



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

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**KURUTMA PROSESİNDE KURUTMA HAVA HIZ VE
SICAKLIĞININ EKSERJİ VERİMİNE ETKİSİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mak. Müh. Mehmet ÖZDEŞ

DANIŞMAN

Doç. Dr. Mustafa Tolga BALTA

AKSARAY, 2013

T.C.
AKSARAY ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
TEZ KABUL ve ONAY BELGESİ

Mehmet ÖZDEŞ'in "Kurutma Prosesinde Kurutma Hava Hız ve Sıcaklığının Ekserji Verimine Etkisi" başlıklı lisansüstü tez çalışması, aşağıdaki jüri tarafından Makine Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Danışman : Doç.Dr. M.Tolga BALTA (Aksaray Üniversitesi)

Üye : Yrd.Doç.Dr. Turgay POLAT (Aksaray Üniversitesi)

Üye : Yrd.Doç.Dr. A.Alper CERİT (Erciyes Üniversitesi)

İmza

Tezin Savunulduğu Tarih : 26/12/2013

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu' nun tarih ve
sayılı kararı ile onaylanmıştır.

Doç. Dr. Selçuk REİS
Enstitü Müdürü

ÖNSÖZ

Teorik olarak çalışılan, ‘Kurutma Prosesinde Kurutma Hava Hız ve Sıcaklığının Ekserji Verimine Etkisi’ başlıklı bu tez çalışmasında temel kütle ve enerji denge denklemlerinin yanı sıra ekserji denge denklemleri de kullanılmış olup bu denklemler Engineering Equation Solver Demo (EES Demo) programıyla çözülmüştür.

TEŞEKKÜR

Bu tez çalışmasında benden hiçbir yardımını esirgemeyen sayın hocam Doç. Dr. Mustafa Tolga Balta'ya, Aksaray'da bulunduğum sürece beni ağırlayan ve yardımlarını esirgemeyen değerli arkadaşlarım Salim Bozkuş, Uğur Okur, Şükrü Çam ve Yavuz Bakır'a, tez çalışmam boyunca benden maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen aileme minnet ve teşekkürlerimi sunarım.

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

KURUTMA PROSESİNDE KURUTMA HAVA HIZ VE SICAKLIĞININ EKSERJİ VERİMİNE ETKİSİ

Mehmet ÖZDEŞ

T.C.

Aksaray Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Makine Mühendisliği Ana Bilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. M. Tolga BALTA

Bu çalışmada, kurutma ve kurutmanın günümüzdeki önemi açıklanmış ve yaygın olarak kullanılan kurutma sistemlerinden bahsedilmiştir. Ayrıca 5, 10, 15 kg ağırlıklarındaki elma, brokoli ve domates ürünlerinin, 0.5, 1.0, 1.5 m/s hava hızlarında ve 318, 323, 328 K sıcaklıklarına göre kurutucu sistemin ekserji yıkım değerleri ve ekserji verim değerleri hesaplanmıştır. Bu değerler çizelgeler ve grafiklerle açıklanmıştır. Sistemde ortam sıcaklığı 298.15 K olarak ve ortam basıncı da 1 atm olarak belirlenmiştir. Ürünlere ait bazı özellikler çeşitli kaynaklardan alınmıştır. Bu çalışma sonucunda, elma ürünü için en iyi sonuca 0.5 m/s hava hızı ve 318 K hava sıcaklığında, 15 kg ürün ile % 9.55 değeriyle ulaşılmıştır. En büyük ekserji yıkım değeri ise 1.5 m/s hava hızında ve 328 K hava sıcaklığında sisteme 15 kg ürün gönderildiğinde 15.77 değeri ile meydana gelmiştir. Brokoli ürünü için en iyi sonuca 0.5 m/s hava hızı ve 318 K hava sıcaklığında, 15 kg ürün ile % 10.35 değeriyle ulaşılmıştır. En büyük ekserji yıkım değeri ise 1.5 m/s hava hızında ve 328 K hava sıcaklığında sisteme 15 kg ürün gönderildiğinde 15.84 değeri ile meydana gelmiştir. Domates ürünü için en iyi sonuca 0.5 m/s hava hızı ve 318 K hava sıcaklığında, 15 kg ürün ile % 10.94 değeriyle ulaşılmıştır. En büyük ekserji yıkım değeri ise 1.5 m/s hava hızında ve 328 K hava sıcaklığında sisteme 15 kg ürün gönderildiğinde 15.89 değeri ile meydana gelmiştir.

2013, 62 Sayfa

Anahtar kelimeler: Kurutma, Kurutma Sistemleri, Ekserji, Ekserji Analizi.

ABSTRACT

Master of Science Thesis

THE EFFECT OF DRYING TEMPERATURE AND DRYING VELOCITY ON EXERGY EFFICIENCY AT DRYING PROCESS

Mehmet ÖZDEŞ

T.R.

Aksaray University Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Mechanical Engineering

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. M. Tolga BALTA

In this study, drying and commonly used drying systems are described. Also drying system's exergy destruction rates and exergy efficiency values are calculated rates for 5, 10, 15 kg apple, broccoli and tomato products, 0.5, 1.0, 1.5 m/s air velocities at 318, 323, 328 K temperatures. These values are explained with charts and graphs. In the calculations, 298.15 K parameter to atmospheric temperature in the system was used and it was considered to be the atmospheric pressure of 1 atm. Some products of specific values were taken from various references. As a result of this study; for product of apple, the best values are; velocity of 0.5 m/s and 318 K of air temperature, of 15 kg product with value of % 9.55. The highest exergy destruction rate is 15.77, at velocity of 1.5 m/s and 328 K of air temperature, when sending system to 15 kg masses of product. For product of broccoli, the best values are; velocity of 0.5 m/s and 318 K of air temperature, masses of 15 kg with value of % 10.35. The highest exergy destruction rate is 15.84, at velocity of 1.5 m/s and 328 K of air temperature, when sending system to 15 kg masses of product. For product of tomato the best values are velocity of 0.5 m/s and 318 of air temperature, masses of 15 kg with value of % 10.94. The highest exergy destruction rate is 15.89, at velocity of 1.5 m/s and 328 K of air temperature, when sending system to 15 kg masses of product.

2013, 62 Pages

Keywords : Drying, Drying Systems, Exergy, Exergy Analysis.

Şekil 1.1. Dünya Fosil Yakıt Rezervleri	2
Şekil 1.2. Küresel Isınmaya Neden Olan Sera Gazları.....	3
Şekil 2.1. Enerji-Ekonomi-Ekoloji ilişkisinin ekserji analizi açısından Değerlendirilmesi	7
Şekil 2.2. Kurutma prosesinde eş zamanlı ısı ve kütle transferinin şematik gösterimi ..	10
Şekil 3.1. Kurutma Silindiri.....	15
Şekil 3.2. Döner Kurutucu Örneği	16
Şekil 3.3. Kabinli Kurutucu Örneği	17
Şekil 3.4. Tava tipi bitkisel kurutma makinesi.....	18
Şekil 3.5. Sürekli Bir Tünel Kurutucu Akış Şeması	19
Şekil 3.6. Tünel Kurutucu Örneği.....	19
Şekil 3.7. İnfrared kurutmada işlem akışı	20
Şekil 3.8. Dönen Tip Sprey Kurutucu.....	21
Şekil 3.9. Dondurarak kurutma (Liyofiliizasyon) aleti	22
Şekil 3.10. Boraks üretilen akışkan yatağın şematik gösterimi	23
Şekil 3.11. Flash Kurutucu.....	24
Şekil 4.1. Tipik bir kurutma debisi eğrisi	26
Şekil 4.2. Gıda maddeleri için kuruma olayının şematik gösterimi	27
Şekil 4.3. Uygun kurutucu seçimleri için işlem basamakları	31
Şekil 5.1. Basit bir kurutucunun şematik gösterimi.....	35
Şekil 6.1. 318 K sabit hava sıcaklığında, kurutma sisteminin farklı hava hızlarına göre elma ürününün kurutulmasındaki ekserji verim değişimi.....	41
Şekil 6.2. 318 K sabit hava sıcaklığında, kurutma sisteminin farklı hava hızlarına göre brokoli ürününün kurutulmasındaki ekserji verim değişimi	42
Şekil 6.3. 318 K sabit hava sıcaklığında, kurutma sisteminin farklı hava hızlarına göre domates ürününün kurutulmasındaki ekserji verim değişimi	43
Şekil 6.4. Elma ürününün kurutulmasında, kurutma sisteminin farklı hava hız ve sıcaklıklarındaki ekserji verimlerinin değişimi	44
Şekil 6.5. Brokoli ürününün, farklı hava sıcaklıklarındaki farklı kütlelerinin, farklı hava hızlarına bağlı olarak ekserji verimlerinin değişimi.....	45
Şekil 6.6. Domates ürününün kurutulmasında, kurutma sisteminin farklı hava hız ve sıcaklıklarındaki ekserji verim değerlerinin değişimi	46

Şekil 6.7. 318 K sabit hava sıcaklığındaki farklı kütlelerdeki elma ürününün, kurutma sisteminin ekserji verim değerlerine etkisi.....	47
Şekil 6.8. 318 K sabit hava sıcaklığındaki farklı kütlelerdeki brokoli ürününün, kurutma sisteminin ekserji verim değerlerine etkisi.....	48
Şekil 6.9. 318 K sabit hava sıcaklığındaki farklı kütlelerdeki domates ürününün, kurutma sisteminin ekserji verim değerlerine etkisi	49
Şekil 6.10. Elma ürününün, farklı hava sıcaklıklarındaki kurutma sistemi ekserji verim değerleri değişimi.....	50
Şekil 6.11. Brokoli ürününün, farklı hava sıcaklıklarındaki kurutma sistemi ekserji verim değerleri değişimi	51
Şekil 6.12. Domates ürününün, farklı hava sıcaklıklarındaki kurutma sistemi ekserji verim değerleri değişimi	52
Şekil 6.13. Elma ürününün, farklı hava sıcaklıklarındaki ekserji yıkım değişimi.....	53
Şekil 6.14. Brokoli ürününün, farklı hava sıcaklıklarındaki ekserji yıkım değişimi	54
Şekil 6.15. Domates ürününün, farklı hava sıcaklıklarındaki ekserji yıkım değişimi	55

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa No

Çizelge 1.1. Kaynak türlerine göre çevresel etkiler	4
Çizelge 2.1. Enerji ve ekserji kavramlarının karşılaştırılması	8
Çizelge 4.1. Isı ve kütle transferini betimleyen boyutsuz sayılar	29
Çizelge 6.1. Elma, brokoli ve domates ürünlerine ait özellikler.....	39
Çizelge 6.2. Ele alınan sistemin kurutma havası özellikleri	39
Çizelge 6.3. Elma ürününe ait özellikler ile hesaplanan değerler.....	40
Çizelge 6.4. Brokoli ürününe ait özellikler ile hesaplanan değerler	40
Çizelge 6.5. Domates ürününe ait özellikler ile hesaplanan değerler	40

SİMGELER DİZİNİ

A	miktar (%)
C_p	sabit basınçta özgül ısı
e_x	özgül ekserji (kJ)
$\dot{E}_x$	ekserji akımı (kJ)
h	özgül entalpi (kJ/kg)
$\dot{m}$	kütleli debi (kg/sn)
P	basınç (bar)
P_v	buhar basıncı (bar)
P_g	suyun kaynama basıncı (bar)
$\dot{Q}$	ısı akısı (W)
R	gaz sabiti
s	özgül entropi (kJ/K)
T	sıcaklık (K)
v	özgül hacim
x_v	buhar mol kesri
x_v^o	ölü noktadaki buhar mol kesri
Semboller	
η	verim
w	özgül nem
ϕ	havadaki bağıl nem oranı
Alt İndisler	
0	ölü nokta
a	hava
av	ortalama
d	kayıp
ev	buharlaştırma
ex	ekserji
f	doymuş sıvı hali
g	doymuş buhar hali
l	kayıp
p	ürün
v	buhar

w

pr

li

k

fi

su

protein

lipit

karbonhidrat

fiber

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

Sayfa No

ÖNSÖZ	i
TEŞEKKÜR.....	ii
ÖZET	iii
ABSTRACT	iv
ŞEKİLLER DİZİNİ	v
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	vii
SİMGELER DİZİNİ.....	viii
İÇİNDEKİLER DİZİNİ.....	x
1.GİRİŞ.....	1
2. LİTERATÜR ÖZETİ.....	6
2.1. Enerji ve Ekserji.....	6
2.2. Kurutma	8
2.3. Literatür Araştırması	11
3. KURUTMA SİSTEMİ TİPLERİ	15
3.1. Yüksek Hızlı Kurutucular	15
3.2. İletim İle Kurutma	15
3.3. Döner Kurutucular	16
3.4. Kabinli ve Bölmeli Kurutucular	16
3.5. Tava Tipi Kurutucular	17
3.6.Tünel Kurutucular	18
3.7. Kızılötesi Işınımli Kurutma.....	19
3.8. Sprey (Püskürtmeli) Kurutucular	20
3.9. Dondurmalı (Şoklama ile) Kurutma	21
3.10. Kızgın Buhar Ortamında Kurutma.....	22
3.11. Akışkan Yataklı Kurutma	22
3.12. Flaş (Alevli) Kurutma	24
4. KURUTMA TEORİSİ.....	25
4.1 Kuruma Evreleri	25
4.2. Kurutma Sırasında Isı ve Kütle Transferi.....	27
4.3. Kurutmanın Önemi.....	29
4.4. Uygun Kurutucu Seçimi	30
5.TEORİK ANALİZ	35
5.1. Kütle Denge Denklemleri.....	35

5.2. Enerji Denge Denklemleri	35
5.3. Ekserji Denge Denklemleri.....	36
5.4. Kurutucu havanın ekserjetik verimi	37
5.5. Kurutma ürünlerinin ısı özelliklerinin belirlenmesi	37
6. SONUÇLAR.....	39
7. BULGULAR.....	56
7.1. Elma Ürününün Kurutma Sonuçları	56
7.2. Brokoli Ürününün Kurutma Sonuçları.....	56
7.3. Domates Ürününün Kurutma Sonuçları.....	56
KAYNAKLAR	58
ÖZGEÇMİŞ	

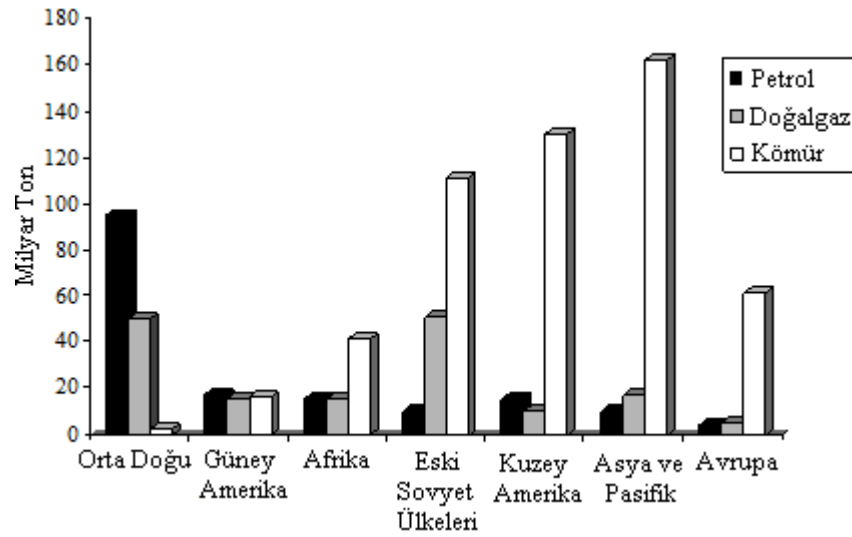
1.GİRİŞ

İnsanoğlunun var olduğu ilk tarihte olduğu gibi bugün de dünya ve Türkiye gündeminde tartışılan konuların başında yer alan enerji, insanoğlunun yaşamının her anında gerekli olan ve her yapılan etkinliğin en önemli ihtiyacıdır. Ülkelerin ve buna bağlı olarak toplumların ekonomik ve sosyal olarak gelişimlerinde vazgeçilmez bir unsur olan enerji, sanayileşmenin ayrılmaz bir parçasıdır. Endüstriyel gelişmelerde önemli bir rol oynayan enerji, stratejik bir unsur haline gelmiştir. Günümüzde önemli bir yere sahip olan enerji, ülkelerin gelişme düzeylerini gösteren başlıca unsurlar arasında yer almaktadır. Tüketilen enerji miktarı, ülkenin tüketim alışkanlıklarıyla ilgili olarak fikir vermesinin yanı sıra; üretim yapısı, ülkenin büyüme hızı, ekonomik, sosyal ve kültürel özellikler üzerinde de belirleyici rol oynamaktadır (Balta, 2010).

Özellikle II.Dünya Savaşı'yla başlayan sanayi devrimiyle birlikte, ucuz olan ve üretim teknolojilerindeki rolünde önemli gelişmeler meydana gelen fosil kökenli enerji kaynakları, geniş bir kullanım alanına ulaşmıştır (İskender, 2005).

Dünyadaki nüfus artış hızı ve enerji talebi değerlendirildiğinde, enerji tüketimindeki artışın nüfusa oranla daha hızlı olduğu sonucuna ulaşılmaktadır. Dünyada kişi başına düşen enerji ihtiyacı sürekli bir artış içerisinde. Enerji talep tahminlerine göre, 2020 yılındaki enerji talebinin, bugünkü enerji talebine göre % 65, 2050 yılındaki enerji talebinin ise 25 kat artış göstereceği öngörülmektedir (İskender, 2005). Diğer taraftan gelecek nesiller için fosil yakıt yataklarından kömüre 250 yıl, petrole ise 50 yıl ömür biçilmektedir (İskender, 2005). Gelecekte yeni rezervler bulunup fosil yakıtların kaynağının ömrü artsa da sonuç yine kaçınılmaz olacaktır.

Dünya üzerindeki fosil kökenli enerji kaynaklarının dağılımı (Şekil 1.1) ve ülkelerde bulunan sınırlı enerji kaynak rezervleri nedeniyle enerjide dışa bağımlılık ciddi bir sorun olarak ortaya çıkmaktadır. Özellikle dünyanın belli bölgelerinde sınırlı bir şekilde bulunan fosil kökenli enerji kaynaklarının rezervleri nedeniyle enerjinin güvenli ve sürekli bir biçimde arzı uluslararası dengeler açısından büyük önem taşımaktadır.



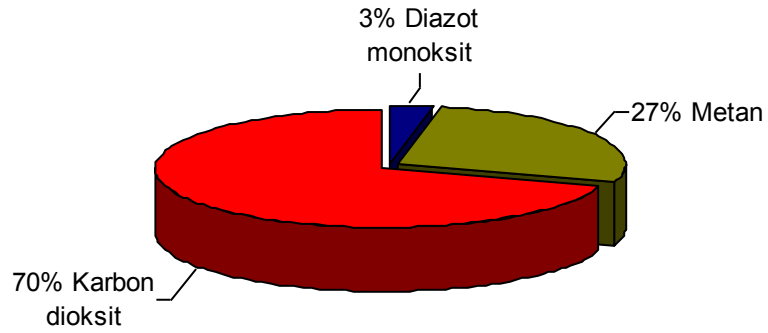
Şekil 1.1. Dünya Fosil Yakıt Rezervleri (BP, 2006)

Bundan dolayı 1973 ve 1979 petrol krizleriyle birlikte enerji kaynaklarının devamlılığının sağlanması sorunu gündeme getirmiştir. Bu krizlerden sonra ülkeler, enerji politikalarını yoğun olarak tüketimlerine yetecek seviyede enerji ithalatı ya da yerli üretim yollarıyla sağlanabilmesi konusu üzerinde durmuşlardır. 1980’li yıllarda ise çevre korunmasına önem verilmiş, enerji üretiminin ve tüketiminin biyolojik sistem ve insan sağlığı üzerinde olumsuz etkilerinin azaltılması yoluna gidilmiştir. Günümüzde, çevrenin korunması sorunlarına ve arz güvenliğinin sağlanması, enerji talebinin artış trendi göz önünde bulundurulduğunda mevcut fosil kaynaklarının yetersiz olduğu gerçeği de eklenmektedir. Bu perspektifte, enerjinin verimli kullanılmasının gerekliliği artan bir şekilde önem kazanmaktadır (Öner, 2010).

Günümüzde fosil kökenli yakıtların kullanılmasıyla beraber ekosistemde ve insan sağlığında çok ciddi olumsuzluklar meydana gelmiştir. Sanayi devrimiyle birlikte artarak devam eden kömür, petrol ve doğalgaz tüketimi; karbon dioksit, metan gazı ve azotoksit bileşikler gibi kirletici gazların atmosfere yayılmasına sebep olmuş (Şekil 1.2) ve bu yüzden de dünya ortalama sıcaklığının yaklaşık olarak 0.5 °C artmasına sebep olmuştur (Öner, 2010). Bu da dünyamız üzerinde bir sera etkisi oluşturmuştur. Fosil yakıtlara bağlı enerji tüketim hızı da devam ederse çok yakın bir sürede ortalama sıcaklığın daha da artacağı öngörülmektedir. Sıcaklıkların artması deniz seviyelerinin yükselişi ve kuraklık vb. insan yaşamını tehdit edecek olumsuz sonuçları doğuracaktır. Dünya ortalama sıcaklığının artması kuzey ve güney kutup dairelerinde buzul kütlelerinin erimesine neden olmuş son 30 yılda da okyanus seviyelerinde de yükseliş gözlenmiştir. Eğer önlem alınmazsa okyanus seviyelerinin yüzyılın sonunda 1.8-2.4 m

arasında yükseleceği hesaplanmaktadır. Eğer buzulların tamamen erimesi söz konusu olursa okyanus suları yaklaşık 6-7 m yükselecek ve dünyamızda özellikle kıyıya yakın şehirler, ovalar ve limanların sular altında kalma ihtimali artacaktır (Vaizoğlu, 2008).

Kuraklığın bir diğer nedeni de yukarıda bahsedilen sera etkisidir. Kuraklık tarım ürünlerinde verim kaybına neden olurken buna bağlı olarak hayvancılık sektörünü de zarara uğratmaktadır. Kuraklık sonucunda sulama sistemleri zarar görecektir, insanlar içmek ve kullanmak için su temin etmekte sorunlarla karşı karşıya kalacaktır. Kuraklıkla birlikte, nehirlerdeki su debisi azalacak hem canlı hayatı hem de su üstü trafiğinde büyük kayıplara neden olacaktır. Sıcaklıklar da kuraklığa bağlı olarak artacağından canlılar üzerinde meydana gelen olumsuz etki büyük ölçüde hissedilecektir (Ören, 2012).



Şekil 1. 2. Küresel Isınmaya Neden Olan Sera Gazları (URL-1)

Ekolojiyi ve insan sağlığını etkileyen yukarıdaki sorunlar tüm insanlığı ilgilendirmektedir ve küresel düzeyde çözüm yolları aranmaktadır. Ülkemizde de bu sorunların çözümüyle ilgili 2007 yılından itibaren Prof. Dr. İbrahim Dinçer başkanlığında disiplinler arası “Global Conference on Global Warming” konferansları düzenlenmekte olup ve çözüm yolları ele alınmaktadır (URL-2).

Mevcut birincil enerji kaynaklarının kullanım kompozisyonu, bugünkü halin devamı yaklaşımıyla 2020 yılına götürüldüğünde, fosil yakıtların kullanımı 2000-2020 yılları arasında yaklaşık 1,5 kat artarken, nükleer ve yenilenebilir kaynaklardan elde edilecek enerji hemen hemen sabit kalacaktır (IEA, 2004; İskender, 2005). Bu değerlendirmelere bakılacak olursa, yenilenebilir enerji kaynakları kullanımının yaygınlaştırılması gerekmektedir.

