



Lpg Yakıtlı Endüstriyel Yatay Tip Mısır Kurutma Tesisinin Enerji ve Maliyet Analizi

Fatih ÜNAL

Mardin Artuklu Üniversitesi, Makine Programı, Mardin
fatihunal@artuklu.edu.tr, ORCID: 0000-0001-6660-9984

Hüsamettin BULUT

Harran Üniversitesi, Makine Mühendisliği, Şanlıurfa
hbulut@harran.edu.tr, ORCID: 0000-0001-7123-1648

Ahmet KAHRAMAN

Harran Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Şanlıurfa
ahmetkahraman1992@gmail.com, ORCID: 0000-0001-9885-2778

Geliş: 10.08.2019, Revizyon: 26.02.2019, Kabul Tarihi: 29.04.2019

Öz

Bu çalışmada kurutma havasının ısıtılmasında LPG kullanılan yatay tip mısır kurutma tesisinin kurutma odasına farklı kurutma havası giriş sıcaklıkları ile elde edilen sonuçlara bağlı olarak enerji ve maliyet analizleri yapılmıştır. Kurutma sürecinde, sisteme sabit hava debisinde farklı sıcaklıklarda (85°C, 90°C ve 95°C) kurutma havası gönderilerek belirlenen düğüm noktalarında sıcaklık(°C), bağıl nem(%) ve hava hızı(m/s) ölçülmüştür. Sistemde belirlenen 6 adet düğüm noktasından elde edilen verilere bağlı olarak yapılan enerji ve maliyet analizinde kurutma havası giriş sıcaklığı, ısıtıcı giriş havasının sıcaklığı ve bağıl nem değişimlerinin yakıt sarfiyatı, enerji verimliliği ve birim kurutma maliyet üzerindeki etkileri değerlendirilmiştir. Sonuç olarak, kurutma giriş havası sıcaklığının artmasının enerji verimliliğini düşürdüğü, birim kurutma maliyetini ve yakıt sarfiyatını artırdığı tespit edilmiştir. Isıtıcı giriş havasının bağıl neminin artması ile yakıt sarfiyatının ve birim kurutma maliyetinin arttığı ve enerji verimliliğinin düştüğü tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Kurutma, Mısır Kurutma, Tahıl Kurutma, LPG Yakıtlı Kurutma Tesisi, Enerji ve Maliyet Analizi;

* Yazışmaların yapılacağı yazar

DOI:

Giriş

Güneydoğu Anadolu bölgesinde sulu tarıma geçilmesiyle birlikte bölgede ikinci ürün olarak mısır ekimi yapılmaya başlanmıştır. Artan üretim ile birlikte depolama ve kurutma ihtiyacı oluşmuştur. İhtiyacın karşılanması için birçok mısır kurutma fabrikası ve silo kurulmuştur.

Son yıllarda gerek enerji talebi gerekse enerji birim fiyatlarındaki artışa paralel olarak enerji tasarrufunun önemi de artmıştır. Bu çalışmanın amacı LPG ile çalışan endüstriyel mısır kurutma tesisinin termodinamik özelliklerinin belirlenip, kurutma sistemine enerji ve maliyet analiz yöntemleri ile performans analizi yapmaktır. Ülkemizin enerji konusunda dışa bağımlı olması ve yakıt olarak kullanılan gazı ithal edilmesi bu çalışmayı daha önemli bir konuma taşımaktadır. Kurutma prosesine sabit hava debisinde farklı sıcaklıklarda kurutma havası gönderilerek ürün kurutma işlemi yapılmıştır. Yapılan enerji ve maliyet analizinin sonucunda kurutma havasının giriş sıcaklığının yakıt sarfiyatı, enerji verimliliği ve birim kurutma maliyeti üzerindeki etkileri tespit edilmiştir. Yapılan bu çalışma ile en ideal çalışma koşulunun belirlenmesi ve mevcut sistemde yapılması muhtemel iyileştirmelerin tespiti için kılavuz olması düşünülmektedir.

