.864 |
| Toplam | 47.942.870 | 6.529.780 |

Tüm ekserji kayıplarının yok edilerek yüzde yüz verim ile çalışabilecek bir sistemin oluşturulabilmesi termodinamik kanunlarına göre olanaksızdır. Bu sebeple, sistemde ve çalışan ünitelerde yapılacak iyileştirme ve modernizasyonlar ile çizelgede görülen tüm ekserji kayıplarının ortadan kaldırılabilmesi imkansızdır. Ancak sistemde yapılacak iyileştirmeler ile sağlanacak küçük çaplı bir verim artısının bile, toplamda yüksek finansal değerlere karşılık geleceği açıktır.

Sprey kurutucuda; Çamur besleme sisteminin, üretim esnasında arızalandığı ve yedeğinin bulunmaması sebebiyle arıza onarılanaya kadar sistemin rolantide çalıştırıldığı, bunun da ciddi yakıt sarfiyatına sebep olduğu görülmektedir. Bu sebeple çamur besleme sisteminin yedeklenmesi gerekmektedir. Sprey kurutucu, baca gazının çıkış sıcaklığının yüksek olması nedeniyle, enerji kaybı yüksek olduğu yerdir.

Dikey kurutucuda, çalışma sıcaklık değerlerinin yüksek olmayışı ve ısı izolasyon sisteminin nispeten sağlam oluşu, sistem ısı kayıplarının düşük seviyede kalmasını sağlamıştır.

Fırın, tesisin üretime devam ettiği sürece devamlı çalışan tek ünitesi olması sebebiyle enerji tüketiminde ve tesisin genel enerji veriminde kritik öneme sahiptir. Makine ekipmanlarının yeni ve teknolojiye uygun olması sebebiyle verim düşük çıkmamıştır ama fırından çıkan ürünlerin sıcaklıkları yüksek olması sebebiyle ısı kaybı burada da yüksektir.

Enerjiyi yoğun olarak kullanan seramik sektöründe faaliyet gösteren her bir kuruluşun; öncelikli olarak enerji yönetim kademesini oluşturması, tesisin mevcut durumunda enerji analizlerinin yapılarak belirlenmesi ile enerji geri kazanım noktalarının ve potansiyelinin tespit edilmesi önem arz etmektedir. Bu konuda yapılacak çalışmalarda; atık ısının değerlendirilme alternatifleri, kojenerasyon sistem uygulamaları, enerjinin daha etkin olarak kullanılmasını sağlayabilecek sistemlerin modellenmesi gibi konular hakkındaki çalışmalar, tüm sektöre hitap edecek şekilde ele alınabilir.

KAYNAKLAR

1. Seramik Sanayiinde Üretim Teknolojisi Güner SÜMER, Seramik Y. Mühendisi Yarımca Seramik, İZMİT Cilt: XV Sayı: 3
2. Çomaklı K., Karagöz S., Sahin B., Yüksel B., 2006, Kazan Bacalarında Meydana Gelen Enerji Ve Ekserji Kayıpları, Tesisat Mühendisliği Dergisi s.92, 12.
3. TMMOB Elektrik Mühendisleri Odası, 2005, 5. Enerji sempozyumu sonuç bildirgesi, Ankara,
4. Can A, 2004, Sogutma Elemanlarının Ekserji Analizinin Deneysel Verilere Göre Yapılması, VII. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, s.164-166.
5. Koroneos C, Moussiopoulos N, Theodosiou G, Vasilakis N, 2003, Exergy Analysis of Cement and Concrete Production, Proceedings of The First International Exergy, Energy and Environment Symposium, 277-279 P, İzmir.
6. Devlet Planlama Teskilatı, 2002, Enerjinin Etkin Kullanımı ve Enerji Tasarrufu ile İlgili Teknolojiler Alt Grup Raporu, 14, 37.
7. Dış Ticaret Müsteşarlığı Seramik Notu 1,9.
8. Uygulamalı Seramik Teknolojisi, s.13-15 ve s.298-314, Sacmi.
9. Yılmaz, Y.,Kojenerasyon Sistemlerinde Yapay Sinir Ağları Uygulaması ve Ekserji Analizi, Doktora Tezi Sunumu,(2008), Eskişehir.
10. Arıkol, M., Ekserji Analizine Giriş, Tübitak Marmara Bilimsel ve Endüstriyel Araştırma Enstitüsü , Temmuz, (1998), Kocaeli.
11. Szargutj., R. Morris D. , R. Stewartf. R. , Exergy Anaysıs Of Chemical and Metallurgical Processes, Hemisphere Pupliching Corporation 1998.
12. Çamdalı, Ü., Erişen, A., Çelen, F.,Energy And Exergy Analsis in A Rotary Burner With Precalcinations İn Cement Production. Ünal C. Ali E. Ve Fusun C. 2003.
13. Pınarbaşı A. 2010, Termodinamik Ders Sunuları, Termodinamik Bölüm 8, S.13
14. Çamdalı, Ü. ,Tunç, M., Elektrik Ark Fırınında Fiziksel Ekserji Potansiyelinin Ve Veriminin Elde Edilmesi, Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi 5, 2004, S. 55-57.
15. Çengel Y.A., Boles M.A., 1996, Mühendislik Yaklaşımıyla Termodinamik , Mcgraw-Hill Litaratür Ortak Yayını, (Çev. T. Derbentli), S.796.