Fosil kaynaklı enerji üretimi ve kullanımı nedeniyle meydana gelen zararın minimuma indirilmesi yenilenebilir enerji kaynakları kullanımının artışıyla

gerçekleşebilir. Doğaya verilen zararın bir anda durdurulması mümkün olmayacağından ve günümüze kadar fosil kökenli yakıtlar nedeniyle meydana gelen zararın düzeltilebilmesi için mümkün olduğunca fosil kökenli yakıtlar yerine yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımı önerilmelidir. İşte bu sebeple, günümüzde klasik enerji kaynaklarına ek olarak, yeni ve yenilenebilir enerji kaynağı olarak isimlendirilen güneş, rüzgâr, jeotermal, hidrojen, deniz-dalga enerjileri ve biyokütle gibi enerji kaynakları üzerine araştırmalar yapılmakta olup uygulamalar gerçekleştirilmektedir (Varınca ve Gönüllü, 2006). Bu kaynaklar depolanabilmekte ve fosil yakıtlara nazaran daha uzun süre kullanılabilir (Dinçer; 2007a, Balta, 2010).

Günümüzde yoğun olarak kullandığımız fosil yakıtlar, CO₂ gazı ve diğer sera etkisi yaratacak gazlar meydana getirdikleri için çevreyi ve insan sağlığını tehdit etmektedirler. Bu kaynaklar yerini daha güvenli ve temiz yakıtlara bırakmalıdır. Bu da ancak yenilenebilir yakıtlar ile mümkün olacaktır ve böylece sınırsızca ve bilinçsizce tüketilen enerji, yerini daha planlı harcanan ve sürdürülebilir bir enerjiye bırakacaktır. Bu bağlamda, hali hazırda bulunan fosil kökenli yakıtların da daha dikkatli ve özenli bir şekilde kullanılması gerekmektedir. Aşağıdaki verilen Çizelge 1.1’de enerji üretiminde kullanılan enerji türlerinin etkileri gösterilmiştir.

Çizelge 1.1. Kaynak türlerine göre çevresel etkiler (Varınca ve Gönüllü, 2006)

Kaynak	Emisyonlar Hava Kirliliği ve İklim Katkı	Deşarjlar, Su Kirliliği ve Sulak Alanlara Etki	Atık Oluşumu	Görüntü Kirliliği	Gürültü Kirliliği	Habitat ve Canlı Yaşamına Etki
Fosil Yakıtlar	+	+	+	-	+	+
Güneş	-	-	-	+	-	-
Rüzgar	-	-	-	+	+	+
Jeotermal	-	+	-	-	+	+
Hidrojen	-	+	-	-	-	-
Deniz	-	+	-	+	+	+
Biyokütle	+	-	+	+	-	+

Günümüzde, sistemlerin incelenmesinde temel yöntem olarak enerji sistemlerinin performans analizinde termodinamiğin birinci yasasına dayanan enerji analizleri kullanılmaktadır. Ancak enerji analizlerinde niceliğin ölçülmesinden dolayı sonuçlar gerçek değerlere nazaran sistemlerin verimliliklerinin değerlendirilmesinde, bizi

gerçekçi sonuçlara ulaştırmamaktadır. Çünkü sistemlerin işletilmesi için gerek duyulan enerji kullanılabilir enerjidir. Çevre şartlarına dayalı olan termodinamiğin ikinci kanununa göre bu koşullar incelendiğinde ise sistemlerin enerji analizleri ile birlikte ekserji analizlerinin de gerçekleştirilmesi gerekir. Dolayısıyla enerji analizi ile birlikte gerçekleştirilen ekserji analizi ile daha gerçekçi sonuçlara ulaşmak mümkün olacaktır.

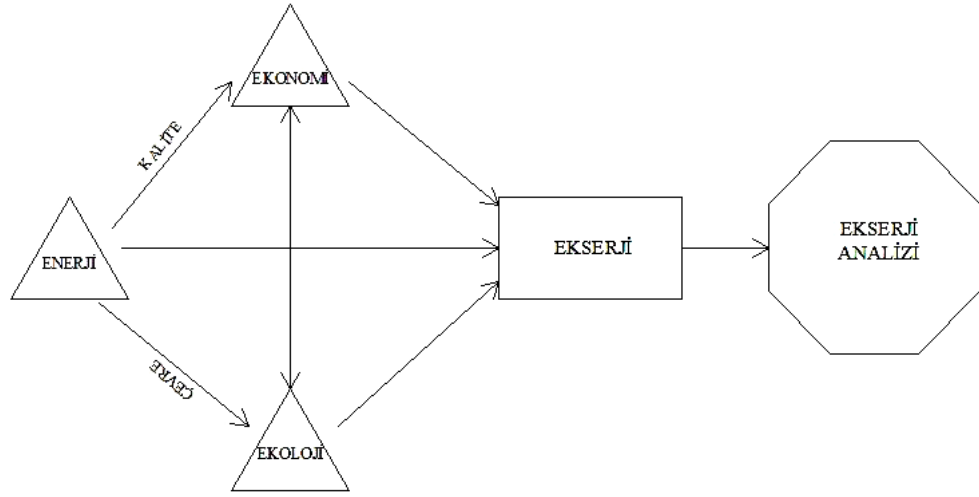
2. LİTERATÜR ÖZETİ

Bu bölüm, enerji ve ekserji, kurutma alt başlıkları altında ele alınmış olup bu bölümler aşağıda sırasıyla açıklanmıştır. Literatürde kurutma prosesinde enerji ve ekserji analizleriyle ilgili yapılan çalışmalara örnekler bu konunun altında sırasıyla verilmiştir.

2.1. Enerji ve Ekserji

Enerjide dışa bağımlı ülkelerde enerjinin doğru kullanımı ve enerjiden etkin verim alma konusunda sürekli araştırmalar yapılmaktadır. Bu çalışmalardan biri olan ekserji analizinin kullanımı özellikle son yıllarda hızlı bir biçimde yaygınlaşmıştır. Çünkü enerji sistemlerinin tasarımı, analizi, verimli bir şekilde işletilmesi ve performansının iyileştirilmesi açısından en etkin yol ekserji analizidir. Enerji dönüşüm sistemlerinin incelenmesinde ve değerlendirmesinde yaygın olarak enerji veya ekserji kriterlerinden yararlanılmaktadır. Enerji, sistemlerin incelenmesinde en temel yöntemdir ve termodinamiğin birinci yasasına dayanmaktadır (Sezer, 2008). Fakat unutulmamalıdır ki enerji analizlerinde önemli bir yere sahip olan çevre şartları da dikkate alınmalıdır ve termodinamiğin ikinci yasasına göre gerçekleştirilmelidir. Kütle ve enerji akışında niteliğin bir ölçüsü olan ekserji, referans alınan çevre koşullarında sistemde elde edilebilecek maksimum iş olarak tanımlanmaktadır (Rosen, 2005; Balta 2010).

Diğer taraftan ekserjinin; enerji, ekonomi ve çevre ile ilişkili disiplinler arası bir kavram olması, ekserji analizini enerji kullanımı sırasında ekonomikliğin ve çevre üzerinde oluşabilecek etkilerin değerlendirilebilmesi için de oldukça etkili bir yöntem haline getirmektedir. Bu durum Şekil 2.1.'de şematik olarak gösterilmiştir (Sezer, 2008).



Şekil 2. 1. Enerji-Ekonomi-Ekoloji ilişkisinin ekserji analizi açısından değerlendirilmesi (Sezer, 2008; Rivero, 2002)

Ekserji kavramı ilk kez Alman fizikçi Zoran Rant tarafından sistemin faydalı enerjisini ifade etmek için 1856'da yayınladığı bir makalede kullanılmıştır. (Wall ve Gong, 2001, Rezac ve Metghalchi 2004, Sezer, 2008). Ekserjinin ilk tanımı ise Alman bilim adamı Baehr (1965) tarafından yapılmıştır. Baehr ekserjiyi: “Enerjinin diğer enerji türlerine dönüştürülebilen kısmıdır.” şeklinde yapmıştır. Bu tanım ekserjinin nitel tanımıdır. Nicel (sayısal) hesaplamalarda bu tanım kullanılamaz. Ekserjinin sayısal hesaplamalarda kullanılabilecek, en ayrıntılı tanımını ise Bosnjakovic yapmıştır. Bosnjakovic'e göre “Ekserji, tersinir bir süreç sonunda çevre ile sistemin denge haline gelmesi durumunda elde edilebilecek maksimum iş miktarıdır.” (Üçgül, İ. ve Rosen, M. A. ve Dinçer, 2001; Koyun, 2004; Sezer, 2008). Ekserjinin entropi ile ilgili tanımı Hepbaşlı tarafından: “Tersinmez sistem ya da süreçlerde, entropi üretiminin neden olduğu kullanılabilir enerji kaybıdır.” şeklinde yapılmıştır (Hepbaşlı, 2008). Maddesel anlamda ise Ahern tarafından: “Kütlede, gazlarda, sıvılarda ele alınan bir referans ortama göre var olan dengesizliğin meydana getirdiği iş potansiyelidir” (Ahern, 1980).

Ekserji yalnızca mühendislik problemlerinde değil; içine insanı da dahil ederek, tüm biyolojik sistemlerin iş yapabilmesini gerçekleştirir. Ekserji, enerji kaynağının veya akışın kalitesini belirler. Bu kavrama göre kullanılan tüm enerji akışlarının kalite ve nicelik açısından karşılaştırılmasında kullanılır. Çizelge 2.1'de enerji ve ekserji kavramlarının karşılaştırılması verilmiştir.

Çizelge 2.1. Enerji ve ekserji kavramlarının karşılaştırılması (Dinçer, 2002a; Balta, 2010)

ENERJİ	EKSERJİ
Termodinamiğin birinci yasası ile ilgilidir.	Termodinamiğin ikinci yasası ile ilgilidir.
Daima korunur. Vardan yok yoktan var edilemez.	Tersinir proseslerde korunur, tersinmez proseslerde daima kaybolur.
Enerji, hareket veya hareket üretebilme kabiliyetidir.	Ekserji, iş ve/veya iş üretebilme kabiliyetidir.
Niceliğin bir ölçütüdür.	Niceliğin ve kalitenin ölçütüdür.
Sadece madde ve enerji akış parametrelerini bağlı, çevre parametrelerinden bağımsızdır.	Madde ve enerji parametrelerinin yanı sıra çevre parametrelerine de bağlıdır.

Ekserji analizleri, farklı termodinamik faktörlerin öneminin karşılaştırılması, proses etkileri üzerine termodinamik şartların etkilerinin iyi anlaşılması ve değerlendirilen prosesin geliştirilmesinin en etkili yollarının tanımlanması için yol gösterir. Ekserjiyi doğru anlamak ve verimle sağlanabilecek bilgiler çevresel etki ve sürdürülebilir enerji sistemleri alanında çalışan araştırmacı ve mühendisler için gereklidir (Dinçer, 2000; 2002a; Balta, 2010).

2.2. Kurutma

Meyve, sebze, tahıl gibi bitki ürünlerinin kurutulması; ürünlerin hasat edilmeleri ile pazarlanmaları arasında geçen zaman aralığında sağlıklı olarak saklanması açısından büyük önem taşımaktadır. Tarımsal ürünlerin kurutulmasında iki yöntem uygulanmaktadır:

- Güneş ışınımı etkisi altındaki kurutma olan doğal kurutma
- Konveksiyon (şartlandırılmış hava) ile kurutma

Günümüzde gıda ürünlerin büyük kısmı doğal çevrede serilerek kurutulmaktadır. Bu kurutma yöntemi diğer kurutma yöntemlerine göre ekonomiktir, ancak; ürün direkt olarak doğayla temas halinde olduğu için, ürünlere toz ve pislik girmekte bu da insan sağlığına zararlı olmaktadır. Kuruma süresinin uzamasıyla, homojen kuruma

sağlanamamakta ve bu da ürün kaybına ve kalite düşümüne sebep olmaktadır (Rajkumar vd., 2007; Kaya, 2008). Meydana gelen ürün kaybı, ürün kalitesini düşürmekte ve kurutulacak ürünün tozlanması gibi bir takım olumsuzlukları da içermektedir. Ürün kalitesini artırmak ve insan sağlığına uygun hale getirmek için ürünü hijyenik şartlar altında kurutmak gerekmektedir.

Toksin bileşikler, insan sağlığını tehdit eden maddelerden biridir ve besin maddelerinde üreyebilen küfler tarafından üretilmektedir. Herhangi bir safhada üreyebilen küfler besin maddelerinden arındırılrsa bile, toksin bileşikler besinde kalmakta ve bu durum özellikle kuru meyveler için büyük sorun oluşturmaktadır. Gıdanın kalitesi, herhangi bir ürünü diğerinden ayırt etmeye yarayan karakteristiklerin bileşimi olarak tanımlanmaktadır (Kaya, 2008). Tüketici bir ürünü seçerken bu karakteristikler, tüketicinin o ürünü seçiminde önemli rol oynamaktadır. Bu nedenle tüketicinin tercihinde rol oynayan her biri ayrı ayrı ölçülüp kontrol edilebilen, gıda kalitesi, söz konusu gıda ünitesini diğerlerinden ayırt etmeye yarayan karakteristiklerin bileşimi olarak tanımlanmaktadır. Gıda kalite kontrolü, tüketici tarafından kabul edilebilen kriterlerin tolerans sınırları içinde tutulması ve bu yapılırken üretim maliyetinin üretici adına en düşük düzeyde bulundurulması olarak tanımlanmalıdır (İsaeva, 2007).

Doğal kurutmada; hijyenik ve ekonomik problemler olduğundan araştırmacılar, kurutmaya ilgili çalışmalarda, alışlagelmiş kurutma yerine daha çağdaş uygulamaları koyma çabasıdır (Yıldız, Sarsılmaz; Kısakürek, 1980; Kaya, 2008).

Şüphesiz ki, kuru ve kurutulacak meyveler ülkelerin tarımsal kalkınması ve ekonomisinde önemli yer tutmaktadır ve dünya pazarlarındaki oldukça önemli bir yerdedir. Buna göre; hijyenik, kaliteli ve homojen koşullarda kurutma sektörü geliştirilerek mevcut pazarlar elde tutulacak ve ayrıca yeni pazarlar elde edilecektir (Kaya, 2008).

Kurutmanın yararlarını aşağıdaki gibi sıralamak mümkündür;

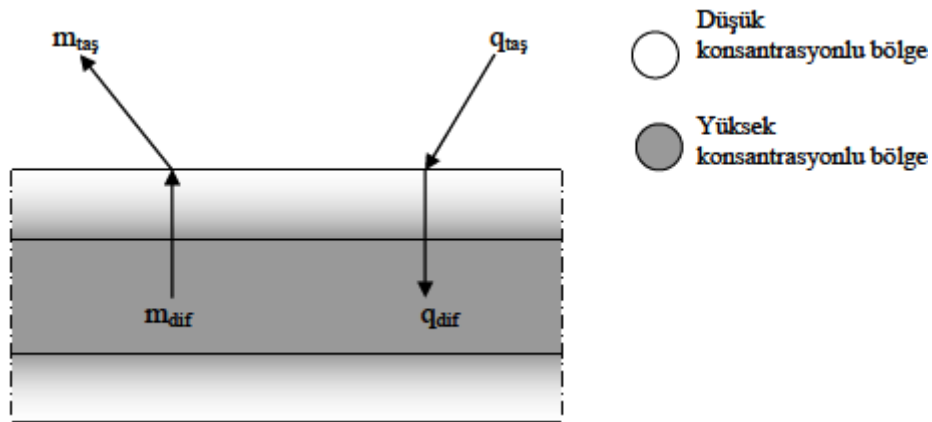
- Hacim azalması sonucu depolamanın artması ve nakliyatla kolaylık sağlanması,
- Kurutulan üründe birim alanda besin miktarı fazlalaşacağından, bir defada yenilebilen miktardan daha fazla besinsel bileşen alınmasına olanak vermesi,

- Bazı ürünlerin işlenmesine olanak vererek daha yüksek ekonomik değerli ürün elde edilmesi,
- Ürünün bozulmadan, kalite özelliklerini koruyarak muhafaza edilmesi
- Kuruduktan sonra ürünler kullanıma hazır hale geldiğinden zamandan tasarruf sağlaması (Ayhan, 2005).

Kurutma yöntemi ilk çağlardan beri uygulanmaktadır. İnsanlar gıdaları kurutarak ürüne dayanıklılık kazandırılması işlemi insanların doğadan öğrendiği eski bir muhafaza yöntemidir. Bu yöntem doğada çoğu zaman kendi kendine gerçekleşmektedir.

Kompleks bir yapıya sahip olan kurutma birçok bilim insanının uzun yıllardır ilgisini çeken konuların başında yer almaktadır. Kurutma işleminde süregelen temel araştırma alanı; kurutma havası koşulları, kurutucu tipleri, enerji maliyeti ve gıda kalitesini etkileyen parametrelerin belirlenmesi olmuştur (Hussain, 2001; Kaya, 2008).

Kurutma; bir eş zamanlı ısı ve kütle transferi prosesi olarak tanımlanabilir. Şekil 2.2.'de kurutma prosesinde meydana gelen ısı ve kütle transferi gösterilmiştir. Isı transferi kurutma havasından kurutulan ürün yüzeyine taşınım ile gerçekleşirken ($q_{taş}$), ürünün iç kısmına ise difüzyonla (q_{dif}) gerçekleşir. Nem transferi ise, ısı transferinin tam tersi bir yol izler. Nem iç kısımdan ürün yüzeyine difüzyonla (m_{dif}), ürün yüzeyinden kurutma havasına taşınım ile ($m_{taş}$) transfer olur. Nem, ürün merkezinden yüzeye doğru kılcal kuvvetlerin etkisiyle ya da sıvı difüzyonuyla hareket eder. Gözenekli maddelerde, genel olarak kılcal kuvvetlerin etkisi meydana gelirken, gözenekli olmayan maddelerde ise sıvı difüzyonu meydana gelir (Kaya, 2008).



Şekil 2.2. Kurutma prosesinde eş zamanlı ısı ve kütle transferinin şematik gösterimi (Kaya, 2008)

Kurutma prosesi ürüne has özellikleri kapsayan ürünün termo fiziksel özellikleri yani; katıdaki gözeneklik sayısı, parçacık boyutu, kuruma sırasında ürün yüzeyinde meydana gelen değişim, ürünün başlangıç nem miktarı, su aktivitesi ve difüzyon katsayısını içeren iç faktörler ve sadece kurutma havasını kapsayan dış faktörler olmak üzere iki faktör olarak ele alınabilir (Dinçer ve Hussain, 2004; Kaya, 2008).

2.3. Literatür Araştırması

Meyve ve sebze kurutma sistemleri ve proseslerinin enerji-ekserji analizi konusunda yürütülen çalışmaların sayısı, ısı sistemlerinin ve değişik proseslerin ekserji analizine göre göreceli olarak azdır (Akpınar, 2004). Açık literatürde yer alan bazı çalışmalar aşağıda verilmiştir.

Yeşil zeytinin tepsili bir kurutucuda tek tabaka halinde kurutulması için performans değerlendirilmesini ekserji analizi yöntemiyle dört farklı sıcaklıkta ve %15 sabit nispi nem değerinde ele alan (Çolak, Hepbaşlı, 2010) ekserji verimini; 40 – 70°C arasındaki sıcaklıkları için % 5,94 ile % 7,87 aralığında hesaplamışlardır.

Yaş tuğla kurutulan bir tünel kurutucudan alınan ölçüm değerleri kullanılarak enerji ve ekserji analizi yapan (Mançuhan, 2009) tünel kurutucu sistemin ekserji verimini % 47,3, ekserji kaybını ise %52,7 olarak belirlemiştir.

Ceylan ve ark. (2007) ısı pompası destekli kereste kurutucusunun enerji ve ekserji analizini incelemiş, yaptıkları çalışmada 40 °C sıcaklık ve 0,8 m/s hava hızında yapılan kurutma işleminde kavak keresteleri 1,28 kg su/kg kuru madde nem oranından 0,15 kg su/kg kuru madde nem oranına 70 saatte ve çam kerestelerinin de 0,60 kg su/kg kuru madde nem oranından 0,15 kg su/kg kuru madde nem oranına 50 saatte indirgendiği sonucuna ulaşmışlardır.

Akpınar (2006), enerji ve ekserji yöntemlerini kullanarak balkabağı kurutma prosesinin performansını değerlendirmişlerdir. Bu çalışmada, havanın farklı sıcaklıklarında balkabağı dilimlerinin tek kat olarak siklon tipi bir kurutucuda kurutulmasının enerji ve ekserji analizi yapılarak, kuruma süresince kullanılan enerji belirlenmiş, kurutma süresince meydana gelen ekserji kayıpları grafik üzerinde

göstermiştir. Ayrıca, zamana bağlı olarak farklı hava sıcaklıklarında ekserji verimi değişimi de ele alınmıştır.

Akpınar vd., (2005) tarafından yapılan başka bir çalışmada ise, siklon tipi bir kurutucuda patates kurutulmasının enerji ve ekserji analizi yapılmıştır. Üç farklı hava sıcaklığı kullanılarak yapılan kurutma işleminde zamana bağlı olarak enerji kullanımı, ekserji verimi ve ekserji kayıpları belirlenmiştir.

Doğranmış kırmızı biberlerin konvektif tip kurutucuda kurutulmasının enerji ve ekserji analizini yapan çalışmasını yapan Akpınar (2004), enerji kullanım oranının, ve ekserji veriminin kurutma zamanına bağlı olarak değişimini göstermiş ve 3 farklı sıcaklık için analiz ederek ekserji verimlerinin % 67.28 ile % 97.92 arasında değiştiği sonucuna ulaşmıştır.

Tahıl olarak, buğday özü kullanan Fortes ve Ferreira (2004), tahıl tanelerinin akışkan yataklı bir kurutucuda kurutulmasının modelleme ve simülasyonu ile ekserji analizini yaparak enerji ve ekserji veriminin zamana göre değişimini, hava hızı ve sıcaklığının enerji ve ekserji verimine olan etkisini incelemişlerdir ve tahıl özlerindeki nem miktarının 0.25 ile 0.33 arasında değiştiği sonucuna ulaşmışlardır.

Dinçer ve Şahin (2003), nemin kurutma prosesindeki ekserji analizi için yeni bir termodinamik model geliştirmiş, ısı ve kütle transferi parametrelerinin fonksiyonuna göre enerji verim oranı tanımlamışlardır. Tanımlayıcı bir örnek sunarak oluşturdukları modelin önemini vurgulayarak, kurutma prosesinin analizi ve optimizasyonu için nasıl önem gösterdiğini belirtmişlerdir. Oluşturdukları bu modelde, enerji verim oranı ve ekserji modelindeki ısı ve kütle parametrelerinin birleştirildiği ilk çalışmadır.

Dinçer ve Şahin (2003) hazırladığı termodinamik modeli göz önüne alarak, hava hız ve sıcaklığının ekserji verimine etkisine göre çalışmalar yapmış, optimum değerle araştırılmış ve kurutma sistemlerinin enerji ve ekserji verimleri ortaya konmuştur.

Midilli ve Küçük (2003a), güneş enerjisi ile kabuklu ve kabuksuz fıstık kurutulmasının enerji ve ekserji analizini yapmışlardır. Bu çalışmada, kurutma kabini giriş sıcaklığına bağlı olarak enerji ve ekserji verimi hesaplaması yapılmış, kullanılan enerji miktarına göre ekserji kaybının değişimi irdelenmiştir.