Literatürde bu konuyla ilgili çeşitli araştırmalar yapılmıştır. İzli (2007), mısırın sıcak hava akımıyla kurutulmasında kurutma parametrelerini belirlemiştir. Bu amaçla 700 kg kapasiteli sıcak havayla kurutma düzeneği imal etmiş ve deneysel çalışmaları bu düzende gerçekleştirmiştir. Çalışmasında 1 m/s sabit kurutma havası çıkış hızında, 45°C, 55°C, 65°C, 75°C ve atmosfer sıcaklıklarında olmak üzere beş farklı sıcaklık değerinde, %16.4 nemden mısır için güvenli depolama nemi olan %10 nem değerine ininceye kadar yapmıştır. Karıştırıcı ve karıştırıcı olmayan olarak beş farklı sıcaklık değerinde gerçekleştirilen deneylerde kurutma hızı, çimlenme hızı, çimlenme gücü, enerji tüketimi, kurutma özellikleri ve maliyet gibi parametreleri belirlemiştir

Kuzgunkaya ve Hepbaşlı (2007), tepsili bir kurutucu kabinde toprak kaynaklı bir ısı pompasıyla üretilen sıcak hava ile, defne yaprağını kurutma işlemi gerçekleştirmişlerdir.

Kurutma havasının giriş sıcaklıkları 40°C, 45°C, ve 50°C değerlerine belli bir periyotta artırılarak kurutma işlemi yapılmıştır. Kurutma kabine giriş sıcaklığının artışı ile ekserji verimliliği, kayıpları ve kurutucunun geliştirme potansiyelini attırdığı tespit etmişlerdir. Kuzgunkaya ve Hepbaşlı (2007), aynı kurutma sisteminde düğüm noktalarını belirledikten sonra sistemin enerji verimliliği ayrı bir çalışmada tespit edilmiştir. Bu çalışmanın neticesinde kurutma işleminde kullanılan ısı pompası ünitesinin ekserji verimliliğini %21.1, toprak kaynaklı ısı pompasının verimliliğini %20.5 ve tüm kurutma sistemi için verimi %15.5 olarak tespit etmişlerdir. Syahrul ve ark. (2003), çalışmalarında akışkan yataklı kurutucuda yapılan kurutma işlemlerinin termodinamik analizini ve bu analizin modellemesini yapmışlardır. Modellemenin ve deneysel verilerin birbiri ile olan uyumunu irdelemek amacıyla buğday ve mısır için kurutma verilerini incelemişlerdir. Çalışmalar sonucunda, kurutma işleminin başlamasından sonra belli bir süre enerji ve ekserji verimlilikleri daha yüksek olmasına rağmen, belirli bir süre sonra enerji verimliliğin azaldığı ve ekserji verimliliğinin enerji verimliliğine göre daha düşük değerlerde seyrettiğini belirlemişlerdir. Deneysel çalışmalarda buğday ve mısır kurutulması için değişen sıcaklık, hava hızı, nem içeriği gibi özelliklerin kurutma işlemine olan etkileri irdelemişlerdir. Akpınar ve ark. (2006), dilimlenmiş kırmızı biberlerin ve çilek numunelerinin tepsili tip bir kurutucuda kurutma işleminin enerji ve ekserji analizini yapmışlardır. Analiz neticesinde kurutma odasında enerji verimlilikleri ve meydana gelen kayıplar hesaplanmıştır. Erbay ve Hepbaşlı (2014), toprak kaynaklı ısı pompası ile kurutma havasının üretildiği bir kurutma sisteminin enerji verimliliği ve ekserji analizini yapmışlardır. Yapılan analiz sonucunda enerji ve ekserji verimliliğinin sırayla %77.05 ve %93.5 gibi değerlere çıktığını tespit etmişlerdir. Ayrıca çalışmalarında ekserji kayıplarının fazla olduğu bileşenlere yapılacak iyileştirme işleminin enerji ve ekserji verimliliği üzerindeki etkisini incelemişlerdir. Endüstriyel kurutma tesislerinde önemli miktarda enerji harcanmaktadır.