Sieniutycz ve Kubiak (2002), dinamik limitlerin analizini, sonlu elemanların önemiyle ve termodinamik tersinmezliği kullanarak ardışık gelişmeleri destekleyen prosesler için yapmışlardır. Proseslerde ısı ve kütle transferlerini dikkate alarak sonlu zamanda ve sonlu boyuttaki gereçlerden meydana getirmişler, kimyasal ve reaktör fabrika gibi sistemlerde bu proseslerde uygulanabileceğini belirtmişlerdir.

Syahrul, vd., (2002), nem partiküllerinin akışkan yataklı kurutma prosesinin termodinamik analizlerini yürüterek giriş ve çıkış koşullarının optimizasyonunu sağlamıştır. Farklı malzemelerin analizini tatbik etmişler ve teorik tahminleriyle deneysel tahminleri iyi bir uyuşma sağlamıştır.

Dinçer, ve Şahin., (2001), yaptığı çalışmada ekserji kavramının kullanılmasındaki çeşitli karmaşıkları çevre problemlerinde analiz etme ve bu karışıkları çözmek için kurutma sistemlerini ve uygulamaları için enerji, ekserji ve çevre açısından etkilerini kapsamlı olarak sunmuş ve bazı pratik ve teorik limitlerin enerji ve ekserji verimlerini enerji ve ekserji arasındaki bağlantıları üzerinde tartışarak sunmuştur.

Demirel ve Sandler (2001), termodinamiği lineer olarak dengede olmayan entropi üretimi ve gerçek kuvvetlerle çok bileşenli akışlarda ısı güç kaybı fonksiyonlarının ve kütle transferi için akışlar gösterilmesinin ifade edilmesi için kullanmışlardır.

Horlock vd. (2000), elde edilen net işin verilen ısıya oranı olarak kapalı sistemlerin ısı verimini belirtmişlerdir. Açık çevrimlerde ise elde edilen net işin ideal şartlarda elde edilebilecek tersinir işe oranı olduğuna dikkat çekerek, literatürde kurutma prosesleri için benzer bir verim ifadesi olduğuna dikkat çekmişlerdir.

Miguel (2000), bir termodinamiksel model kullanmış ve gözenekli yapıya doğru olan akışı ve gözenekli yapıdaki kütlenin değişimiyle gözenekli yapıya olan kütle taşınımı alanındaki teorik ve deneysel araştırmaları arz etmiştir. Bu çalışma da, gözenekli yapılardaki termodinamik grafikleri oluşturarak ve teorik yaklaşımları gerekli şartları çıkartarak tatbik etmiştir.

Sieniutycz (2000), ısıtma ve kurutma operasyonlarının optimizasyonlarını ardışık çalışmalarla destekleyerek entropi ve ekserji kriterlerini oluşturmuşlardır.

Topic (1995), çalışma koşulları yüksek sıcaklık olan gıda kurutma sistemlerinde endüstriyel sistemlerin ekserji analizi için matematiksel bir model sunmuştur.

Bejan (1982), sistemi daha verimli bir hale getirmek için sistemdeki kayıp işin azaltılması gerektiğini savunmuştur.

3. KURUTMA SİSTEMİ TİPLERİ

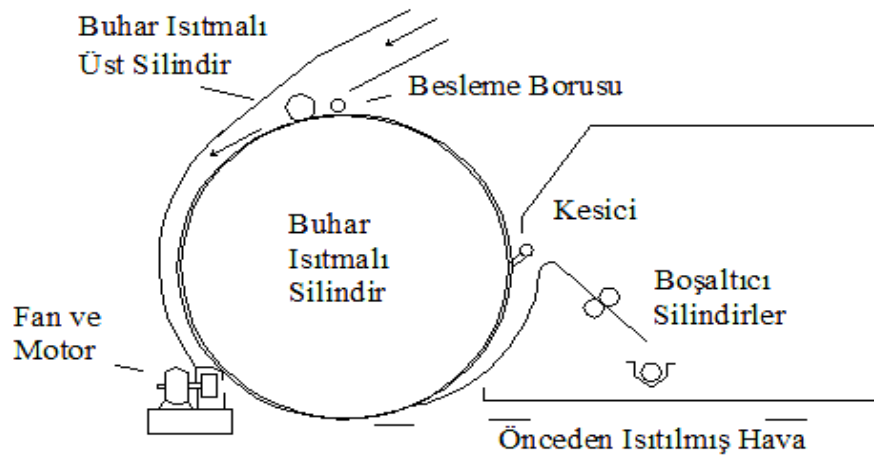
Bu bölümde kurutma sistem tipleri ele alınmıştır.

3.1. Yüksek Hızlı Kurutucular

Yüksek hızlı kurutucular, kâğıt kurutmak için kullanılan silindirik kurutuculara benzer bir sistemdir. Silindirik kurutucularla birlikte kullanıldığı zaman, dokuma kalitesinde ve işlem kontrolünde bazı problemler gözlenebilir. Kurutma hızında iç yayınının kontrol edici etmen olmadığı ince zarımsı dokumalarda daha iyi sonuçlar vermektedir (ASHRAE, 2003).

3.2. İletim İle Kurutma

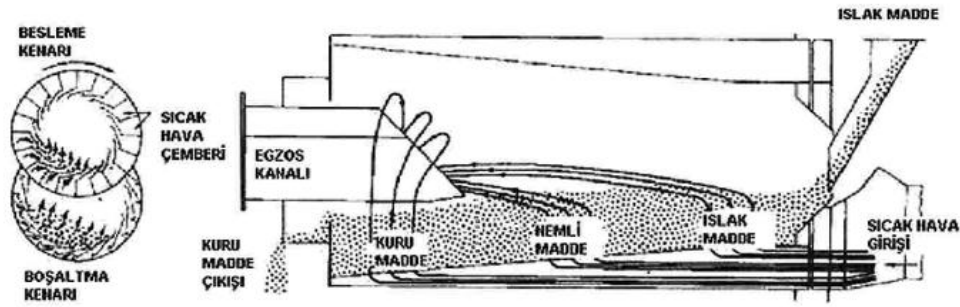
İletim ile kurutma eski bir yöntem olmasına rağmen günümüzde de özellikle çikolata sektörüne yönelik yağlı süt tozu üretiminde kullanılmaktadır ve 20'nci asrın başından beri çok az değişikliğe uğramıştır (Şekil 3.1). Bu yöntemde kurutma kısmen düşük yatırım ve işletme masrafları ile yapılabilmektedir. Kurutma sistemlerinin çoğu “konveksiyon kurutma” yöntemi olarak kabul edilirken, valsli kurutucular “kontakt kurutma” yöntemi şeklinde bilinir. Bu nedenle kurutmada yüksek bir ısı iletim kat sayısı ve buna bağlı olarak güçlü bir ısı transferi söz konusudur (MEGEP, 2009).



Şekil 3.1. Kurutma Silindiri (ASHRAE, 2003).

3.3. Döner Kurutucular

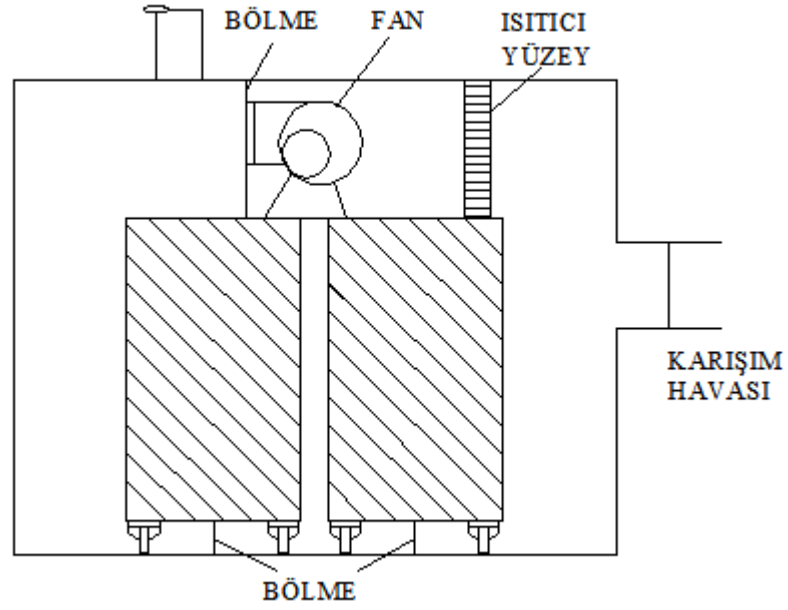
Döner kurutucular, fırın içerisindeki hammaddenin akışını sağlayabilmek için kurutucunun belli bir açıda çalıştığı sistemlerdir. Sistemin şematik gösterimi Şekil 3.2’de verilmiştir. Kurutulması istenen ürün kurutucu içindeki kanatlarda harmanlandığı için verimli bir kurutma sağlanır. Hareketli yataklı bir kurutucudur ve belirli bir eğim verilerek, yatay olarak rulmanlar üzerinde ayarlanabilen bir hızda döndürülen bir silindirden ve her biri bu silindirin iç çeperine eksen boyunca eşit aralıklarla yerleştirilmiş 8 raf bulundurur. Silindirin yukarı ucundan, üstten kurutulacak madde ile sürekli beslenir; raflardan dönme ile akan maddenin arasından, ürün akışına ters yönde geçirilen sıcak hava ile kurutma sağlanır. Kuruyan madde, silindirin aşağı ucundan, alttan alınır (Doğanay, 2009).



Şekil 3.2. Döner Kurutucu Örneği (ASHRAE, 2003)

3.4. Kabinli ve Bölmeli Kurutucular

Kabinli kurutucuların, ısıtılan tavanlı sistemlerden (bu sistemlerde sadece doğal taşınım ve genelde zayıf ve düzensiz bir kurutma sağlanır), zorlanmış taşınımlı ve özel olarak tasarlanmış bölmeli daha karmaşık sistemlere kadar birçok modeli vardır. Birçok sistem hassas ve nemli malzemenin düşük sıcaklıklarda kurutulması için tasarlanmıştır. Bu tip kurutucularda kurutma işlemi, kurutulacak malzemenin yüzey alanını arttırmak için tepsilere serilerek yapılır. Şekil 3.3.’de suya doymuş ürünlerin kurutulması işleminde kullanılan bir sistem örneği verilmiştir (Günerhan, 2005).



Şekil 3.3. Kabinli Kurutucu Örneği (ASHRAE, 2003).

3.5. Tava Tipi Kurutucular

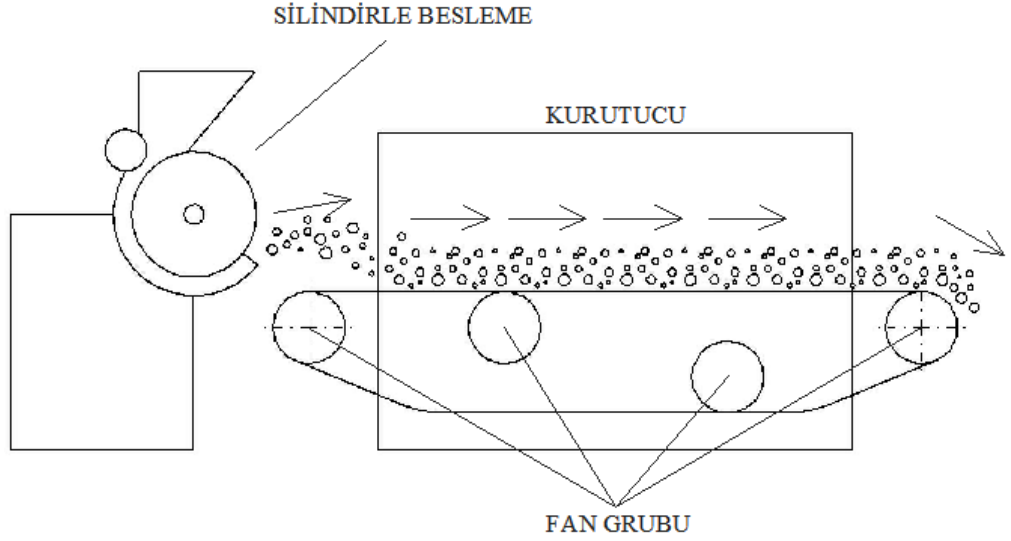
Bu tip kurutucularda gıda maddesi genellikle çok ince bir tabaka haline getirilerek aletin tavalarına yayılır. Isıtma; iki şekilde meydana gelir. Isıtılmış yüzeylerden radyasyon ile ya da tavaları yalayıp geçen bir sıcak hava akımı yani iç sirkülasyon ile tavaların yerleştirileceği ısıtılmış plakalar veya raflardan kondüksiyon ile. Bu tip kurutucuların çoğunluğu aynı zamanda oluşan buharı da sürükleyip uzaklaştıran sıcak hava akımı ile ısıtılır. Genellikle oda şeklinde olan bu kurutucuların duvarları uygun bir izolasyon materyali ile kaplıdır (Şekil 3.4). Gıda maddesi tavalarla raflı arabalara yerleştirilerek odaya alınır ya da oda içerisinde tavaların yerleştirildiği raflar vardır. Bu tip kurutucularda havanın ısıtılması kurutucunun içinde yapıldığından dışarıdan sıcak hava verilmez. Bu tip kurutucular genelde günde 1-20 ton hammaddeyi kurutabilir. Meyve ve sebzelerin kurutulmasında kullanılırlar (Gürses, 1986).



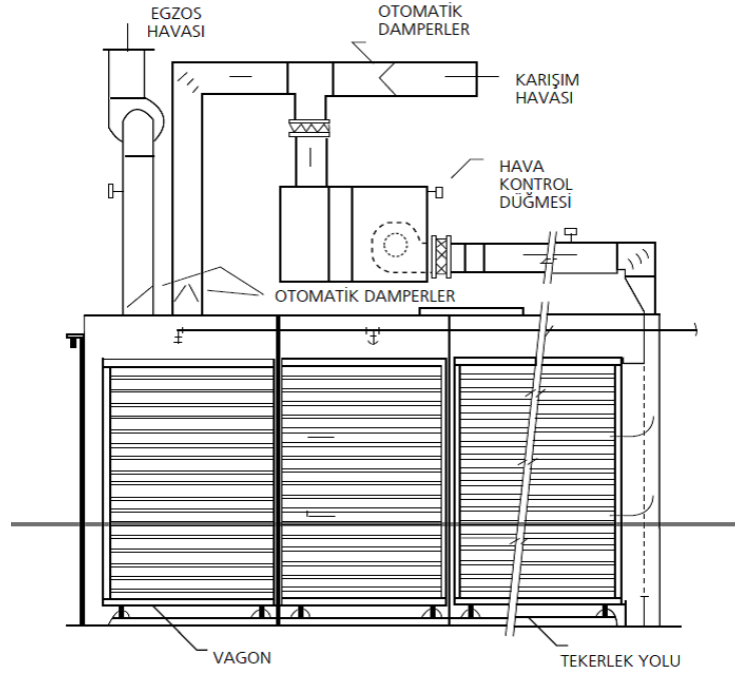
Şekil 3.4. Tava tipi bitkisel kurutma makinesi (URL-3)

3.6.Tünel Kurutucular

Tünel kurutucular, sürekli veya yarı sürekli çalışan, yeniden tasarlanmış bölmeli kurutuculardır. Kurutulacak ürünlerin hem altından, hem üstünden hava sirkülasyonunu geçirerek, daha kısa zamanda ve daha homojen kurutma sağlanır. Bu kurutucular ekonomik kullanımıyla da farklılık sağlamaktadır. Malzeme, kurutucuda sürekli veya periyodik olarak tepsiler, arabalar veya bölmeler içerisinde hareket ettirilir. Hava akışı paralel, çapraz veya merkez egzozuyla birlikte bu akışların birleşimi şeklinde hareket edebilir. Tünel kurutuculara ait akış şeması Şekil 3.5’de ve sistemin genel gösterimi Şekil 3.6’da verilmiştir. Hava, tepsi yüzeyi boyunca dikey olarak yatak boyunca veya herhangi bir doğrultuda akmaktadır. Kurutucudaki havanın tekrar ısıtılması veya dolaştırılması, hava egzoz edilmeden yüksek bir karışım kalitesine ulaşılmasını ve duyulur ısı kaybının azaltılmasını sağlar (Günerhan, 2005).



Şekil 3.5. Sürekli Bir Tünel Kurutucu Akış Şeması (ASHRAE, 2003)



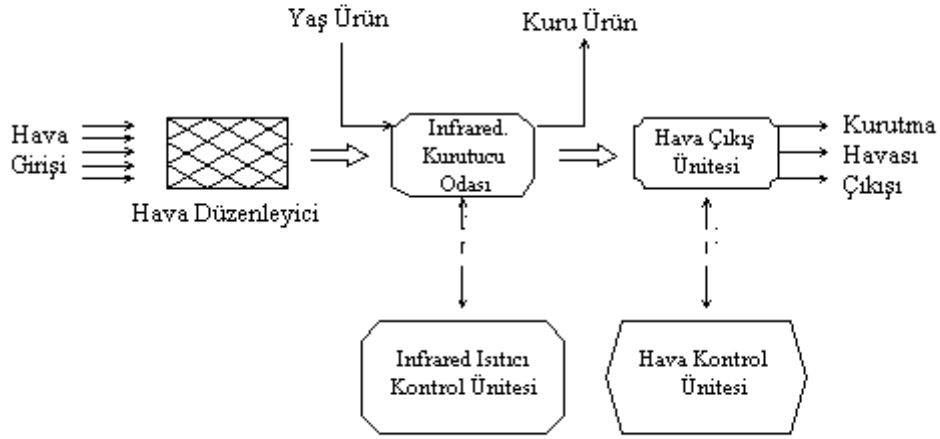
Şekil 3.6. Tünel Kurutucu Örneği (ASHRAE, 2003)

3.7. Kızılötesi Işınım Kurutma

Kızılötesi ısıtma 0.5-1000 μm dalga boyunda uygulanan bir ısıtım yöntemidir. Birçok gıda maddesinin ısıtılması, kurutulması ve yüzey pastörizasyonu amacıyla uygulanabilmektedir. Diğer yandan daha yüksek ısı verimliliği ve ısıtma hızına sahip olması nedeniyle gıda sektöründe gittikçe popülerlik kazanmakta ve kullanım alanı genişlemektedir. Kızılötesi ısıtım ile kurutmanın enerji kullanım etkinliği, kurutma

süresi, kullanım ve ayar kolaylığı gibi bazı üstün özellikleri vardır (Kocabıyık ve Demirtürk, 2008).

Kurutma meyve ve sebzelerin işlenmesinde önemli bir işlemdir. Ayrıca kalite ve enerji ihtiyacı açısından hassas bir süreçtir. Araştırmacılar özellikle hassas bitkiler üzerinde bu kurutma sistemini denemektedirler. Konveksiyonel havalı kurutucuda (Park vd., 2002), mikrodalga kurutucuda ince tabaka halinde (Özbek ve Dadalı, 2007) nane yapraklarının kurutma kinetikleri belirlenmiş ve Şekil 3.7'deki gibi değişik kuruma modelleri incelenmiştir. Yukarıda verilen bazı üstün özelliklerinden dolayı infrared ısı kaynaklarının kurutma amacıyla kullanılabileceği bazı araştırmacılar tarafından ifade edilmiştir. Kızılötesi, sadece bir malzemenin yüzeyi ve etrafında etkilidir, bu sebeple ince tabakaların kurutulması için uygundur (Kocabıyık ve Demirtürk, 2008).



Şekil 3.7. İnfrared kurutmada işlem akışı (Kocabıyık ve Demirtürk, 2008)

3.8. Sprey (Püskürtmeli) Kurutucular

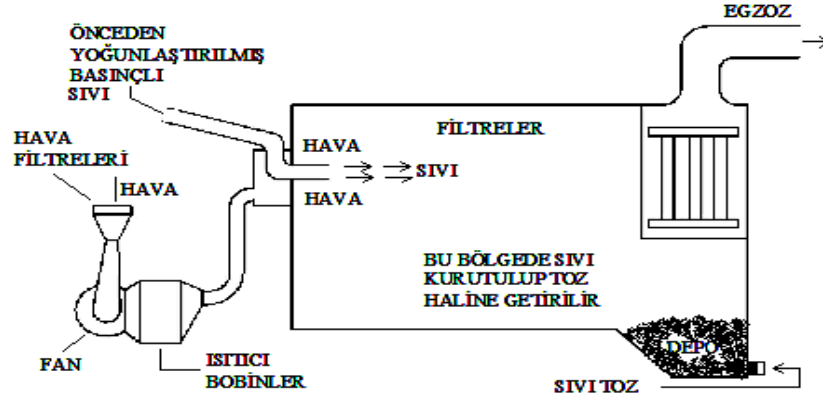
Püskürtmeli kurutma (spray-drying) yöntemi özellikle sütün dehidrasyonunda uygulanan en gelişmiş yöntemlerden biridir. Ürün atomize (pülverize) edilerek bir kurutma hücreesindeki sıcak hava içerisine son derece geniş bir yüzey kazandırılarak sıcak hava içinde hızlı bir kuruma sağlandırılır. Bu sistem Şekil. 3.8'de gösterilmiştir.

Püskürtmeli kurutucular genellikle;

- Sıcak hava üretim düzeni,
- Ürünün ince damlacıklar haline getirildiği sistem (atomizer-nozel),
- Sıcak hava ile atomize edilmiş olan ürünün karşılaştığı kurutma hücre,

●Kurutma hücresinden ve siklon seperatörlerden gelen toz ürünün (dehidre) paketlenme sıcaklığına tedrici olarak soğutulması ve elenmesi için akışkan yataklar olmak üzere beş ana bölümden oluşan düzenlerdir.

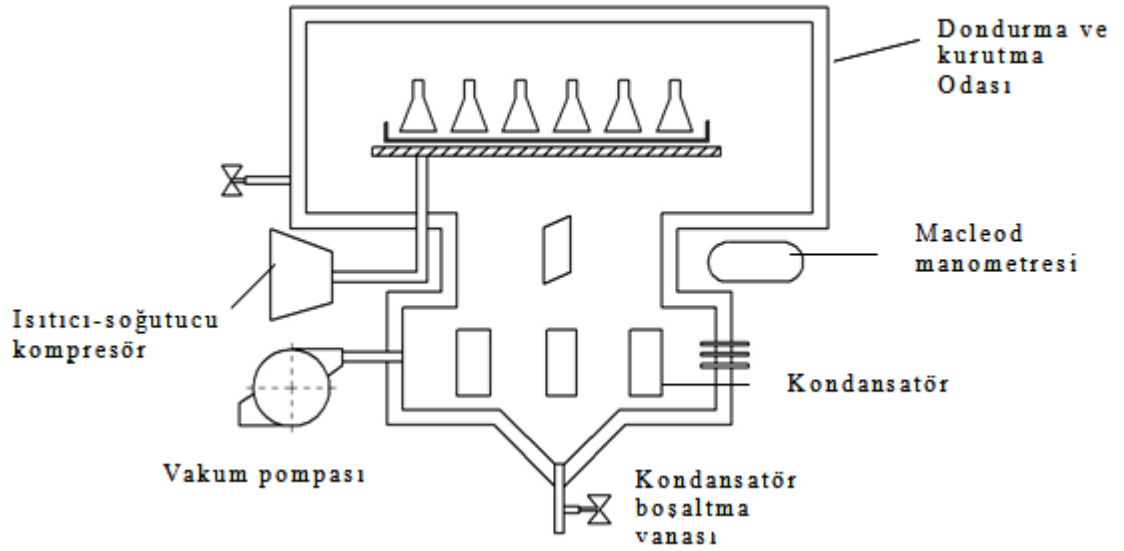
Bu tip kurutucularda ürün atomize edildiğinden yani çok küçük damlacıklara dönüştürüldüğü için çok geniş bir yüzeye sahip olur ve böylece dehidrasyon hızı çok yükselir. Gıda sanayinde kullanılan tiplerinde; buhar, elektrikli ısıtıcılar, sıcak hava jeneratörleri gibi sistemler tercih edilir (MEGEP, 2009).



Şekil 3.8. Dönen Tip Sprey Kurutucu (ASHRAE, 2003)

3.9. Dondurmalı (Şoklama ile) Kurutma

Dondurarak kurutma işlemi çoğunlukla düşük basınçta donmuş çözeltilerden, çözücünün ve bağlı suyun uzaklaştırılmasıdır (Dondurarak Kurutma). Şoklama ile kurutma, eczacılık ürünleri, serumlar, bakteri ve virüs kültürleri, aşılar, meyve suları, kahve ve çay esansları, sebzeler, deniz ürünleri, etler ve süt için kullanılır. Malzeme önce dondurulur, sonra düşük sıcaklıklı bir yoğuşturucu veya kimyasal kurutucuya bağlı yüksek vakum odasına yerleştirilir. Donmuş malzemeye ısı, kızılötesi ışıma ile iletilir, uçucu madde (genelde su) gaz haline gelir, yoğuşur veya kimyasal kurutucu ile soğutulur. Birçok dondurucu kurutma işlemi, düşük basınçlar altında 40°C ile -10°C sıcaklık aralığında gerçekleşir. Bu işlem pahalı ve yavaş olmasına rağmen, ısıya duyarlı malzemeler için oldukça uygundur (Günerhan, 2005). Bu yöntemle kurutma işlemini gerçekleştirmek için, dondurarak kurutma aleti olarak da adlandırılan liyofilizatörler gerekmektedir. Liyofilizatörler başlıca üç kısımdan oluşmuştur. Bunlar: dondurma ve kurutma odası, kondansatör (yoğunlaştırıcı) ve vakum pompasıdır. Ayrıca cihazda soğutma ve ısıtmayı sağlayan kompresörler (ekovatlar) ve ısıtıcılar da yer alır (Şekil 3.9) (Doğanay, 2009).



Şekil 3.9. Dondurarak kurutma (Liyofizasyon) aleti (ASHRAE, 2003)

3.10. Kızgın Buhar Ortamında Kurutma

Kızgın buhar ortamında kurutma işleminde, katıların hava veya bir başka gaz ile kurutulması işlemi sırasında buharlaştırılan çözücü (su veya organik sıvı) yığın gaz akımına ulaşmak için durgun bir gaz filmine yayılmalıdır. Gaz filmi, kütle transferine karşı direnç gösterir ve kurutma miktarı, çözücü buharı yayılım oranına bağlı olarak değişir. Eğer gaz, çözücü buharı ile yer değiştirirse, buhar fazındaki kütle transferine olan direnç ihmal edilir ve kurutma oranı yalnızca ısı transfer oranına bağlı olarak alınır. Çözücü buharındaki kurutma oranı (kızgın buhar gibi), kurutucu akışkanın sıcaklık ve kütle akış oranından daha büyüktür. Bu yöntemin ısı verimi oldukça yüksektir, çözücünün sisteme geri kazanılması mümkündür. Ayrıca aşırı kurutma gözlenmez ve havanın oluşturduğu oksitlenme ve diğer kimyasal reaksiyonlar gözlenmez. Kumaş kurutmada kızgın buhar kullanılırsa, reçine ve boya maddelerinin bir yerde birikmesi önlenir. Kızgın buharla kurutma, yüksek sıcaklıklar sebebiyle ısıya dayanıklı olmayan malzemelere uygulanmaz (Günerhan, 2005).

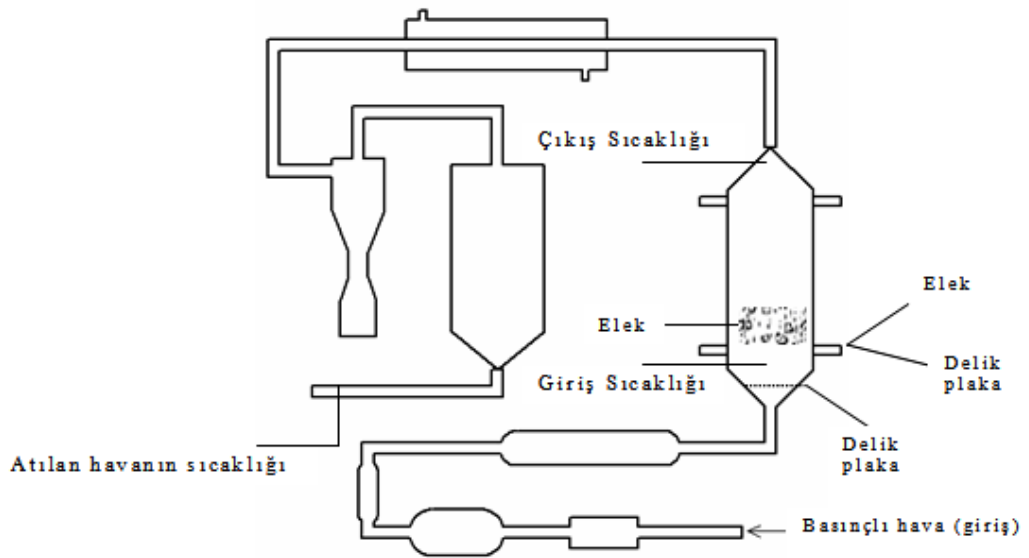
3.11. Akışkan Yataklı Kurutma

Akışkan yataklı sistemlerde katı parçacıklar hava hızıyla birlikte kurutulmaktadır. Ayrı tanecikler ve kurutma havası arasındaki ısı transferi, tozlu veya tanecikli madde ile akışkan gaz arasında yakın temas olduğu için oldukça iyidir. Bu temas, hassas malzemelerin yüksek sıcaklık farklarından etkilenmeden kurutulmasını sağlar.

Kurutulan malzeme, geleneksel sistemlerden farklı olarak tepsi ve diğer ısı alışveriş yüzeylerine serilmeden serbest olarak akar. Otomatik doldurma veya boşaltma mümkündür fakat en büyük artısı azaltılmış işlem süresidir. Aşırı hava miktarı, gaz sıcaklığı ve malzeme kuruma süresi gibi bazı basit kontroller yapılmalıdır. Bütün akışkan yataklı kurutucular patlama-çıkış kapaklarına sahip olmalıdır. Patlama basınç ve alevleri tehlikelidir.

Toksin malzeme kullanıldığında, kullanılan gazın atmosfere kontrolsüz olarak verilmesi önlenmelidir.

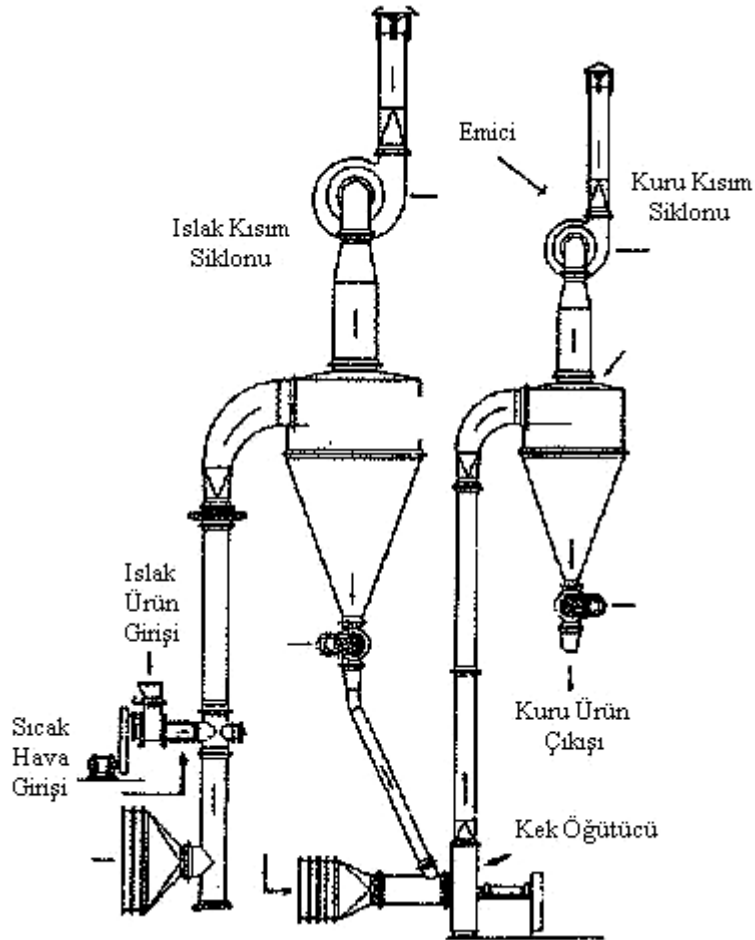
Akışkan yatağın yaratacağı basınç düşümünü simüle etmek yapılan araştırmalarda rastlanan en büyük zorluktur. En büyük basınç düşümü akışkan yatak içerisinde oluşmaktadır. Akışkan yatak içerisinde oluşacak bu basınç düşümünü bulabilmek için akışkan yatak içerisinde minimum akışkanlaştırma hızının bulunması gerekmektedir (Kurtuluş, 2007). Hızı bulmak için basınç hareketli amonyak fosfat söndürücüler gibi, patlama bastırıcı sistemler kullanılabilir. Patlayıcı karışımların oluşmasını önlemek için kurutucu iç atmosferi hazırlanabilir. Organik ve parlamayan karışımlar kullanıldığı takdirde, kapalı sistemlerin birçok artısı vardır. Akışkan gazın bir kısmı, devamlı olarak yoğunlaştırucudan geçirilir ve böylece hava kirliliği sorunları azaltılıp, bir miktar malzemenin sisteme geri kazanılması sağlanır (Şekil 3.10). Akışkan yataklı sistemlerde kurutulan malzemelere örnek olarak kömür, kireç taşı, çimento, kabuklar, dökümhane kumu, fosfatkaya, plastik tıbbi malzeme ve yiyecekler verilebilir (Günerhan, 2005).



Şekil 3.10. Boraks üretilen akışkan yatağın şematik gösterimi (Akçay, 1996)

3.12. Flaş (Alevli) Kurutma

Düzgün bir şekilde bölünmüş katı parçacıklar, sıcak gaz akımı içerisinde yayılarak hızlı ve düzgün bir şekilde kurutulabilir. Ticari uygulamalarda; pigment (boya maddesi), sentetik reçine, yiyecek maddeleri, sulu bileşikler, alçıtaşı, kil ve tahta kurutulması gözlenmektedir (Günerhan, 2005). Kurutucular: Toz (kek) öğütücü, ani kurutucular, ve siklon ayırıcılar (tutucudan) olarak üç parçadan oluşmuştur (Şekil 3.11). Kurutucuya çok yüksek hızda (15-30m/s) teğetsel olarak giren ve içinde kurutulacak tozu taşıyan 150-700°C sıcaklığındaki hava çok kısa süre içinde maddeyi kurutur. Kurutucu havanın sıcaklığı 650°C civarında olduğunda ürün yüzeyinin sıcaklığı 50°C'yi geçmez. Kurutucuda merkezkaç etkisiyle tozlar ayrılır, sıcak hava dışarı çıkar. İkisi, üçü art arda olan tipleri vardır (Doğanay, 2009).



Şekil 3.11. Flash Kurutucu (Doğanay, 2009)

4. KURUTMA TEORİSİ

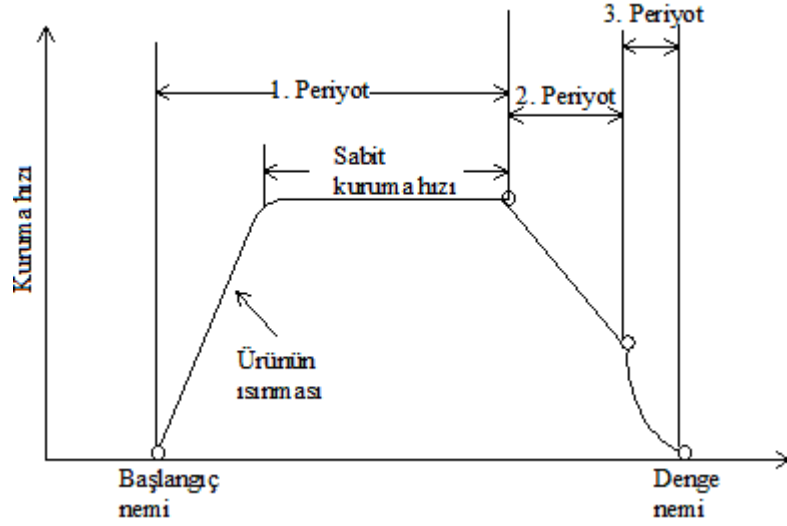
Kurutulacak ürün içerisindeki nemin uzaklaştırılması olarak tanımlanan kurutma, ısı ve kütle transferinin birlikte gerçekleşmesiyle meydana gelen karmaşık bir olaydır. Kuruma işlemi esnasında ısı transferi kurutma havasından ürüne doğru ısı aktarımı gerçekleşir.

Kurutulacak ürün içerisinde yer alan su gıdaların kurutulmasında önemli rol oynar. Bağlı suyun fiziksel, termodinamik ve kimyasal özelliklerini anlatan Rockland (1969) , gıda maddelerinde üç tip bağlı suyun bulunabileceğine dikkat çekmiştir. Bunlar; (a) hidroksil ve amid gruplarına hidrojen bağıyla bağlı su molekülleri (b) karboksil ve amino grupları gibi iyonik gruplara bağlı olan su molekülleri, (c) maddenin gözeneklerinde bulunan, gözenekler arası kapiler kuvvetler ve çözünebilir bileşikler nedeniyle, buhar basıncı saf suyun buhar basıncından düşük olan, bağlı olmayan serbest su (Hepbaşlı, 2008).

Buharlaşma gizli ısını alan su moleküllerinin üründen atmosfere iletimi ile ürünün kuruması gerçekleştirilir. Gıda maddeleri kılcal gözenekli yapıya sahiptirler ve kuru madde ağırlıklarının birkaç katı nem tutma özelliğine sahip higroskopik maddelerdir (Öztekin ve Soysal, 1999). Gıdaların kurutulması işlemi sırasında suyun üründen uzaklaştırılması zordur. Bu zorluk, yukarıda sıralanan bulunma şekillerine göre her biri için farklı düzeydedir. Her bir su tipinin uzaklaştırılması için gereken enerji miktarı farklıdır (Heldman ve Singh, 1989).

4.1 Kuruma Evreleri

Tane, yaprak gibi kılcal gözenekli yapıya sahip bir biyolojik materyalden nem kaybı üç aşamada gerçekleşir. Şekil 4.1’de görüldüğü gibi ısınan ürün sabit kuruma evresine ulaşır. Bu evrede, nemin üründen uzaklaşma debisi, ürün içindeki veya üstündeki suyun buharlaşma debisiyle sınırlıdır. Buharlaşmanın olduğu yüzeye nem transferi, yüzeyde gerçekleşmekte olan buharlaşmadan daha hızlı olduğu müddetçe bu tip kurutma devam eder (Çolak, 2009). Kurutulacak ürün üzerinde oluşabilecek bir nem tabakası, kurutma havasının hareketlendirilmesiyle aşılabilir.



Şekil 4.1. Tipik bir kurutma debisi eğrisi (Çolak, 2009)

Kritik nem miktarına ulaşan kuruma işlemi azalan hızda devam eder. İkinci evrede azalan hız başlar ve buharlaşmanın gerçekleştiği sınır tabakası yüzeyden iç kısımlara doğru ilerler. Bazı ürünlerde birden fazla azalan kuruma debisi periyodu gerçekleşebilir ve nem miktarı azaldıkça ikinci veya üçüncü azalan debi periyodu görülebilir.

Sadece çok küçük kılcal borularda var olan nemin buharlaşması üçüncü kuruma evresinde gerçekleşir. Kuruma hızının giderek azaldığı ve denge konumuna ulaştığı aşama bu aşamadır. Nem iletimi, ürün içindeki suyun buhar basıncı kuruma esnasında, ürünün etrafındaki atmosferin buhar basıncından az olduğu zaman durur. Kuruma prosesi denge konumuna geldiği zaman, eğer ürünü çevreleyen havanın özelliklerinde bir değişiklik yoksa ürün nemi değişmez. Bu koşullardaki ürün nemine ‘ürün denge nemi’, hava nemine de ‘denge bağlı nemi’ adı verilir. Bu denge nemleri genellikle deneysel olarak elde edilir. Ürün nemi yaş veya kuru madde miktarına göre tanımlanır. Kuru madde esasına göre ürün nemi (N_{kb} , kuru baz) ürünlerdeki nem miktarının (m_N), kuru madde miktarına (m_{km}) oranıdır:

$$N_{kb} = \frac{m_n}{m_{km}} \quad (4.1)$$

Yaş madde esasına göre ürün nemi (N_{yb} , yaş baz) ürünlerdeki nem miktarının (m_N), ürünün toplam kütlesine ($m = m_n + m_{km}$) oranı olarak tanımlanır.

$$N_{yb} = \frac{m_n}{m} \quad (4.2)$$

Kuruma sırasında sert, gözenekli veya gözeneksiz katılar önemli derecede büzülme göstermezlerken, koloidal ve lifli maddeler, nem kaybettikçe önemli derecede

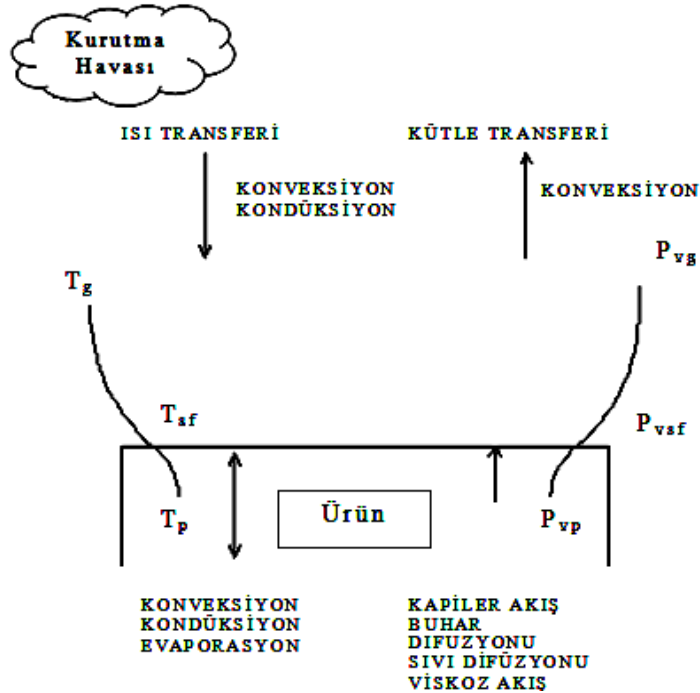
büzülürler. Büzülmenin üç farklı etkisi vardır; birincisi, maddenin birim ağırlığının yüzeyini değiştirmesidir. Büzülme, hava ile temas eden madde yüzeyinin alanını önemli derecede değiştirdiği için bu husus özellikle gıda maddeleri için önemlidir (Çolak, 2009).

Büzülmenin en önemli etkisi olan ikinci etkisi ise, yüzeyde sert bir kabuk oluşturarak nemin sıvı veya buhar olarak geçişini engellemesidir. Kuruma prosesi esnasında oluşan bu kabuk kurumayı büyük ölçüde yavaşlatır. Büzülmenin üçüncü etkisi ise maddenin yarılmasına, çarpılmasına veya tüm madde yapısının değişmesine sebep olmasıdır.

Yarılma, çarpılma ya da sert bir yüzey tabakası oluşturmaya meyilli olan maddeleri kurutmak için nemli hava kullanılır. Bu durumda katı madde yüzeyi ile hava arasındaki nem farkı azaltılmış ve kuruma yavaşlatılmış olur. Böylelikle içten dışa doğru olan nem farkı daha az olur ve büzülmenin etkisi azalır.

4.2. Kurutma Sırasında Isı ve Kütle Transferi

Kurutma sırasında eş zamanlı olarak iki farklı transfer gerçekleşir: (1) kurutulacak materyalin yüzeyine dış çevreden ısı transferi ve (2) katı maddenin içinden yüzeye doğru gerçekleşen kütle transferi. Bu prosesler Şekil 4.2’te şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 4.2. Gıda maddeleri için kuruma olayının şematik gösterimi

Kurutma şartlarına ve kurutulacak olan ürüne bağlı olarak, buharlaşma ya ürün içinde ya da yüzeyde meydana gelir. Kuruma, eğer hem katının iç yapısından hem de dış koşullardan etkilenirse de bu faktörlerin etki derecesi kuruma periyoduna bağlı olarak değişir. Kuruma periyodunda sabit hızda, ısı ve kütle transferi katı-gaz ara yüzeyindeki koşullara bağlı iken, azalan hız periyodunda ise katı içindeki direnç önemlidir.

Kurutulacak materyale enerji şu yöntemlerle iletilir:

- Konveksiyon (buhar veya ısıtılmış hava olarak ürünün etrafından geçirilerek materyal içindeki suyun buharlaştırılması için gerekli olan ısı sağlandığında). Gerçekleştirilen kurutma proseslerinin çoğunda (bantlı konveyör, akışkan yatak, tepsili, flaş, püskürterek kurutma, vb) ısı transferi, esas olarak konveksiyonla sağlanır.
- Kondüksiyon (Materyal sıcak bir yüzeyle temas halinde ise) eğer tambur, tepsili veya döner kurutucularda ürün sıcak yüzeyle temas ediyorsa ısı transferi kondüksiyonla sağlanır.

Konveksiyon, iletim, ısıl radyasyon, radyo ya da mikro dalgaları tarafından üretilen elektromanyetik enerjinin absorpsiyonu ile kuruma için gerekli olan ısı sağlanır.

Isı ve kütle transfer katsayıları iki yöntemle hesaplanabilir. Birinci yöntem, ısı-kütle transferini tanımlayan diferansiyel denklemlerin yaklaşık çözümlerine uygun analitik bağlantıların bulunmasına ya da deneysel verilere dayanır. Ancak basit sistem geometrisi ve laminar akım dışında söz konusu denklemlerin çözümleri mümkün değildir. İkinci yöntem ise benzerlik teorisine dayanır. Kurutucu hava ile kurutulan nemli katı arasındaki ısı ve kütle transferini etkileyen parametreler için uygun birer boyutsuz sayı kullanılabilir. Bu tür boyutsuz sayıların genel şekli, değişik ısı ve kütle transfer mekanizmaları için Çizelge 4.1’de sunulmuştur (Strumillo ve Kudra, 1986; Çolak, 2009).

Çizelge 4.1. Isı ve kütle transferini betimleyen boyutsuz sayılar (Strumillo ve Kudra, 1986; Çolak, 2009)

Aktarım Mekanizması	Aktarılan Büyüklük	Boyutsuz Sayı
Zorlanmış taşınım	Isı	$Nu = f_1(Re, Pr, Gu)$
Doğal taşınım	Isı	$Nu = f_2(Gr, Pr)$
Zorlanmış taşınım	Kütle	$Sh = f_3(Re, Sc, Gu)$
Doğal taşınım	Kütle	$Sh = f_4(Gr, Sc)$

Kurutma esnasında katı yüzeyini kurutmak için aktarılan ısıнын bir kısmı katıyı ısıtmak için harcanacağından, katının sıcaklığı artar. Sıvının katı içindeki etkin yayılım katsayısı da bu sıcaklık artışına bağlı olarak artar. Eğer katı maddenin sıcaklığı daha da artarsa, nem yüzeye ulaşmadan buharlaşır ve buna bağlı olarak buhar difüzyonu ve kuruma hızında değişiklikler oluşur. Deneysel yöntemler aktarım katsayılarının bulunmasında yaygın olarak kullanılır. Çünkü katı içinde ısı ve kütle iletimle aktarılmaktadır. Nem içeriğine göre ısı aktarımında, katılar üç gruba ayrılmış ve ısı aktarım katsayıları her bir grup için ayrı ayrı tanımlanmıştır (Strumillo ve Kudra, 1986; Çolak, 2009).