Güneydoğu Anadolu bölgesinde son yıllarda endüstriyel mısır kurutma tesisleri yaygın olarak kullanılmaktadır. Literatürde yapılan araştırmalarda endüstriyel kurutma tesisinde enerji ve maliyet analizi yapılan çalışmaların yetersiz olması bu çalışmayı diğer çalışmalardan ayırmaktadır. Bu çalışma ile mevcut sistemde enerji verimliliğini ve sistem performansını artırmaya yönelik yapılabilecek iyileştirmeler konusunda ileride yapılacak çalışmalara yol gösterme açısından gerekli olan alt yapıyı sağlayacaktır.

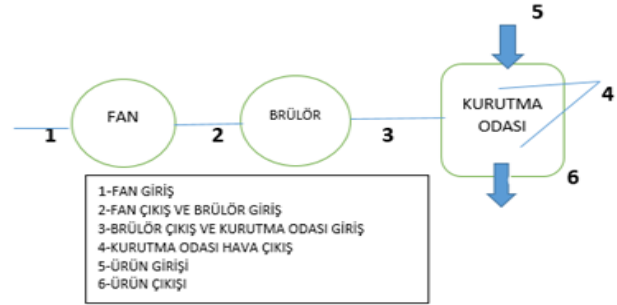
Materyal ve Yöntem

Bu çalışmada Şanlıurfa/Ceylanpınar'da kurulu Ada Kurutma firmasına ait yakıt olarak LPG kullanan yatay tip endüstriyel mısır kurutma tesisi incelenmiştir. Şekil 1'de verilen kurutma sistemi ısıtıcı grubu, kurutma prosesi ve taşıyıcı grubu olmak üzere üç kısımdan oluşmaktadır. Kurutma sistemi alt ve üst iki bölmeden oluşmaktadır. Bu bölmelerin her ikisinde ısıtma veya soğutma yapılabilmesinin yanı sıra üst bölmede ısıtma alt bölmede soğutma işlemi yapılabilmektedir. Kurutma sisteminin çalışması, fan ve brülörden oluşan ısıtma grubunda ısıtılan hava kurutma hacmine gönderilir. Bu esnada kurutulacak ürün helezon sistemi tarafından akış bölmelerine aktarılarak kurutma havası ile temas ettirilmiş olur ve nemini havaya bırakır. Kurutulan ürünün sisteme bıraktığı nemli hava delikli krom yan saclardan dışarı atılır. Bu arada merdaneler altındaki döner helezon üzerinde kurumuş ürün toplanarak kontrollü bir şekilde helezon sistemi ile kuru ürün havuzuna taşınır. Nem ölçümü yapılarak sistemin kurumuş ürünü boşaltma hızı istenilen değerlere göre ayarlanabilmektedir.



Şekil 1. Yatay Tip Mısır Kurutma Makinesi (Ada Kurutma)

Şekil 2'de kurutma sisteminin akış şeması üzerinde belirlenen 6 adet düğüm noktası gösterilmiştir. Deneysel analizlerde kullanılacak verilerin belirlenmesi, sistemin gerçek çalışma koşullarında belirlenen düğüm noktalarına ait değerlerin ölçümünde elde edilen sonuçlara bağlı olarak yapılacaktır.



Şekil 2. Sistemin Ölçüm Noktaları

Endüstriyel kurutma tesisinin gerçek çalışma koşullarında belirlenen akış şemasına bağlı olarak düğüm noktalarında sıcaklık, bağıl nem ve hava akış debisi gibi analizde kullanılacak termodinamik özelliklerin tespiti için kurutma süresince belli aralıklarla ölçümler yapılmıştır. Yapılan ölçümlerde kurutma havasının giriş ve çıkış sıcaklıkları 1 dakikalık aralıklarla ölçülmüş ve data logger ile kayıt altına alınmıştır. Kurutma havasının prosese giriş hızı, bağıl nem ve mısır nemi 10 dakikalık periyotlarda manuel olarak mevcut cihazlarla ölçülmüştür. Hava hızı, fabrika verilerine yakın değerlerde seyrettiğinden dolayı hava debisi için fabrikada kullanılan otomasyon sistemi verileri ile kıyaslanarak ortalamaları alınarak kullanılmıştır. Belirlenen düğüm noktalarının termodinamik özelliklerinin tespiti

tek tek ve akış şemasına uygun olarak yapılan ölçümler ile fabrikanın otomasyon sistemine ait ölçüm verileri kıyaslanarak sonuçların ortalaması alınarak bulunmuştur. Deneylerde kullanılan ölçüm aletleri ve hassasiyetleri aşağıda verilmiştir.