4.3. Kurutmanın Önemi

Kurutma işlemi çeşitli amaçlarla uygulanmaktadır. Bunları aşağıdaki başlıklar altında toplamak mümkündür:

1- Hacim veya Ağırlığı Düşürmek:

Hacim ve ağırlığı düşürerek maddelerin taşınma, depolanma ve kullanılma işlemlerini daha kolay ve ekonomik hale getirmek mümkündür. Taşıma maliyeti, maddenin içerdiği nem miktarı ile doğru orantılı olarak artmaktadır. Onun için özellikle uzak mesafelere taşınan maddelerin nem oranlarının mümkün olduğu kadar düşük olması gerekmektedir. Kurutma işleminin enerji yoğun bir işlem olduğu göz önüne alınarak, enerji maliyetleri ile taşıma maliyetleri arasında bir dengenin kurulması gerekmektedir. Örneğin kömür - su karışımları gemiye yüklenmeden önce, karışımın

içerdiği suyun uzaklaştırılması ve belli bir ölçüde kurutulması gerekmektedir. Aynı şey birçok hammadde için geçerlidir.

2- İstenen Özelliklerde Ürün Elde Etmek:

Kurutma ve nem içeriğini ayarlamanın en önemli amaçlarından biri de istenen özelliklere sahip hammadde veya ürün elde etmektir. Gıda sanayinde meyve ve sebzeler kurutularak hem daha uzun ömürlü, hem de daha kolay taşınır ürünlere dönüştürülmektedir. Yine bazı kimyasal maddeler, tablet haline getirilmek amacıyla kurutulmaktadırlar.

3- Ürünleri Sterilize Etmek ve Korumak:

Özellikle ilaç ve gıda endüstrilerinde, ürünleri sterilize etmek veya korumak amacıyla ürünlerin nem içeriği ayarlanmaktadır. Böylece, nemin neden olduğu küflenme, çürüme ve bozulmaları önlemek mümkün olmaktadır.

4- Çözelti ve Sulu Atık Çözeltilerden Yan Ürün Elde Etmek:

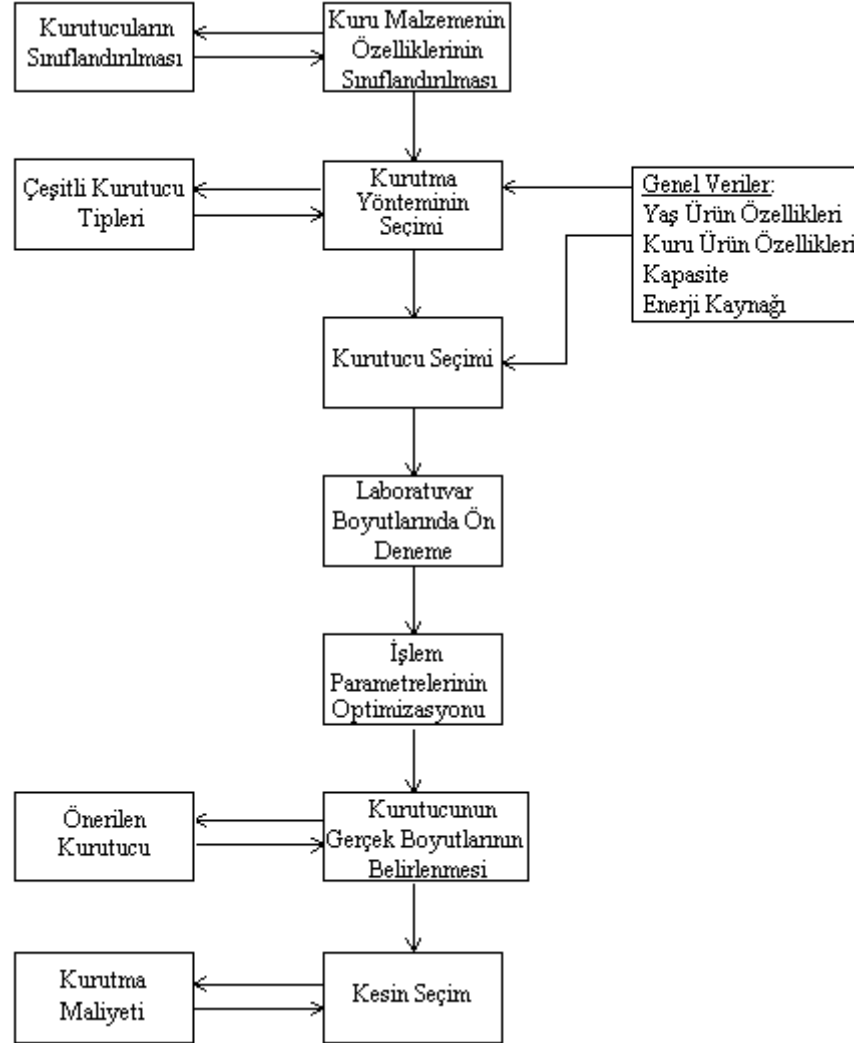
Bazı endüstriyel proseslerde, çözelti halinde bulunan ara ürünlerden son ürüne geçmek için kurutma uygulanmaktadır. Örneğin, bir sıvı çözelti halinde üretilmekte ve bu ara ürün sprey kurutucularda kurutularak toz hale dönüştürülmektedir. Bunun gibi süttozu üretilirken de benzer bir uygulama söz konusu olmaktadır.

4.4. Uygun Kurutucu Seçimi

Ürün kalitesini ve işletmenin kârlılığının veriminin artması açısından, uygun bir kurutucunun seçilmesi önemli bir rol oynamaktadır. Çeşitli kurutma işlemleri uygun olan kurutucu tiplerinin farklı olmasından dolayı, kurutma yöntemi ve kurutucunun doğru seçimine önem vermek gerekmektedir (URL-4).

Uygun kurutucu seçimini belirlemek, birçok etkenin dikkate alınmasını gerektirdiği için karmaşık bir işlemdir. Kurutulacak malzemenin özelliklerinin yanı sıra, ısıtıcı tipi, enerji kaynağı, kurutma havası ile malzeme arasındaki hidrodinamik koşullar ele alınmalıdır. Kurutucu tipinin seçimi sırasında teknolojik gereksinimler, ekonomik

Çalışma ve elde edilen kuru ürünün kalitesi de önemli kriterlerdendir. Kurutucu seçimi sırasında dikkate alınacak unsurlar ve etkileşimleri Şekil 4.3. ile verilmiştir (Günerhan, 2005).



Şekil 4.3. Uygun kurutucu seçimleri için işlem basamakları (Günerhan, 2005)

Kurutucu seçiminde ilk hareket noktası malzemenin özelliklerinin belirlenmesidir. Kurutulacak malzemenin statik ve kinetik kuruma özellikleri ve kurumuş üründen beklenen şekil ve dış görünüm özellikleri öncelikle belirlenmelidir. Malzemenin statik ve kinematik kuruma özellikleri, soğurma ve yüze çekme (adsorption) eş sıcaklıkları ile kritik nem, denge nemi, kurutma sıcaklığı, kuruma hızı gibi parametrelerin belirlenmesi için bilinmesi gereken önemli unsurlardır.

Kurutucu tipleri, aşağıdaki ana başlıklar altında kategorize edilebilir: (Driscoll, 2004)

- **Kurutucunun çalışma şekli:** Ürün kesikli kurutuculara yüklenir (örneğin, fırın tipi kurutucular) ve sistem çalıştırılır, kurutulan ürün kuruduktan sonra boşaltılır. Sürekli kurutuculara (örneğin, döner kurutucu) ise sistem çalışırken ürün yüklenir ve boşaltılır. Kurutucunun büyüklüğü 50 kg/h'e kadar ise küçük, 50 kg/h – 1000 kg/h arasında ise orta, veya 1000 kg/h'in üzerinde ise büyük olabilir (Walas, 1988). Birim alandan, birim zamanda buharlaştırılan suyun kilogram olarak miktarı ile de kurutucu kapasitesi ifade edilebilir. Döner kurutucularda bu değer çok yüksek (yaklaşık 50 kg/m²h) tepsili kurutucularda ise düşüktür (yaklaşık 1 kg/m²h).

- **Kurutucunun ısıtma şekli:** Eğer ürün yanma odasından gelen gazlarla temas halinde ise bu ısıtma şekli direkt ısıtma; bir ısı değiştiricisi vasıtası ile ısıнын gazlardan kurutma havasına aktarılıp ürünün olası kirleticilerden korunduğu ısıtma şekli ise dolaylı ısıtmadır. Isıtma elektriksel yollarla da yapılmaktadır (radyo ve mikro dalgaları, ohmik). Ancak bu yöntem özel bir durum olarak değerlendirilir.

- **Kurutulacak ürünün özellikleri:** Kurutulmak istenen maddeler kuruma sırasındaki rollerine göre 3 temel grupta incelenirler:

1. Kuruma sırasında sadece boyut değişikliğine uğrayıp elastik özelliklerini koruyan kolloid malzemeler.
2. Kuruma sonrasında kolayca öğütülebilir hale gelen gözenekli-kapiler malzemeler.
3. İlk iki sınıftaki malzemelerin özelliklerini aynı anda taşıyan kolloidal kapiler gözenekli malzemeler.

Eğer gözenek yarıçapı 0.1 μ 'den daha küçük ise tüm nemli katılar kapiler gözenekli malzemeler olarak kabul edilebilirler. Bu tip katıların içinde nem hareketi esas olarak yüzey gerilimi kuvvetleri ile sağlanır. Fakat gözenek yarıçapı 10^{-5} m'den büyük ise, yüzey gerilimi kuvvetlerinin yanında yerçekimi kuvvetleri de dikkate alınmalıdır. Bu tür özellikleri olan katılara gözenekli katılar denir.

Katılar içerdikleri nem durumuna göre üç grupta sınıflandırılabilirler. Bu sınıflandırmaya göre katılar;

- higroskopik,
- kısmen higroskopik

- higroskopik olmayan,

Mikro gözenekli yapıda olup bağlı nem içeren malzemeler higroskopik malzemelerdir. Serbest yüzeyli saf sıvının verilen sıcaklıktaki buhar basıncı bu malzemelerin içerdikleri sıvının buhar basıncından daha büyüktür. Kısmen higroskopik olan malzemeler ise makro gözenekli katılardır ve bağlı nemin buhar basıncı, aynı sıcaklıktaki saf sıvının buhar basıncından çok az farklıdır.

Kurutulmak istenen materyal ısıya duyarlıysa kurutucudaki kalış süresi kısaltılmalı veya direkt ısıtma kullanılmalıdır. Böyle durumlarda spiral tüp kurutucuların ya da zorlamalı konveksiyonlu kurutucuların kullanılması tavsiye edilir. Tıpkı gıda maddelerinin kurutulmasında olduğu gibi, kurutma düşük sıcaklıkta gerçekleştirilecekse, ısı pompalı kurutma veya vakum altında dondurarak kurutma tercih edilebilir. Eğer havadaki oksijen ile oksitlenebilecek malzemelerin kurutulması isteniyorsa dolaylı ısıtma yöntemleri ya da inert bir gaz (N_2 , CO_2 , vb) kullanılmalıdır. Hava akışı yönü, kurutulacak ürünün hareketli olduğu kurutucularda, kurutma havasının akışı, ürün hareketi ile aynı doğrultuda, çapraz veya zıt yönde olabilir.

Hava akımı eş yönlü ise, girişte gaz ile katı arasındaki nem ve sıcaklık farkı, dolayısı ile kuruma hızı yüksektir. Kurutucu içinden ilerledikçe aradaki sıcaklık ve nem farkı azalacağından kuruma hızı giderek düşer. Bu yüzden, bu tür sistemlerde çok az miktarda kalan nem ekonomik olarak uzaklaştırılamaz. Eğer kuru katı sıcaklığa duyarlı ise bu tür sistemlerde eş yönlü hava akımı kullanılabilir.

Zıt yönlü akımın meydana geldiği kurutucular sıcaklığa duyarlı maddelerin kurutulması için uygun değildir. Bu tür kurutucularda sıcak ve taze hava nispeten kuru katı, soğuk ve nemli hava ise nemi yüksek katı ile temas halindedir.

Çapraz akımda tek bir kademede istenilen nem düzeyine kadar kurutma gerçekleştirilemez. Bu yöntemin kullanabilmesi için katının sıcaklıktan etkilenmemesi gerekir. Bu yöntemin en önemli avantajlarından birisi, kurumanın kısa sürede gerçekleştirilebilmesidir.

Kurutucu çeşitleri farklı yöntemlerle birçok sayıda sınıflandırılabilir. Sınıflandırma yöntemleri, ürün besleme yöntemine (lifli katı, süspansiyon, sıvı, granül, lapa, pürüzlü

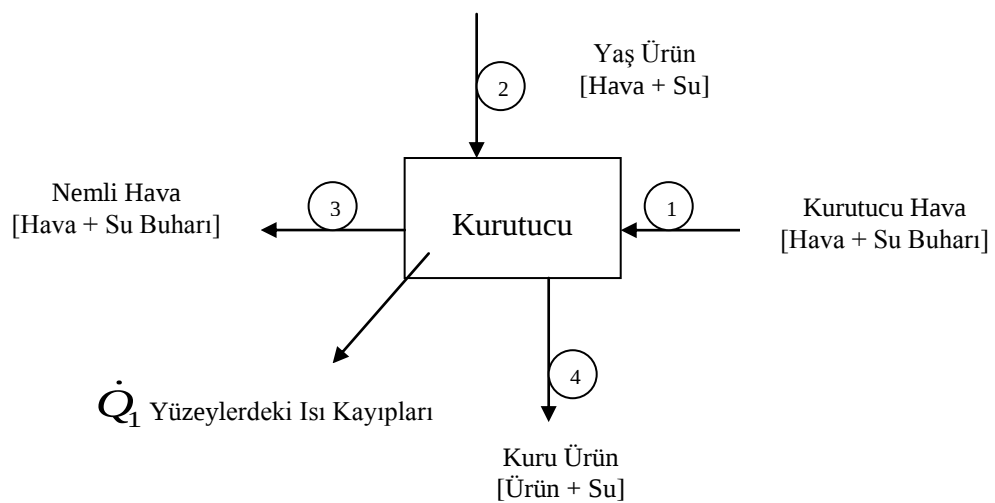
katı, yoğun katı ve yaprak), kurutucunun çalışma şekline (kesikli, sürekli), ürün hassasiyetine (düşük sıcaklık, vakum), ısıtma şekline (konveksiyon, radyasyon, dielektrik, temas) göre olabilir (Walas, 1988; Çolak, 2009).

Kurutucu tasarımında ve seçiminde dikkate alınması gereken en önemli faktörlerden biri ise kurutmanın maliyetidir. Bu maliyet; sermaye, enerji ve işçilik maliyetlerinden sonra, kurutma işlemlerindeki en önemli maliyettir (Çolak, 2009).

5. TEORİK ANALİZ

Bu bölümde kurutma prosesinin enerji ve ekserji analizinden bahsedilmiştir. Basit bir kurutucunun şematik gösterimi Şekil 5.1.'de verilmiştir. Şekil 5.1'den görüldüğü gibi dört ana bileşen mevcuttur. Bu bileşenler;

- 1 Noktası: Kurutucuya giren kurutma havası.
- 2 Noktası: Kurutulmak için kurutucuya giren ürün.
- 3 Noktası: Kurutucudan çıkan nemli hava.
- 4 Noktası: Kurutulmuş ürün.



Şekil 5.1. Basit bir kurutucunun şematik gösterimi

5.1. Kütle Denge Denklemleri

Kurutucu için genel kütle denge denklemleri: (Şahin ve Dinçer, 2004)

$$\text{Ürün: } (\dot{m}_p)_2 = (\dot{m}_p)_4 = \dot{m}_p \quad (5.1)$$

$$\text{Hava: } (\dot{m}_a)_1 = (\dot{m}_a)_3 = \dot{m}_a \quad (5.2)$$

$$\text{Su: } w_1 \dot{m}_a + (\dot{m}_w)_2 = w_3 \dot{m}_a + (\dot{m}_w)_4 \quad (5.3)$$

5.2. Enerji Denge Denklemleri

‘Giren Enerji = Çıkan Enerji’ prensibine göre enerji denge denklemleri aşağıdaki gibi yazılabilir:

$$\dot{m}_a h_1 + \dot{m}_p (h_p)_2 + (\dot{m}_w)_2 (h_w)_2 = \dot{m}_a h_3 + \dot{m}_p (h_p)_4 + (\dot{m}_w)_4 (h_w)_4 + \dot{Q}_1 \quad (5.4)$$

Burada;

$$h_1 = (h_a)_1 + w_1(h_v)_1 + (h_a)_1 + w_1(h_g) \quad (5.5)$$

$$h_3 = (h_a)_3 + w_3(h_g)_3 \quad (5.6)$$

h_1 ve h_2 'nin psikrometrik tablodan alınabileceği unutulmamalıdır.

Kurutucudaki ısı kayıp oranı:

$$\dot{Q}_1 = \dot{m}_a q_1. \quad (5.7)$$

5.3. Ekserji Denge Denklemleri

Bu bölümde tıpkı enerji denge denklemlerinde yazıldığı gibi, giriş ve çıkış terimleri için ekserji denge denklemleri yazılmıştır: (Şahin ve Dinçer, 2004)

$$\dot{m}_a ex_1 + \dot{m}_p (e_p)_2 + (\dot{m}_w)_2 (e_w)_2 = \dot{m}_a ex_3 + \dot{m}_p (e_p)_4 + (\dot{m}_w)_4 (e_w)_4 + \dot{E}_q + \dot{E}_d \quad (5.8)$$

Burada ex_1 ve ex_3 , 1 ve 3 noktasından temin edilmiştir.

1 noktası için özgül ekserji:

$$ex_1 = [(C_p)_a + w_1(C_p)_v](T_1 - T_0) - T_0 \left\{ [(C_p)_a + w_1(C_p)_v] \ln \left(\frac{T_1}{T_0} \right) - (R_a + w_1 R_v) \ln \left(\frac{P_1}{P_0} \right) \right\} \\ + T_0 \left\{ (R_a + w_1 R_v) \ln \left(\frac{1 + 1.6078 w^o}{1 + 1.6078 w_1} \right) + 1.6078 w_1 R_a \ln \frac{w_1}{w^o} \right\} \quad (5.9)$$

3 noktası için özgül ekserji:

$$ex_3 = [(C_p)_a + w_3(C_p)_v](T_3 - T_0) - T_0 \left\{ [(C_p)_a + w_3(C_p)_v] \ln \left(\frac{T_3}{T_0} \right) - (R_a + w_3 R_v) \ln \left(\frac{P_3}{P_0} \right) \right\} \\ + T_0 \left\{ (R_a + w_3 R_v) \ln \left(\frac{1 + 1.6078 w^o}{1 + 1.6078 w_3} \right) + 1.6078 w_3 R_a \ln \frac{w_3}{w^o} \right\} \quad (5.10)$$

Nemli ürün sonucu için özgül ekserji:

$$e_p = [h_p(T, P) - h_p(T_0, P)] - T_0 [s_p(T, P) - s_p(T_0, P)] \quad (5.11)$$

Ve su bileşeni için özgül ekserji sonucu:

$$e_w = [h_f(T) - h_g(T_0)] + v_f [P - P_g(T)] - T_0 [s_f(T) - s_g(T_0)] + T_0 R_v \ln \left[\frac{P_3(T_0)}{x_v^0 P_0} \right] \quad (5.12)$$

Ek olarak ısı kaybı ile gerçekleşen ekserji kaybı:

$$\dot{E}_q = \dot{m}_a e_q = \dot{m}_a \left(1 - \frac{T_0}{T_{av}} \right) q_1 = \left(1 - \frac{T_0}{T_{av}} \right) Q_1 \quad (5.13)$$

ile ifade edilmiştir (A. Z. Şahin ve Dinçer, 2004).

5.4. Kurutucu havanın ekserjetik verimi

$$\eta_{ex} = \frac{\text{Üründeki nemi buharlaştırmak için ekserji harcanımı}}{\text{Tedarik edilen kurutucu havanın ekserjisi}} \quad (5.14)$$

Başka bir deyişle:

$$\eta_{ex} = \frac{(\dot{m}_w)_{ev} [(e_w)_3 - (e_w)_2]}{\dot{m}_a ex_1} \quad (5.15)$$

Burada

$$(\dot{m}_w)_{ev} = (\dot{m}_w)_2 - (\dot{m}_w)_4 \quad (5.16)$$

$$(e_w)_3 = [h(T_3, P_{v3}) - h_g(T_0)] - T_0 [s(T_3, P_{v3}) - s_g(T_0)] + T_0 R_v \ln \left[\frac{P_g(T_0)}{x_v^0 P_0} \right] \quad (5.17)$$

$$\text{Ve } P_{v3} = (x_v)_3 P_3 \text{ 'dür (A. Z. Şahin ve Dinçer, 2004).} \quad (5.18)$$

5.5. Kurutma ürünlerinin ısı özelliklerinin belirlenmesi

Kurutma ürünlerine ait özgül ısılar; karıştırma metotları, koruyucu plaka metotları ve difarensiyel kalorimetre gibi çeşitli deneysel metotları içererek hesaplanmıştır (Balta vd., 2010; Singh, 1992; Choi ve Okos, 1986). Choi ve Okos (1986) ürünlerin özgül ısıları için aşağıdaki denklemleri önermiştir (Colak, 2007).

$$X_{su} = m.A_{su} \quad (5.19)$$

$$X_{pr} = m.A_{pr} \quad (5.20)$$

$$X_{li} = m.A_{li} \quad (5.21)$$

$$X_k = m.A_k \quad (5.22)$$

$$X_{fi} = m.A_{fi} \quad (5.23)$$

$$X_{kül} = m.A_{kül} \quad (5.24)$$

$$C_{su} = 4.1762 - 9.0864 \times (10^{(-5)}) \times (T) + 5.4731 \times (10^{(-6)}) \times (T^2) \quad (5.25)$$

$$C_{pr} = 2.0082 + 1.2089 \times (10^{(-3)}) \times (T) - 1.3129 \times (10^{(-6)}) \times (T^2) \quad (5.26)$$

$$C_{li} = 1.9842 + 1.4733 \times (10^{(-3)}) \times (T) - 4.8008 \times (10^{(-6)}) \times (T^2) \quad (5.27)$$

$$C_k = 1.5488 + 1.9625 \times (10^{(-3)}) \times (T) - 5.9399 \times (10^{(-6)}) \times (T^2) \quad (5.28)$$

$$C_{fi} = 1.8459 + 1.8306 \times (10^{(-3)}) \times (T) - 4.6509 \times (10^{(-6)}) \times (T^2) \quad (5.29)$$

$$C_{kül} = 1.0926 + 1.8896 \times (10^{(-3)}) \times (T) - 3.6817 \times (10^{(-6)}) \times (T^2) \quad (5.30)$$

$$C = C_{su} \times X_{su} + C_{pr} \times X_{pr} + C_{li} \times X_{li} + C_k \times X_k + C_{kül} \times X_{kül} \quad (5.31)$$

$$h_p = C \times ((T) - (T_0)) \quad (5.32)$$

$$s_p = C \times \ln((T) / (T_0)) \quad (5.33)$$

$$e_p = (h_{p2}) - (T_0) \times (s_{p2}) \quad (5.34)$$

Burada T, ürününün değişken sıcaklığı olup T₀ ise ilk sıcaklıktır. Ürüne ait diğer özellikler Çizelge 6.1’de ki değerler kullanılarak hesaplanmış ve ele alınan sistemin kurutma havası özelliklerinin değerleri Çizelge 6.2’de gösterilmiştir.

6. SONUÇLAR

Bu bölümde ticari olarak kurutma işlemi en fazla yapılan ürünler olan domates, elma ve tıbbi aromatik bir ürün olan brokoli göz önüne alınmıştır. Bu nedenle çalışma kapsamında i) elma, ii) brokoli ve iii) domates ürünleri kurutulacak ürün olarak seçilmiştir. Ürün kurutma hava hız ve sıcaklığına bağlı olarak sistemin ekserji verimleri irdelenmiş ve aşağıda verilen hesaplama prosedürü uygulanarak elde edilen değerler aşağıda grafik ve çizelgelerde sunulmuştur. Ayrıca ekserji verimleri ve ekserji kayıpları, farklı özelliklerle kıyaslanarak grafiklerle belirtilmiştir. Kurutulan ürünlere ait özellikler aşağıda Çizelge 6.1’de verilmiştir.

- Yapılan çalışmada referans çevre sıcaklığı ve basıncı, 298.15 K ve 101.3 kPa alınmıştır.
- Kinetik ve potansiyel enerji değişimleri ihmal edilmiş ve sistemin sürekli akışlı bir sistem olduğu kabul edilmiştir.

Çizelge 6.1. Elma, brokoli ve domates ürünlerine ait özellikler (URL-5).

Ürün	Su A_{su} (%)	Protein A_{pr} (%)	Lipit A_{li} (%)	Karbonhidrat A_k (%)	Kül $A_{kül}$ (%)
Elma	84.9	0.2	0.1	14.6	0.2
Brokoli	89	4.3	0.5	5.2	1
Domates	94	0.7	0.1	4.7	0.5

Çizelge 6.2. Ele alınan sistemin kurutma havası özellikleri

T (K)	w_1 (g/g)	w_3 (g/g)	h_1 (kJ/kg)	h_3 (kJ/kg)	s_1 (kW/K)	s_3 (kW/K)
318	0.012	0.04076	318.7	313.6	5.873	6.103
323	0.01554	0.04429	323.7	318.7	5.921	6.149
328	0.01996	0.04872	328.7	323.7	5.976	6.203

Çizelge 6.3. Elma ürününe ait özellikler ile hesaplanan değerler

$m_a(m/s)$	$m_{ij}(kg)$	318 K				323 K				328 K			
		Q_l (kW)	E_q (kW)	n_{ex} (%)	E_d (kW)	Q_l (kW)	E_q (kW)	n_{ex} (%)	E_d (kW)	Q_l (kW)	E_q (kW)	n_{ex} (%)	E_d (kW)
0.5	5	0.354	0.01149	3.18	3.32	0.3529	0.01421	3.17	3.31	0.352	0.01686	3.14	3.29
	10	0.355	0.01152	6.37	3.62	0.3526	0.01420	6.33	3.60	0.351	0.01680	6.29	3.58
	15	0.356	0.01155	9.55	3.86	0.3524	0.01419	9.50	3.84	0.349	0.01673	9.43	3.81
1.0	5	0.882	0.02863	1.28	7.70	0.8810	0.03547	1.27	7.69	0.880	0.04218	1.26	7.68
	10	0.883	0.02866	2.55	8.11	0.8807	0.03546	2.54	8.08	0.879	0.04211	2.52	8.05
	15	0.884	0.02869	3.83	8.46	0.8805	0.03545	3.81	8.42	0.877	0.04205	3.78	8.38
1.5	5	1.757	0.05704	0.64	14.89	1.7560	0.07070	0.64	14.88	1.756	0.08413	0.63	14.87
	10	1.758	0.05706	1.28	15.35	1.7560	0.07069	1.27	15.33	1.754	0.08407	1.26	15.31
	15	1.758	0.05709	1.92	15.77	1.7560	0.07068	1.91	15.73	1.753	0.08400	1.90	15.70

Çizelge 6.4. Brokoli ürününe ait özellikler ile hesaplanan değerler

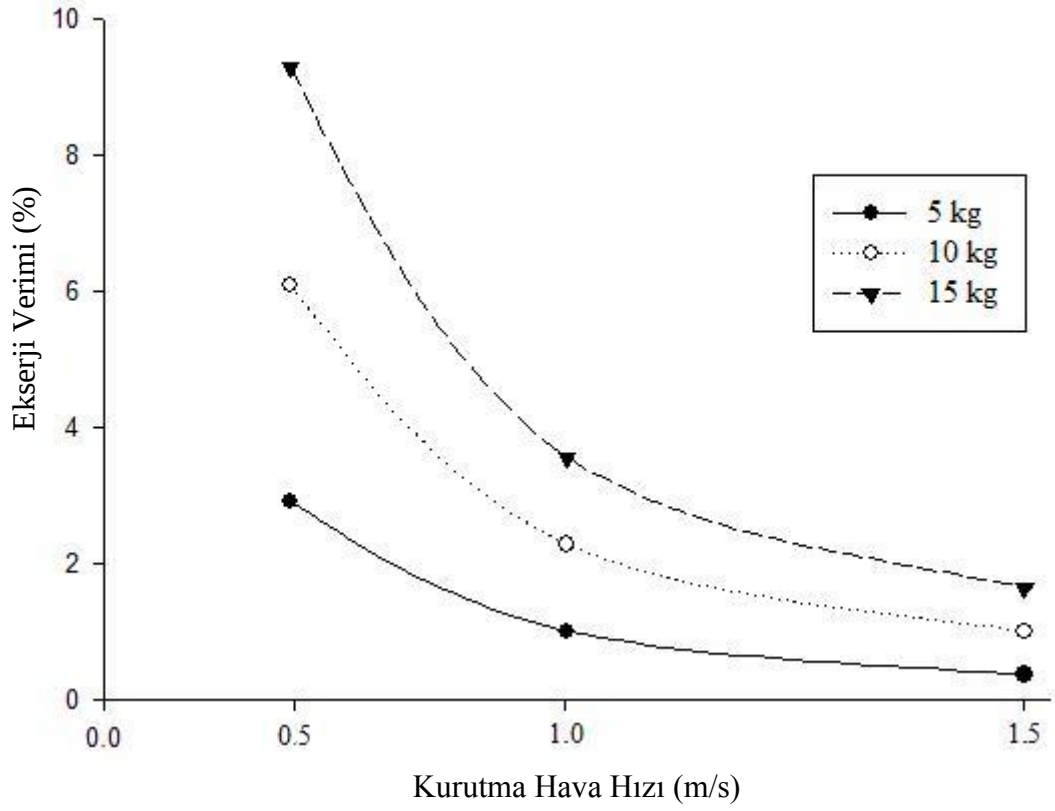
$m_a(m/s)$	$m_{ij}(kg)$	318 K				323 K				328 K			
		Q_l (kW)	E_q (kW)	n_{ex} (%)	E_d (kW)	Q_l (kW)	E_q (kW)	n_{ex} (%)	E_d (kW)	Q_l (kW)	E_q (kW)	n_{ex} (%)	E_d (kW)
0.5	5	0.359	0.01166	3.45	3.34	0.3584	0.01443	3.43	3.33	0.358	0.01715	3.41	3.31
	10	0.365	0.01186	6.90	3.65	0.3638	0.01465	6.86	3.63	0.363	0.01737	6.81	3.60
	15	0.371	0.01205	10.35	3.88	0.3692	0.01486	10.29	3.86	0.367	0.01759	10.22	3.82
1.0	5	0.887	0.02880	1.38	7.73	0.8865	0.03569	1.38	7.71	0.886	0.04246	1.37	7.70
	10	0.893	0.02900	2.76	8.15	0.8919	0.03591	2.75	8.12	0.891	0.04269	2.73	8.09
	15	0.899	0.02919	4.15	8.51	0.8973	0.03612	4.12	8.47	0.895	0.04291	4.10	8.43
1.5	5	1.762	0.05720	0.69	14.91	1.7620	0.07092	0.69	14.90	1.762	0.08442	0.68	14.89
	10	1.768	0.05740	1.39	15.40	1.7670	0.07114	1.38	15.38	1.766	0.08464	1.37	15.35
	15	1.774	0.05760	2.08	15.84	1.7720	0.07135	2.07	15.80	1.771	0.08486	2.05	15.76

Çizelge 6.5. Domates ürününe ait özellikler ile hesaplanan değerler

$V(m/s)$	$m_{ij}(kg)$	318 K				323 K				328 K			
		Q_l (kW)	E_q (kW)	n_{ex} (%)	E_d (kW)	Q_l (kW)	E_q (kW)	n_{ex} (%)	E_d (kW)	Q_l (kW)	E_q (kW)	n_{ex} (%)	E_d (kW)
0.5	5	0.365	0.01186	3.65	3.35	0.3650	0.01469	3.63	3.34	0.365	0.01748	3.60	3.32
	10	0.378	0.01226	7.29	3.66	0.3769	0.01517	7.25	3.64	0.376	0.01803	7.20	3.62
	15	0.390	0.01266	10.94	3.90	0.3888	0.01565	10.88	3.87	0.388	0.01857	10.80	3.84
1.0	5	0.893	0.02900	1.46	7.74	0.8931	0.03595	1.45	7.73	0.893	0.04279	1.44	7.72
	10	0.906	0.02940	2.92	8.18	0.9050	0.03643	2.91	8.15	0.904	0.04334	2.89	8.12
	15	0.918	0.02980	4.38	8.54	0.9169	0.03691	4.36	8.50	0.916	0.04389	4.33	8.46
1.5	5	1.768	0.05741	0.73	14.93	1.7680	0.07118	0.73	14.92	1.768	0.08475	0.71	14.91
	10	1.780	0.05781	1.47	15.44	1.7800	0.07166	1.46	15.41	1.780	0.08530	1.45	15.39
	15	1.793	0.05821	2.20	15.89	1.7920	0.07214	2.19	15.85	1.791	0.08584	2.17	15.80

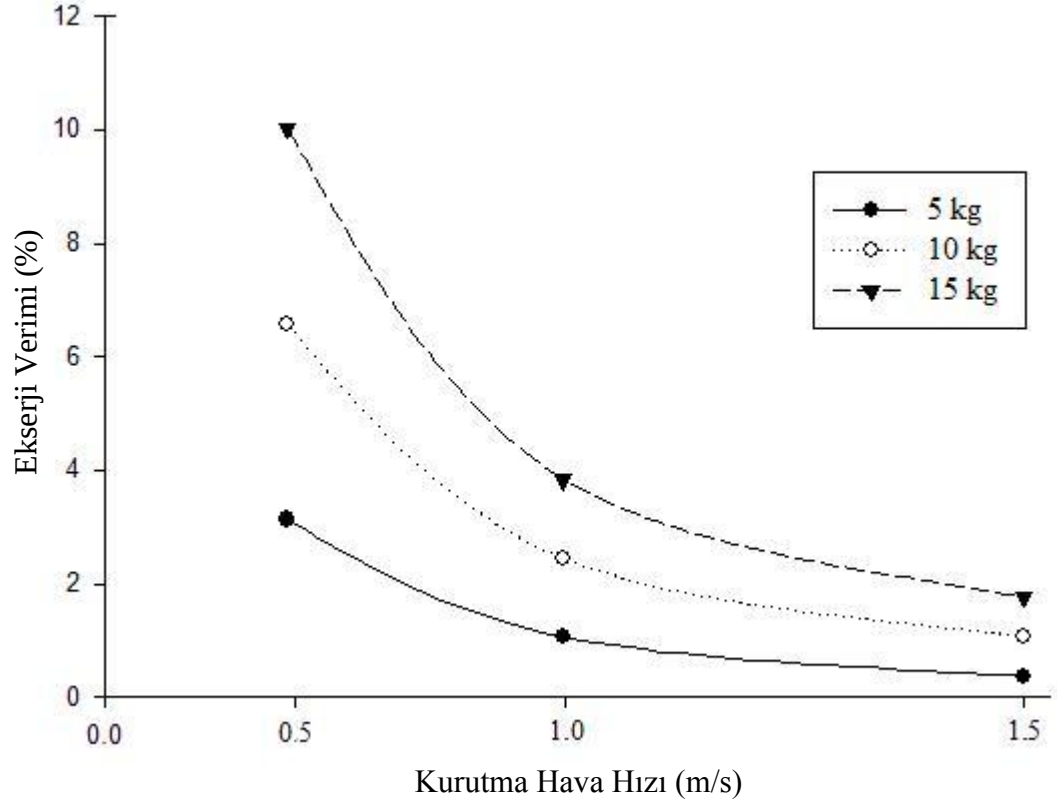
Çalışmada elma, brokoli ve domates ürünleri 318, 323 ve 328 K olduğu ele alınmış ve aşağıda verilen Şekil 6.1, Şekil 6.2, Şekil 6.3’de 318 K sabit sıcaklık baz alınarak çizilmiştir.

Şekil 6.1 incelendiğinde 318 K hava sıcaklığında kurutma sisteminin 5 kg elma ürünü için ekserji verim değerlerinin % 0.64 ile % 3.18 arasında değiştiği, ürünün 10 kg’a çıkarılması durumunda ise sistemin veriminin artış gösterdiği ve % 1.28 ile % 6.37 arasında değiştiği hesaplanmıştır. Son olarak 15 kg elma ürünün kurutulması ile sistemin ekserji verim değerlerinin %1.92 ile % 9.55 arasında değiştiği hesap edilmiştir.



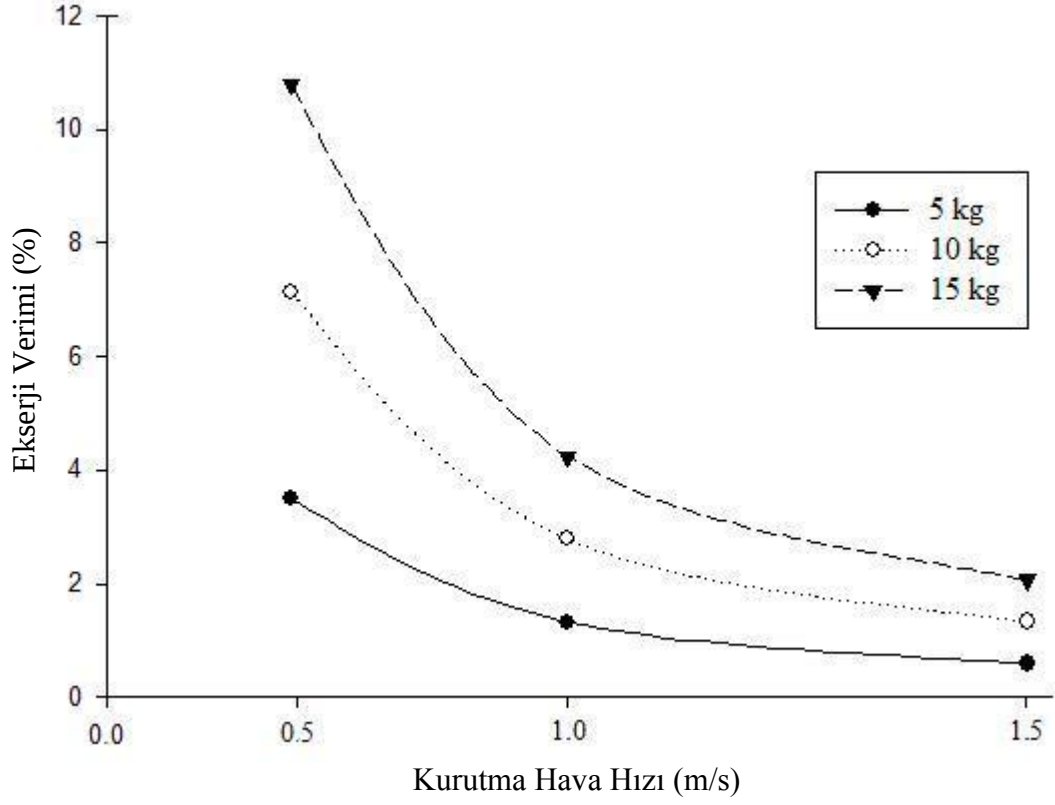
Şekil 6.1. 318 K sabit hava sıcaklığında, kurutma sisteminin farklı hava hızlarına göre elma ürününün kurutulmasındaki ekserji verim değişimi

Brokoli ürünü ise 318 K hava sıcaklığında 5 kg olarak ele alındığında kurutma sisteminin ekserji verim değerlerinin % 0.69 ile % 3.45 arasında değiştiği, ürün 10 kg'a çıkarıldığında ise % 1.39 ile % 6.9 arasında değiştiği hesap edilmiştir. Son olarak 15 kg'lık ürünün ise ekserji verim değerlerinin % 2.08 ile % 10.35 arasında değiştiği hesap edilmiştir (Şekil 6.2).



Şekil 6.2. 318 K sabit hava sıcaklığında, kurutma sisteminin farklı hava hızlarına göre brokoli ürününün kurutulmasındaki ekserji verim değişimi

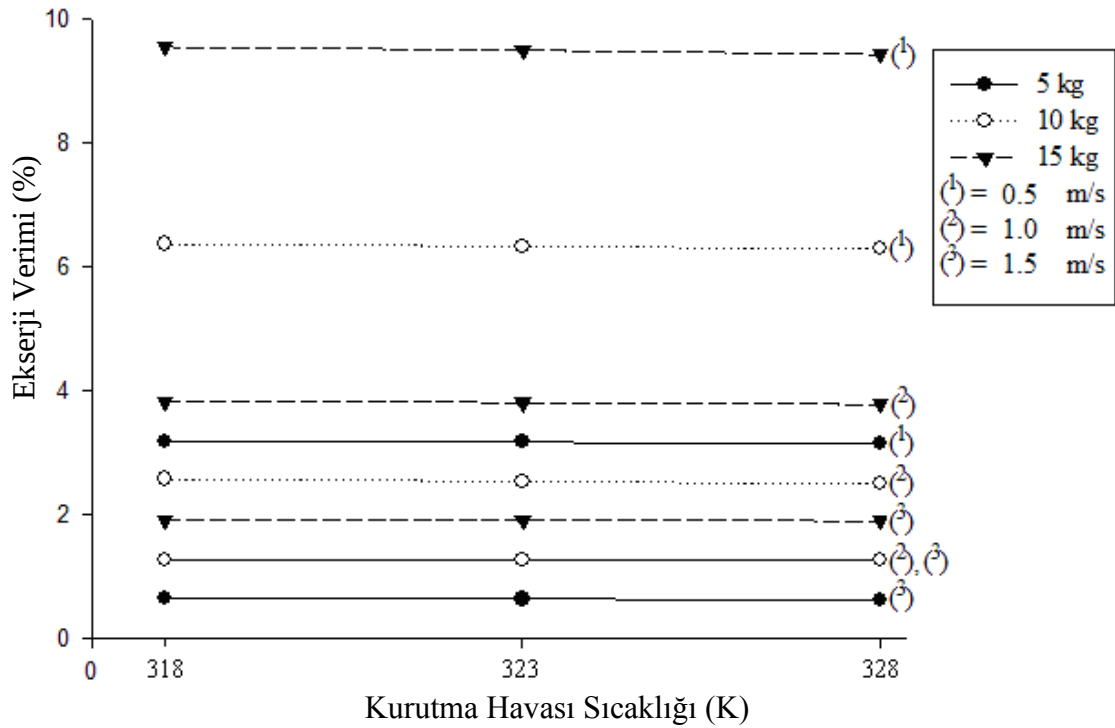
Ürün olarak domates seçildiğinde ise 318 K hava sıcaklığında 5 kg domates ele alındığında kurutma sisteminin ekserji verim değerlerinin %0.73 ile %3.65 arasında değiştiği, ürün 10 kg'a çıkarıldığında ise % 1.47 ile % 7.29 arasında değiştiği hesaplanmıştır. Son olarak ürün 15 kg olarak ele alınmış ve kurutma sisteminin ekserji verim değerlerinin % 2.2 ile % 10.94 arasında hesap edilmiştir (Şekil 6.3).



Şekil 6.3. 318 K sabit hava sıcaklığında, kurutma sisteminin farklı hava hızlarına göre domates ürününün kurutulmasındaki ekserji verim değişimi

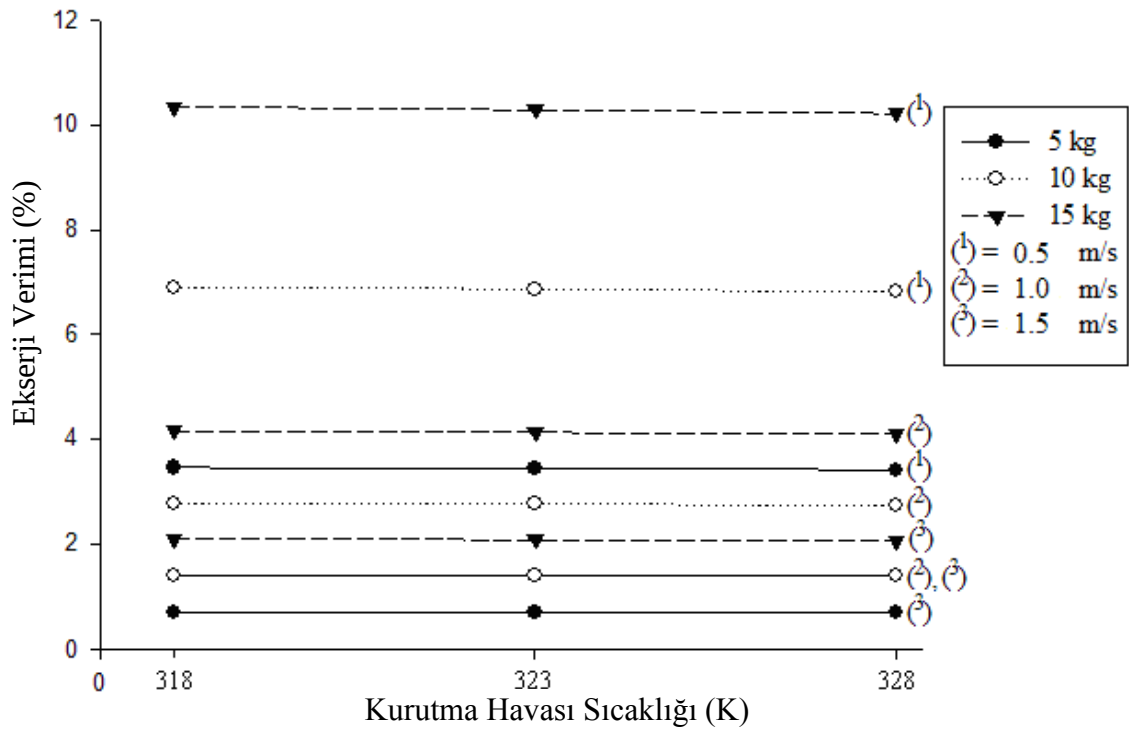
Aşağıdaki Şekil 6.4, Şekil 6.5, Şekil 6.6’da elma, brokoli, domates ürünleri farklı hava hız ve sıcaklıklarında incelenmiş ve kurutma sistemindeki ekserji verim değerlerindeki değişimler kıyaslanmıştır.