- Data logger (Fourtec DaqPRO 8-kanallı data logger doğruluk; $\pm 0.5\%$)
- Termocupl (T tipi doğruluk; $0.1\text{ }^{\circ}\text{C}$)
- Hava hızı ölçer (KİMO AMI 300 $\varnothing 70$ mm vane probe doğruluk; $\pm 3\%$, ± 0.1 m/s)
- Bağıl nem ölçer (KİMO AMI air quality probe doğruluk; 0.1% rh)

- Mısır nem ölçer (PM 450 doğruluk; 0.5%)

Bu çalışmada; referans çevrenin özellikleri baz alınmış olup ayrıca, potansiyel ve kinetik enerji değerlerinin ihmal edilebileceği kararlı akış hali söz konusudur. Mısır kurutma tesisinde yapılan analizlerde akışın, sürekli akış olduğu kabulü yapılmıştır. Kimyasal reaksiyonlar yoktur. Hava sabit bir özgül ısıya sahip ideal gaz olarak kabul edilmiştir. Sistemden olan ısı transferi ve sisteme olan güç transferi pozitif olarak kabul edilmiştir. Kurutma sisteminin enerji ve maliyet analizi için yapılan kabuller ve kullanılan eşitlikler Tablo 1’de verilmiştir.

Tablo 1. Kullanılan eşitlikler ve kabuller

NUMARA	AÇIKLAMA	DENKLEM
1	Kuru hava için kütle korunumu	$\sum \dot{m}_g = \sum \dot{m}_c$
2	Nem için kütle korunumu	$\sum (\dot{m}_{kh} \cdot w_g + \dot{m}_{su}) = \sum \dot{m}_{kh} \cdot w_c$
3	Enerjinin korunumu	$\dot{Q} - \dot{W} = \sum \dot{m}_c \left(h_c + \frac{v_c^2}{2} \right) - \sum \dot{m}_g \left(h_g + \frac{v_g^2}{2} \right)$
4	Isıtıcıdan kazanılan faydalı enerji	$\dot{Q}_{faydalı} = \dot{m}_{kh} c_{p_{kh}} (T_{I_g} - T_{I_c})$
5	Nem alma esnasında kullanılan ısı enerjisi	$\dot{Q}_{ko} = \dot{m}_{kh} (h_{kog} - h_{koç})$
6	Isıtıcı enerji verimi	$\eta_{ısıtıcı} = \frac{\dot{Q}_{faydalı}}{\dot{Q}_{yakıt}}$
7	Sistem enerji verimi	$\eta_{sistem} = \frac{\dot{Q}_{ko}}{\dot{Q}_{yakıt}}$
8	Birim kurutma maliyeti	$BKM = \frac{\text{Yakıt sarfiyatı(TL)}}{\text{Kurutulan ürün miktarı (kg)}}$
9	Özgül nem çekme oranı (SMER)	$SMER = \frac{\text{Üründen Uzaklaştırılan Nem Kütlesi}}{\text{Enerji Giriş Miktarı}}$
10	Nem alma hızı (MER)	$MER = \frac{\text{Üründen Uzaklaştırılan Nem Kütlesi}}{\text{Kuruma Süresi}}$
11	Özgül enerji tüketimi (SEC)	$SEC = \frac{\text{Sisteme Giren Toplam Sisteme Enerji}}{\text{Üründen Uzaklaştırılan Nem Kütlesi (kg)}}$

Tablo 1’de verilen termodinamik eşitlikler yardımı ile kurutma sisteminin enerji analizi

yapılmıştır. Isıtıcının giriş ve çıkış sıcaklıkları kullanılarak, ısıtıcıdan kazanılan faydalı enerji

hesaplanmıştır. Analiz kapsamında, kurutma odası giriş ve çıkış arasındaki enerji değişimi hesaplanmıştır. Sistem üzerinde belirlenen düğüm noktalarının giriş ve çıkış koşullarına bağlı olarak hesaplanan enerji değerleri yardımıyla sistemin enerji verimliliği tespit edilmiştir. Sistemde entalpi değişiminin belirlenmesi için giriş koşullarındaki entalpi değerinin tespit edilmesi gerekmektedir. Entalpi değerinin bulunması için psikometrik diyagramdan yararlanılmıştır. Giriş koşullarında sıcaklık değeri ölçümlerle belirlenmiştir. Psikometrik diyagramdan değerlerin okunabilmesi için gerekli ikinci değer olarak mutlak nem değerleri Tablo 1’de verilen Eşitlik 2’den yararlanılarak bulunmuştur. Eşitlik 2’de kullanılan m_{su} , m_{kh} , w_g ve w_c indisleri sırasıyla uzaklaştırılan nemin kütleli debisi, kurutma havası kütleli debisi, prosese giren kurutma havasının özgül nemi ve proseten çıkan kurutma havasının özgül nemini ifade etmektedir. Kurutma havasının ısıtıcıya giriş ve çıkış sıcaklıklarından yararlanılarak, ısıtıcıdan kazanılan faydalı(yararlı) enerji Eşitlik 4 kullanılarak hesaplanmıştır. Eşitlik 4’de kullanılan T ve h indisleri sırasıyla havanın sıcaklığını ve entalpisini ifade etmektedir. I_g ve I_c alt indisleri sırasıyla ısıtıcı giriş ve ısıtıcı çıkışını ifade etmektedir. Kurutma havasının debisi ve özgül ısı sırasıyla m_{kh} ve C_{pkh} olarak ifade edilmektedir. Proseten nem alma işleminde kullanılan enerji Eşitlik 5 kullanılarak hesaplanmaktadır. Denklemde kullanılacak kurutma odasına giriş ve çıkış entalpisini ifade