Şekil 6.4’te 5 kg elma ürününün 0.5 m/s hava hızındaki, kurutma sistemi ekserji verim değerlerinin: % 3.14 ile % 3.18, 1.0 m/s hava hızında % 1.26 ile % 1.28, 1.5 m/s hava hızında ise % 0.63 ile % 0.64 arasında değiştiği hesaplanmıştır. 10 kg üründe ise 0.5 m/s hava hızında kurutma sisteminin ekserji verim değerleri % 6.29 ile % 6.37, 1.0 m/s hava hızında % 2.52 ile % 2.55, 1.5 m/s hava hızında ise % 1.26 ile % 1.28 arasında değişmiş, son olarak 15 kg ürün ele alındığında 0.5 m/s hava hızında kurutma sisteminin ekserji verim değerlerinin % 9.43 ile % 9.55, 1.0 m/s hava hızında % 3.78 ile % 3.83, 1.5 m/s hava hızında ise % 1.90 ile % 1.92 arasında değiştiği hesap edilmiştir.



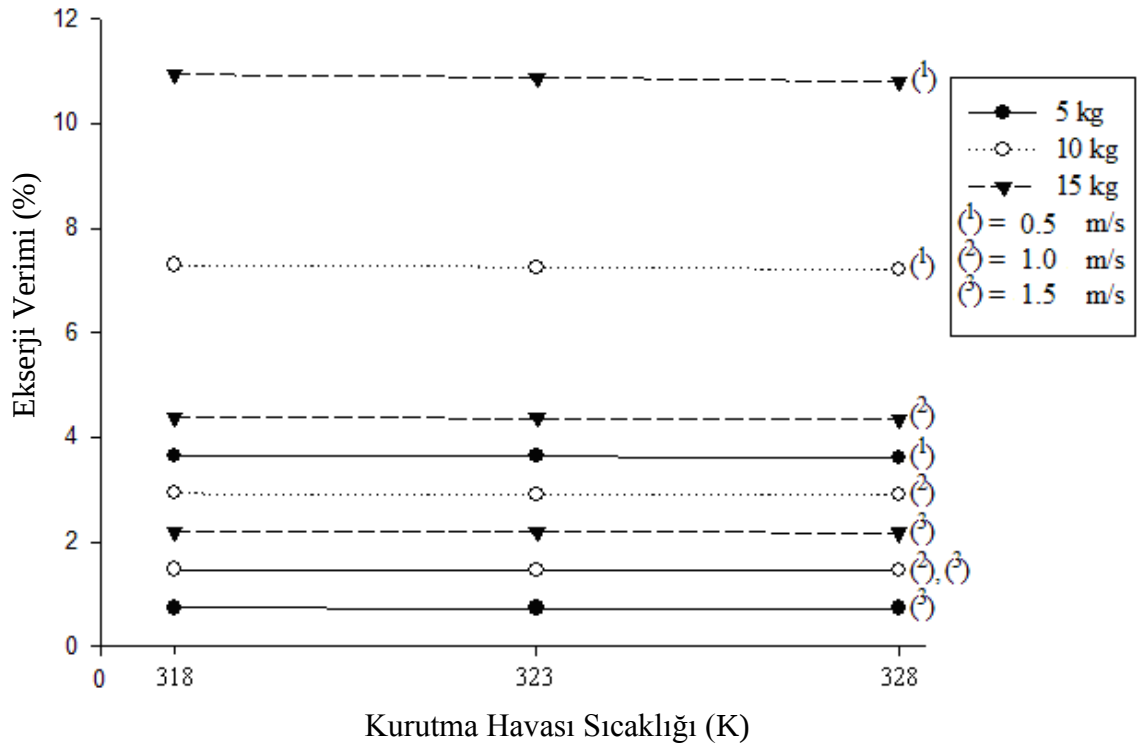
Şekil 6.4. Elma ürününün kurutulmasında, kurutma sisteminin farklı hava hız ve sıcaklıklarındaki ekserji verimlerinin değişimi

5 kg brokoli ürünün 0.5 m/s hava hızındaki kurutma sistemindeki ekserji verim değerinin % 3.41 ile % 3.45, 1.0 m/s hava hızında % 1.37 ile % 1.38, 1.5 m/s hava hızında ise % 0.68 ile % 0.69 arasında değiştiği hesaplanmıştır. 10 kg üründe ise 0.5 m/s hava hızında, kurutma sisteminin ekserji verim değerlerinin % 6.81 ile % 6.90, 1.0 m/s hava hızında % 2.73 ile % 2.76, 1.5 m/s hava hızında ise % 1.37 ile % 1.39 arasında değiştiği hesap edilmiştir. Son olarak 15 kg ürün ele alındığında 0.5 m/s hava hızında kurutma sistemindeki ekserji verim değerlerinin % 10.22 ile % 10.35, 1.0 m/s hava hızında % 4.10 ile % 4.15, 1.5 m/s hava hızında ise % 2.05 ile % 2.08 arasında değiştiği hesaplanmıştır.



Şekil 6.5. Brokoli ürününün kurutulmasında, kurutma sisteminin farklı hava hız ve sıcaklıklarındaki ekserji verimlerinin değişimi

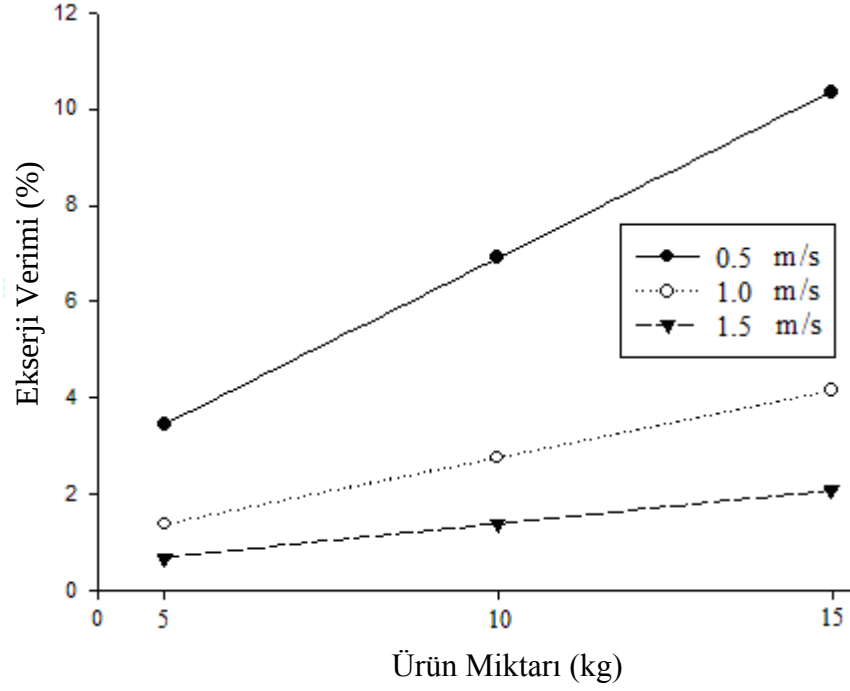
Son olarak domates ürünü incelenmiş ve 5 kg domates ürünün 0.5 m/s hava hızındaki kurutma sisteminin ekserji verimini % 3.60 ile % 3.65, 1.0 m/s hava hızında % 1.44 ile % 1.46, 1.5 m/s hava hızında ise % 0.71 ile % 0.73 arasında değiştirdiği hesaplanmıştır. 10 kg ürün ve 0.5 m/s hava hızında, kurutma sistemindeki ekserji verim değerleri % 7.20 ile % 7.29, 1.0 m/s hava hızında % 2.89 ile % 2.92, 1.5 m/s hava hızında ise % 1.45 ile % 1.47 arasında değiştiği hesaplanmıştır. Son olarak 15 kg ürün ele alındığında ve 0.5 m/s hava hızında kurutma sisteminin ekserji verim değerlerinin % 10.80 ile % 10.94, 1.0 m/s hava hızında % 4.33 ile % 4.38, 1.5 m/s hava hızında ise % 2.17 ile % 2.20 arasında değiştiği hesap edilmiştir.



Şekil 6.6. Domates ürününün kurutulmasında, kurutma sisteminin farklı hava hız ve sıcaklıklarındaki ekserji verim değerlerinin değişimi

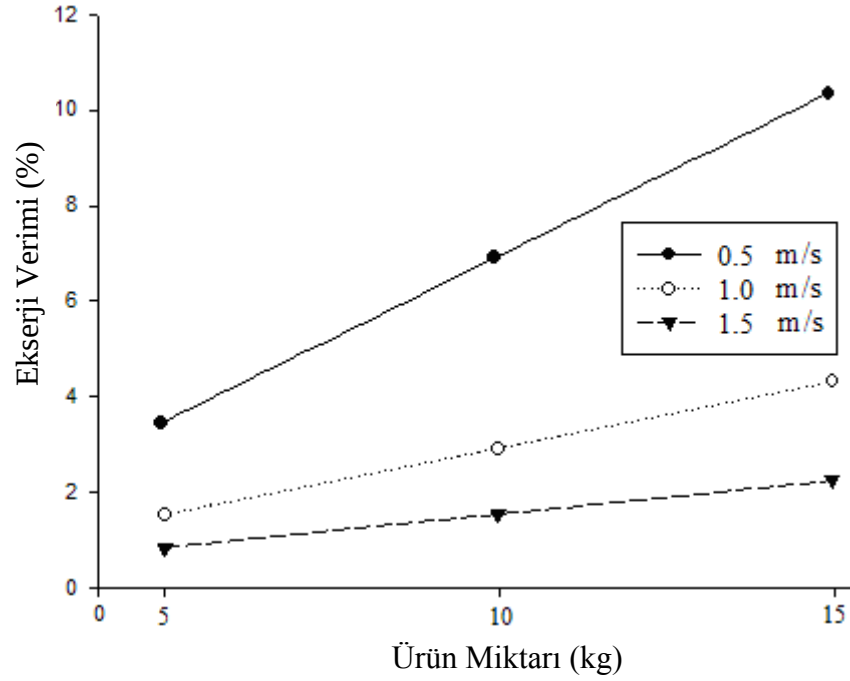
Aşağıdaki Şekil 6.7, Şekil 6.8, Şekil 6.9’da ise elma, brokoli ve domates ürünlerinin 5 kg, 10 kg ve 15 kg’daki 318 K sabit hava sıcaklığında, kurutma sisteminin ekserji verim değerlerine etkisi hesaplanmıştır.

Şekil 6.7’de 5, 10, 15 kg elma ürününün 0.5 m/s hava hızında, kurutma sisteminin ekserji değerlerini % 3.18 ile % 9.55, 1.0 m/s hava hızında % 1.28 ile % 3.83 ve 1.5 m/s hava hızında ise % 0.64 ile % 1.92 arasında değiştirdiği hesaplanmıştır.



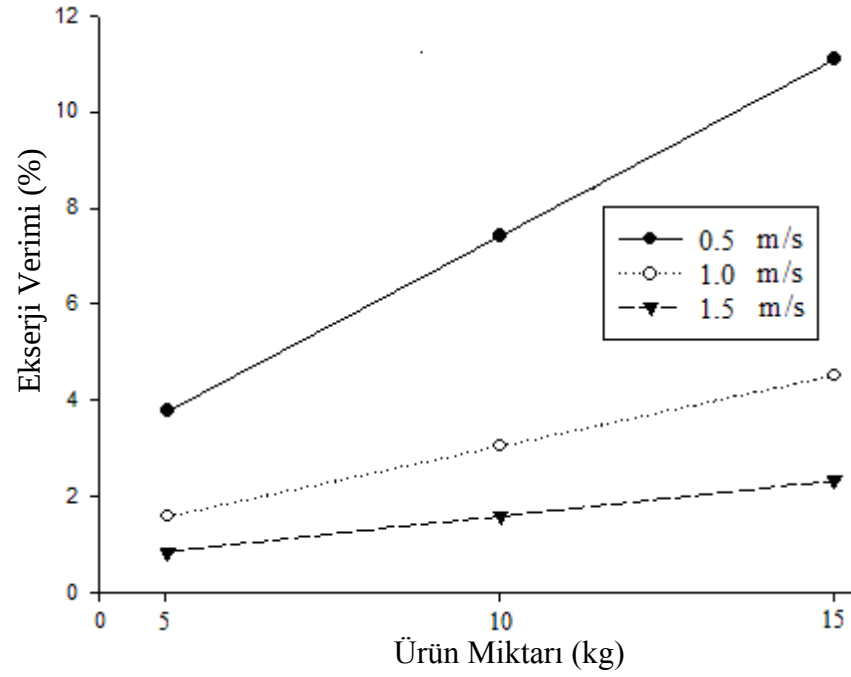
Şekil 6.7. 318 K sabit hava sıcaklığındaki farklı kütlelerdeki elma ürününün, kurutma sisteminin ekserji verim değerlerine etkisi

Şekil 6.8 incelendiğinde ise 5, 10, 15 kg 0.5 m/s hava hızındaki brokoli ürününün kurutma sisteminin ekserji değerlerini % 3.45 ile % 10.35, 1.0 m/s hava hızında % 1.38 ile % 4.15, 1.5 m/s hava hızında ise % 0.69 ile % 2.08 arasında değiştirdiği hesaplanmıştır.



Şekil 6.8. 318 K sabit hava sıcaklığındaki farklı kütlelerdeki brokoli ürününün, kurutma sisteminin ekserji verim değerlerine etkisi

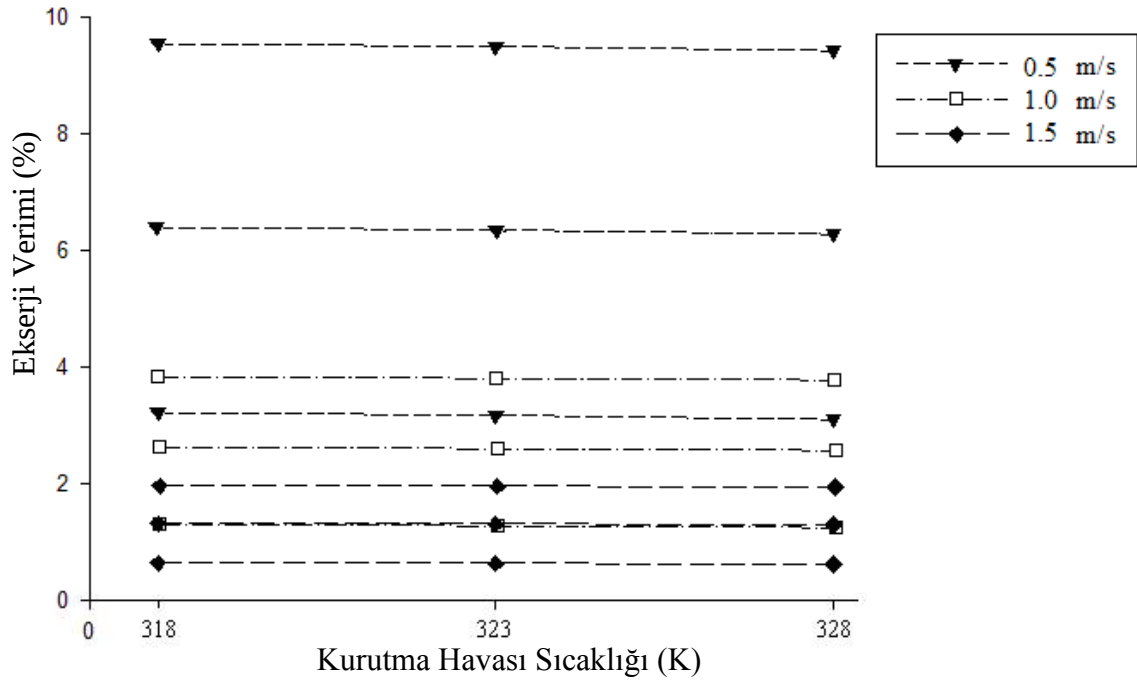
5, 10, 15 kg domates ürünü için 0.5 m/s hava hızında kurutma sisteminin ekserji verim değerlerinin 3.65 ile 10.94, 1.0 m/s hava hızında 1.46 ile 4.38, 1.5 m/s hava hızında ise 0.73 ile 2.20 arasında değiştiği hesaplanmıştır.



Şekil 6.9. 318 K sabit hava sıcaklığındaki farklı kütlelerdeki domates ürününün, kurutma sisteminin ekserji verim değerlerine etkisi

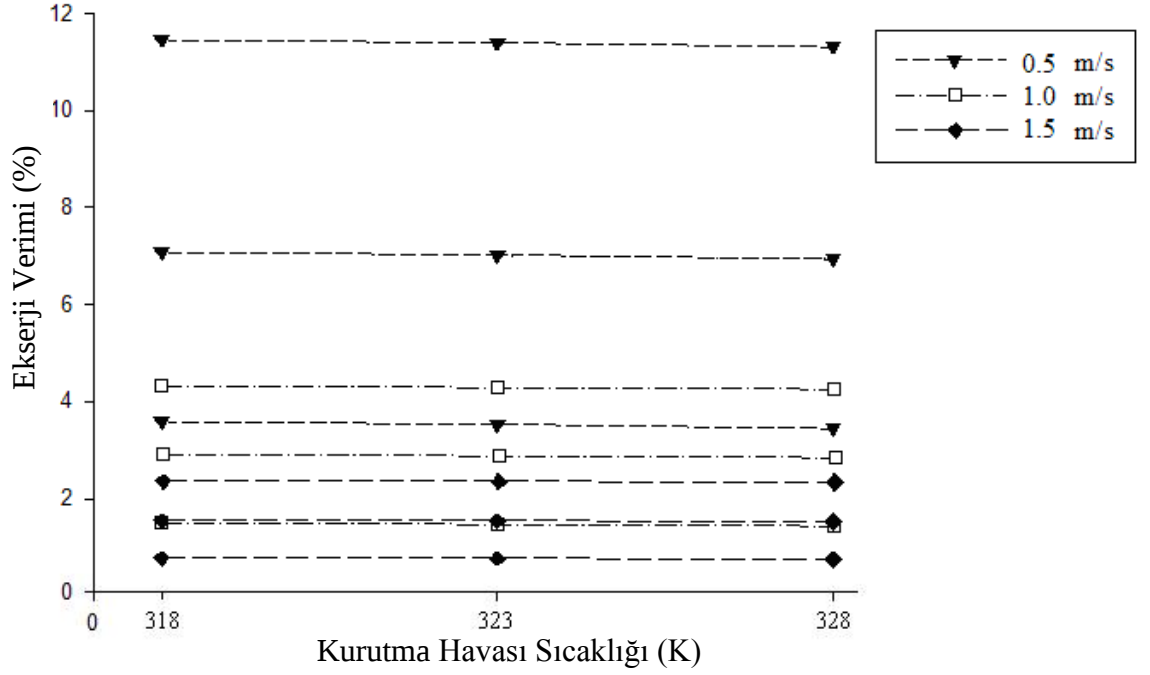
Şekil 6.10, 6.11 ve 6.12’de 5 kg sabit ürün miktarı ele alınmıştır.

Şekil 6.10’da 318, 323, 328 K sıcaklıklarındaki elma ürününün, 0.5 m/s hava hızında, kurutma sisteminin ekserji verim değerlerini % 3.18’den % 3.14’e, % 6.37’den % 6.29’a, % 9.55’ten % 9.43’e düşürdüğü hesaplanmıştır. Hava hızı 1.0 m/s olarak alındığında, kurutma sisteminin ekserji verim değerlerinin % 1.28’den % 1.26’ya, % 2.55’ten % 2.52’ye, % 3.83’ten % 3.78’e düştüğü hesaplanmıştır. Hava hızı 1.5 m/s’ye çıkarıldığında ise kurutma sisteminin ekserji verim değerlerinin % 0.63 ile % 0.64, % 1.26 ile % 1.28, % 1.90 ile % 1.92 arasında değiştiği hesap edilmiştir.



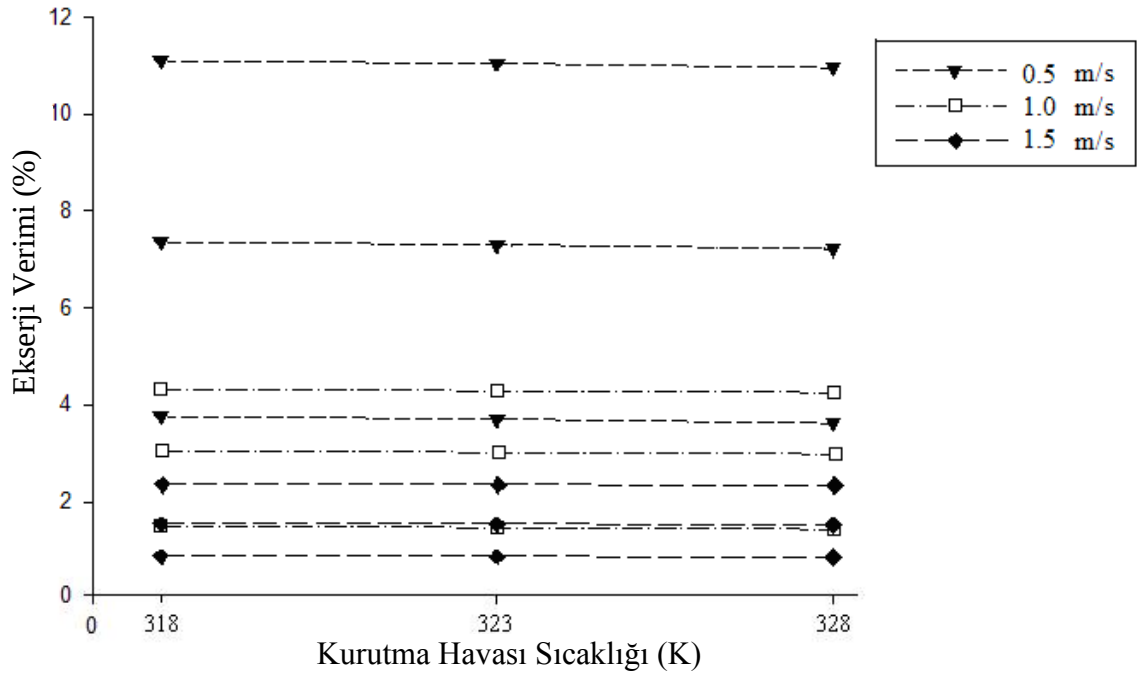
Şekil 6.10. Elma ürününün, farklı hava sıcaklıklarındaki kurutma sistemi ekserji verim değerleri değişimi

Ürün olarak brokoli seçildiğinde ise 318, 323, 328 K sıcaklıklarında, 0.5 m/s hava hızında, kurutma sistemi ekserji verim değerlerinin % 3.45'ten % 3.41'e, % 6.90'dan % 6.81'e, % 10.35'ten % 10.22'ye düştüğü hesaplanmıştır. Hava hızı 1.0 m/s olarak alındığında ise ekserji değerlerinin 1.38'den 1.37'ye, 2.76'tan 2.73'e, 4.15'ten 4.10'a düştüğü hesap edilmiştir. Hava hızı 1.5 m/s'ye çıkarıldığında ise kurutma sistemi ekserji verim değerlerinin % 0.68 ile % 0.69, % 1.37 ile % 1.39, % 2.05 ile % 2.08 arasında değiştiği hesaplanmıştır (Şekil 6.11).



Şekil 6.11. Brokoli ürününün, farklı hava sıcaklıklarındaki kurutma sistemi ekserji verim değerleri değişimi

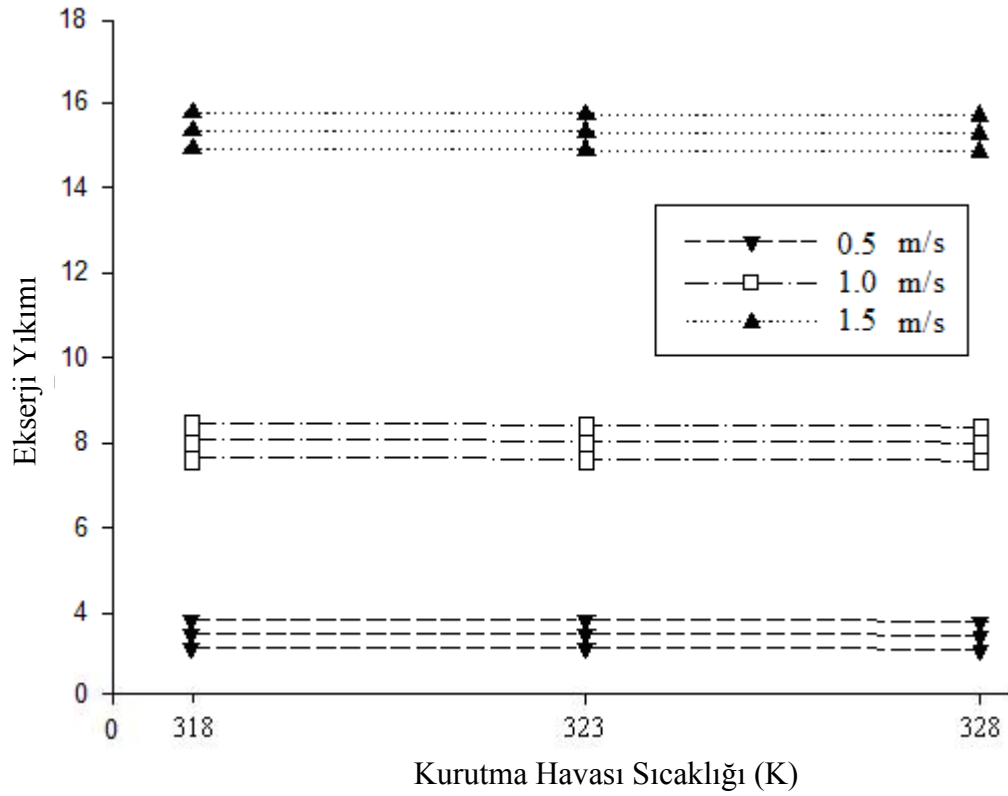
Son olarak domates ürünü incelenmiş ve 318, 323, 328 K sıcaklıklarında, 0.5 m/s hava hızında kurutma sistemi ekserji verim değerlerinin % 3.65'ten % 3.60'a, % 7.29'dan % 7.25'e, % 10.94'ten % 10.80'e düştüğü hesaplanmıştır. Hava hızı 1.0 m/s olarak alındığında ise ekserji verim değerlerinin 1.46'dan 1.44'e, 2.92'den 2.89'a, 4.38'ten 4.33'e düştüğü hesaplanmıştır. Hava hızı 1.5 m/s'ye çıkarıldığında ekserji verim değerlerinin % 0.71 ile % 0.73, % 1.45 ile % 1.47, % 2.17 ile % 2.20 arasında değiştiği hesap edilmiştir (Şekil 6.12).



Şekil 6.12. Domates ürününün, farklı hava sıcaklıklarındaki kurutma sistemi ekserji verim değerleri değişimi

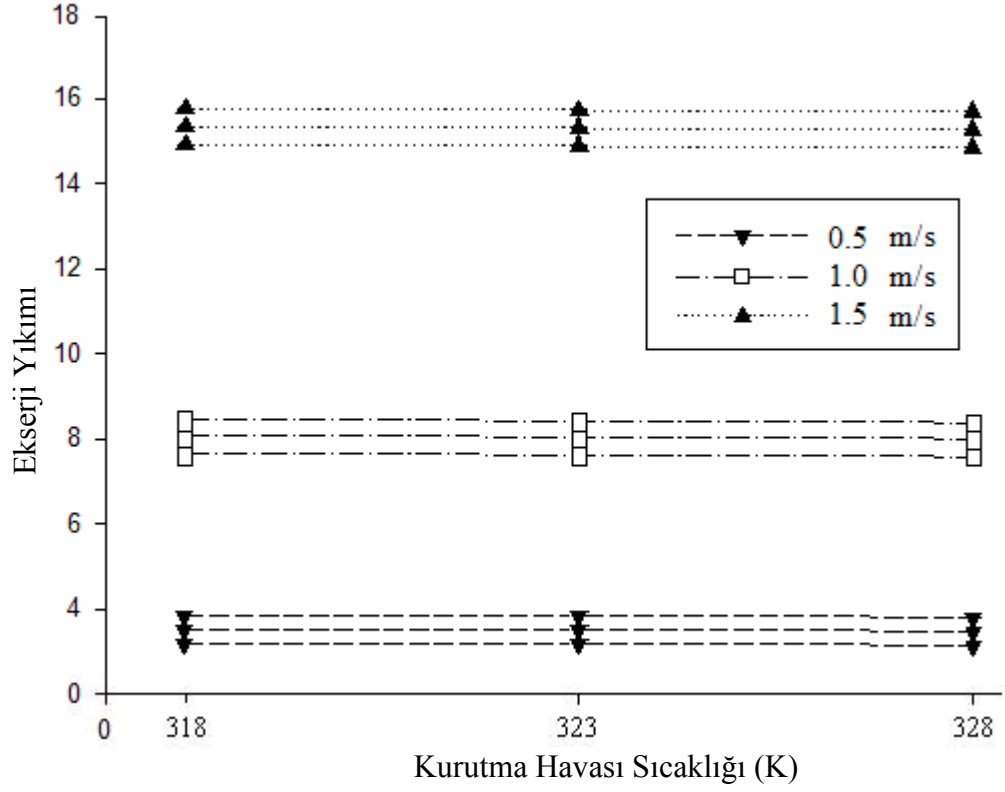
Aşağıdaki Şekil 6.13, Şekil 6.14, Şekil 6.15’de ise elma, brokoli ve domates ürünlerinin 318, 323, 328 K sıcaklıklarında ve 0.5, 1.0, 1.5 m/s hava hızlarındaki ekserji yıkımları gösterilmiştir.

Şekil 6.13’te 0.5 m/s hava hızında ve 318, 323, 328 K hava sıcaklığındaki elma ürününün ekserji yıkımlarının 3.29 ile 3.32, 3.58 ile 3.62, 3.81 ile 3.86 arasında, hava hızı 1.0 m/s olduğunda ise 7.68 ile 7.70, 8.05 ile 8.11, 8.38 ile 8.46 arasında değiştiği hesap edilmiştir. Hava hızı 1.5 m/s’ye çıkartıldığında ise ekserji yıkımlarının 14.87 ile 14.89, 15.31 ile 15.35, 15.70 ile 15.77 arasında değiştiği hesaplanmıştır.



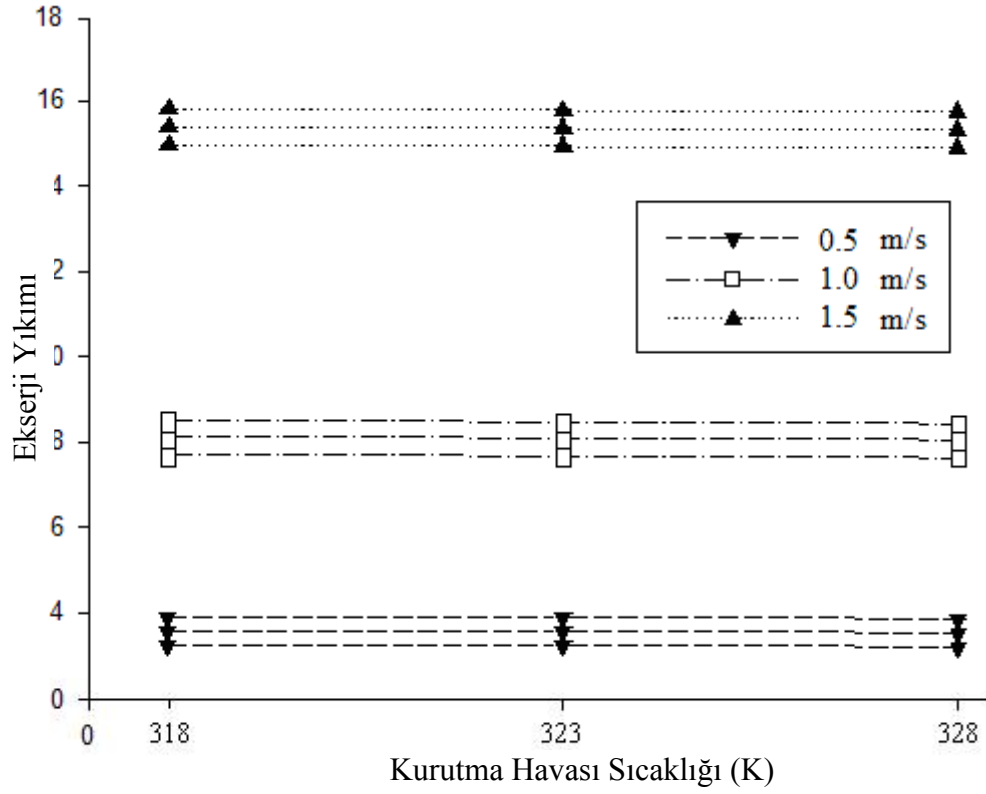
Şekil 6.13. Elma ürününün, farklı hava sıcaklıklarındaki ekserji yıkımlarının değişimi

0.5 m/s hava hızında ve 318, 323, 328 K hava sıcaklığındaki brokoli ürününde ise ekserji yıkımları 3.31 ile 3.33, 3.60 ile 3.65, 3.82 ile 3.88 arasında, hava hızı 1.0 m/s olduğunda ise 7.70 ile 7.73, 8.09 ile 8.15, 8.43 ile 8.51 arasında değiştiği hesap edilmiştir (Şekil 6.14). Hava hızı 1.5 m/s'ye çıkartıldığında ise ekserji yıkımlarının 14.89 ile 14.91, 15.35 ile 15.40, 15.76 ile 15.84 arasında değiştiği hesaplanmıştır.



Şekil 6.14. Brokoli ürününün, farklı hava sıcaklıklarındaki ekserji yıkımlarının değişimi

Son olarak domates ürünü incelenmiş ve 318, 323, 328 K hava sıcaklığında 0.5 m/s hava hızında ekserji yıkımlarının 3.32 ile 3.35, 3.62 ile 3.66, 3.84 ile 3.90 arasında, hava hızı 1.0 m/s olduğunda ise 7.72 ile 7.74, 8.12 ile 8.18, 8.46 ile 8.54 arasında değiştiği hesap edilmiştir. Hava hızı 1.5 m/s'ye çıkartıldığında ise ekserji yıkımlarının 14.91 ile 14.93, 15.39 ile 15.44, 15.80 ile 15.89 arasında değiştiği hesaplanmıştır (Şekil 6.15).



Şekil 6.15. Domates ürününün, farklı hava sıcaklıklarındaki ekserji yıkımlarının değişimi

7. BULGULAR

Araştırmada tüm ürünler 5, 10, 15 kg ve 0.5, 1.0, 1.5 m/s hava hızında 318, 323, 328 K hava sıcaklıklarında incelenmiş ve aşağıdaki bulgular alt başlıklar halinde sunulmuştur.

7.1. Elma rnnn Kurutma Sonuçları

Elma ürünü için 0.5, 1.0, 1.5 m/s hava hızları ve 318, 323, 328 K hava sıcaklıklarında en iyi sonuca 0.5 m/s hava hızı ve 318 K hava sıcaklığında, 15 kg ürün ile % 9.55 değeriyle ulaşılmıştır. En düşük ekserji verimi ise 1.5 m/s hava hızında ve 328 K hava sıcaklığında sisteme 5 kg ürün gönderildiğinde % 0.63 değeriyle meydana gelmiştir. En büyük ekserji yıkımı ise 1.5 m/s hava hızında ve 318 K hava sıcaklığında sisteme 15 kg ürün gönderildiğinde % 15.77 değeri ile meydana gelmiştir.

7.2. Brokoli rnnn Kurutma Sonuçları

Brokoli ürünü için 0.5, 1.0, 1.5 m/s hava hızları ve 318, 323, 328 K hava sıcaklıklarında en iyi sonuca 0.5 m/s hava hızı ve 318 K hava sıcaklığında, 15 kg ürün ile % 10.35 değeriyle ulaşılmıştır. En düşük ekserji verimi ise 1.5 m/s hava hızında ve 328 K hava sıcaklığında sisteme 5 kg ürün gönderildiğinde % 0.68 değeriyle meydana gelmiştir. En büyük ekserji yıkımı ise 1.5 m/s hava hızında ve 318 K hava sıcaklığında sisteme 15 kg ürün gönderildiğinde % 15.84 değeri ile meydana gelmiştir.

7.3. Domates rnnn Kurutma Sonuçları

Domates ürünü için 0.5, 1.0, 1.5 m/s hava hızları ve 318, 323, 328 K hava sıcaklıklarında en iyi sonuca 0.5 m/s hava hızı ve 318 K hava sıcaklığında, 15 kg ürün ile % 10.94 değeriyle ulaşılmıştır. En düşük ekserji verimi ise 1.5 m/s hava hızında ve 328 K hava sıcaklığında sisteme 5 kg ürün gönderildiğinde % 0.71 değeriyle meydana gelmiştir. En büyük ekserji yıkımı ise 1.5 m/s hava hızında ve 318 K hava sıcaklığında sisteme 15 kg ürün gönderildiğinde % 15.89 değeri ile meydana gelmiştir.

Elde edilen bu bulgular sonucunda;

- ❖ Bütün 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 ulaşılmıştır.
- ❖ Ürünlerin sisteme gönderilen kg miktarları arttıkça ekserji verimi artmaktadır.
- ❖ Sisteme gönderilen hava hız ve sıcaklığının en düşük olduğu proseste tüm ürünler için en verimli değerler elde edilmiştir.
- ❖ Sisteme gönderilen hava hız ve sıcaklığının yükselmesi kurutma sisteminin ekserji verimlerini olumsuz etkilemiştir.
- ❖ En yüksek ekserji verimi domates ürününün kurutulmasında meydana gelirken, en düşük ekserji verimi ise elma ürününün kurutulmasında meydana gelmiştir.
- ❖ Domates ürününde en yüksek verimin, elma ürününde ise en düşük verimin elde edilmesinin nedeni; ürünlere ait has özelliklerdir (Çizelge 6.1).

KAYNAKLAR

- Ahern, J.E., 1980. The Exergy Method of Energy Systems Analysis, John Wiley & Sons, New York, A.B.D.
- Akçay, K., Ayok, T., Kocakuşak, S., Köroğlu, H. J., Savaşçı, Ö. T., Tolun, R., 1996 "Production of Anhydrous, Crystalline Borax in a Fluidized Bed", Industrial and Engineering Chemistry Research, 35:1424-1428.
- Akpınar, E., 2004, 'Energy and exergy analyses of drying red pepper slices in a convective type dryer', Int. Comm. Heat Mass Transfer, Vol.31.
- Akpınar Kavak, E., Midilli, A., Bicer, Y., 2005, 'Energy and exergy of potato drying process via cyclone type dryer', Energy Conversion and Management, 46, 2530-2552.
- Akpınar E.K. 2006 Determination of suitable thin layer drying curve model for some vegetables and fruits. Journal of Food Engineering, 73, 75-84.
- Ayhan, A., 2005, Çeşitli Tarımsal Ürünlerin Vakumla Kurutulmasında Kurutma Parametrelerinin Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Uludağ Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Bursa.
- BP Statistical Review of World Energy June 2006. London.
- Bejan, A., 1982, Entropy Generation Through Heat and Fluid Flow, John Wiley & Sons Inc., New York.
- Ceylan, İ., Aktaş, M., Doğan, H., 2007 Isı pompalı Destekli Bir Kurutucuda Kerestelerin Kurutma Süresinin Belirlenmesi, Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, Cilt-22, No 4, 847-854.
- Colak N, Hepbasli A., 2007, Performance Assessment of Drying of Blanched Carrot in a Ground-Source Heat Pump Dryer, The Third International Exergy, Energy and Environment Symposium.
- Çolak, N., 2009, Gıda Kurutma Sistemlerinin Ekserji Analizi, Doktora Tezi, Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- Çolak, N., Hepbaşlı, A., 2010, Tepsili Bir Kurutucuda Yeşil Zeytin Kurutulmasının Ekserji Analizi, Gıda Mühendisliği Dergisi, 31, 39 – 43.
- Demirel Y., Sandler S.I., 2001 "Linear-Nonequilibrium Thermodynamics Theory for Coupled Heat and Mass Transport", Int. J. Heat Mass Transfer 44 (13) 2439-2451.
- Dinçer İ., Çengel Y., 2001, "Energy, entropy and exergy concepts and their roles in thermal engineering", Entropy, Vol 3, 116-149.
- Dincer, I., Sahin, A.Z., 2003, "A New Model for Thermodynamic Analysis of a drying Process", International Journal of Heat and Mass Transfer, Vol 47, 645-652.

- Dincer I. ve Sahin A.Z., 2004, 'A new model for thermodynamic analysis of a drying process', International Journal of Heat and Mass Transfer, 47., 645-652.
- Driscoll R., 2004, Food dehydration. In Food Processing: Principles and Applications, ed. Smith J.S. & Hui Y.H., Ch. 2, Blackwell Publishing.
- Doğanay, T., 2009. Modern Farmasötik Teknoloji, 2. Baskı, TEB Eczacılık Akademisi, Mattek Matbaacılık San.Tic. Ltd. Şti., Ankara.
- Fortes, M. ve Ferreira, W.R., 2004, Second law analysis of drying: modeling and simulation of fluidized bed grain drying, Proceedings of the 14th International Drying Symposium, (pp. 301-308), Sao Paulo, Brazil.
- Günerhan., 2005, Endüstriyel Kurutma Sistemleri, Türk Tesisat Mühendisliği Derneği Dergisi, 13, 1 – 11.
- Gürses, Ö., 1986, Gıda İşleme Mühendisliği-II, 963, 282, Ankara.
- Hepbaşlı, A., 2008. Endüstriyel işletmelerde ekserji yönetim sisteminin kurulması gerekli mi?. Termodinamik Dergisi, Haziran 2008, Sayı:190.
- Horlock J.H., Young J.B., Manfrida G., 2000, " Exergy analysis of modern fossil-fuel power plant", Journal of Engineering for Gas Turbine and Power, Vol 122,1-7.
- Heldman DR and Singh RP., 1989, Gıda İşleme Mühendisliği, (Çev: Evranuz Ö. ve Çataltaş İ.), İnkılap Kitabevi, İstanbul, 436s.
- IEA (2004), World Energy Outlook 2004, OECD/IEA, Paris.
- ASHRAE Applications Handbook (SI), Chapter 28, 2003.
- İsaeva, J., 2007, Kayısı Kurutmasının Deneysel ve Teorik Olarak Araştırılması, Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- İskender, S., 2005. Türkiye'de ve Dünyada Enerji & Nükleer Enerji Gerçeği, Abdullah Ayar, Birinci Baskı, Türkiye Teknik Elemanlar Vakfı Yayınları, Ankara.
- Kurtuluş, O., 2007, Akışkan Yatakta Kurutma Prosesinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, YTÜ., Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Kaya, A., 2008, Kurutmada Isı ve Kütle Transferinin Teorik ve Deneysel Olarak İncelenmesi, Doktora Tezi, KTÜ., Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Kocabıyık, H., Demirtürk, B., 2008 Nane Yapraklarının İnfrared Radyasyonla Kurutulması, Tekirdağ Ziraat Fakültesi Dergisi, 5, 3, 239-246.
- Kamil B. Varınca, M. Talha Gönüllü, 2006. Yenilenebilir Enerji Kaynaklarının Kullanımının Çevresel Olumlu Etkileri, VI. Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu (UTES 2006), Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta, 25-27 Mayıs 2006.
- Mançuhan, E., Analysis and optimization of drying of green bricks in a tunnel dryer. Drying Technology, 27: 5 707-713, 2009.

MEGEP., 2009, Süt Tozu, Ankara.

Midilli, A., Kucuk, H., 2003a, Mathematical modeling of thin layer drying of pistachio by using solar energy, *Energy Conversion and Management*, 1111-22.

Miguel A.F., 2000 "Contribution to Flow Characterization Through Porous Media", *Int. J. Heat Mass Transfer* 43 (13) 2267–2272.

Öner, B., 2006 Avrupa Birliği'nde Enerji Verimliliği, 10. Enerji kongresi, İstanbul, *Bildiriler Kitabı*, 326 – 336.

Ören, S. <http://web.beun.edu.tr/dmyo/?p=1747> 15.10.2012.

Özbek, B ve G. Dadalı, 2007. Thin-layer drying characteristics and modelling of mint leaves undergoing microwave treatment. *Journal of Food Engineering*, 83: 541–549.

Öztekin, S. ve Soysal, Y., 1998, Tarım ürünlerini kurutma tekniğine giriş.

Park, K. J., Z. Vohnikova ve F.P.R. Brod, 2002. Evaluation of drying parameters and desorption isotherms of garden mint leaves (*Mentha crispa*. L). *Journal of Food Engineering*, 51: 193–199.

Peker, S., Yapar, S., Kurutma Temel İlkeleri ve Endüstriyel Uygulamaları, Ege Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Yayınları.

Rockland LB., 1969, Water activity and storage stability, *Food Technol.*, 23: 1241.

Sezer, İ., 2008, Buji Ateşlemeli Motor Çevrimine Ekserji Analizinin Uygulanması, Doktora Tezi, KTÜ., Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.

Sieniutycz S., 2000 "Thermodynamic Optimization for Work-Assisted Heating Anddrying Operations" *Energy Conversion & Management* 41 2009±2039.

Sieniutycz S., Kubiak M., 2002 "Dynamical Energy Limits in Traditional and Work-Driven Operations I. Heat-Mechanical Systems", *Int. J. Heat Mass Transfer* 45 (14) 2995–3012.

Strumillo, C ve F.T. Kudra, 1986. *Drying: Principles, Applications and Design*, Gordon and Breach Science Publishers, New York.

Syahrul S., Hamdullahpur F., Dincer I., 2002 "Energy Analysis in Fluidized Bed Drying of Wet Particles", *Int. J. Energy Res.* 26 (6) 507–525.

Topic R., 1995 "Mathematical Model for Exergy Analysis of Drying Plants", *Dry. Technol.* 13 (1&2) 437–445.

URL-1, <http://www.mgm.gov.tr/cocuklar/kitapmeteoroloji.aspx?s=gunesisinlari>, 20.09.2012

URL-2, <http://www.gcgw.org>, 13.09.2012

URL-3, <http://www.aricanmakine.com.tr/index.php/tavali-btksel-kurutucu.html>, 08.11.2011.

URL-4, <http://www.standartmerkezi.com/sm-gida-ve-kaliteforum/belgelendirmesertifikasyon-denetim-standartlari-ile-ilgili-bilgi-iso-9001-iso-22000-brc-ifs/diger/gidalarda-kurutma-ve-kurutma-sebepleri.html>, 13.10.2012.

URL-5, <http://www.wholefoodcatalog.info/foods>, 05.02.2012.

Walas MS, 1988, Chemical Process Equipment, Butterworths.

Vaizoglu, S., 2008. Küresel İklim Değişimi ve Türkiye, TMMOB İklim Değişimi Sempozyumu, Ankara, Bildiriler Kitabı, 45 – 53.

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Mehmet ÖZDEŞ

Doğum Yılı : 1986

Doğum Yeri : Seydişehir/KONYA

Eğitim Durumu:

Lisans : 2006-2010 Aksaray Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine
Mühendisliği Bölümü

Haberleşme Adresi:

Adres : Aksaray Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine
Mühendisliği Bölümü 68100 Aksaray

Tlf : 0 543 626 34 29

e-posta : mehmetozds@hotmail.com