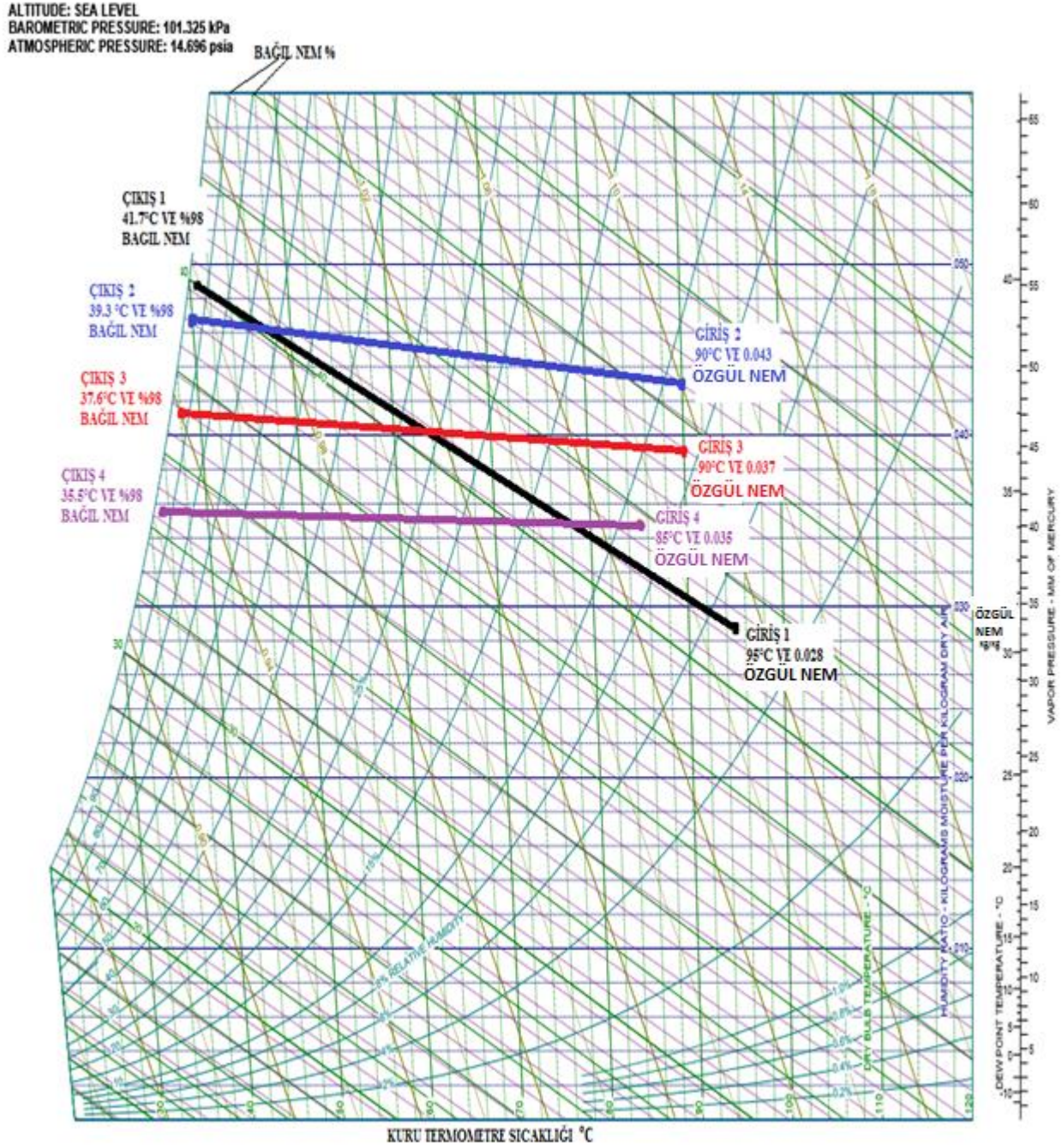
eden h_{kog} ve $h_{koç}$ değerleri, sıcaklık ve nem değerleri kullanılarak psikometrik diyagramdan hesaplanmıştır. Isıtıcının enerji verimliliği Eşitlik 6 kullanılarak hesaplanmıştır. Sistemin enerji verimliliği Eşitlik 7 kullanılarak hesaplanmıştır. Birim kurutma maliyeti; kurutma tesisinde 1 kg ürünün kurutulması için gerekli olan enerji maliyetidir ve Eşitlik 8’den yararlanılarak hesaplanmıştır. Kurutucuların enerji verimliliği genellikle özgül nem çekme oranı (SMER: Specific Moisture Extraction Rate) ile belirlenmektedir. 1 kg nemli havadan nemi çekmek için harcanan enerji miktarı “özgül nem çekme oranı” olarak ifade edilmektedir. Bu büyüklük birim enerji kullanımı için, kurutulacak üründen uzaklaştırılan su kütleli debisini göstermektedir (kg_{su} /kWh). Özgül nem çekme oranı Eşitlik 9 kullanılarak hesaplanmıştır. Nem alma hızı kurutucudan birim zamanda uzaklaştırılan nemin kütleli debisi olarak tanımlanır ve (MER: Moisture Extraction Rate) ile gösterilir. Nem alma hızı Eşitlik 10 kullanılarak hesaplanmıştır. Nem alma hızı kg_{su}/h cinsinden ifade edilmektedir. Özgül enerji tüketimi; ürünün kurutulması sırasında, ürünlerden birim miktarda nemi uzaklaştırmak için gerekli enerji miktarı olarak tanımlanır ve (SEC: Spesific Energy Consumption) ile gösterilir. Özgül enerji tüketimi kJ/kg olarak ifade edilmektedir. Sistemin özgül enerji tüketimi ise Eşitlik 11’den yararlanılarak hesaplanmıştır. Sabit hava debisinde yapılan 4 ayrı kurutma işlemi neticesinde elde edilen ölçüm verileri Tablo 2’de gösterilmiştir.

Tablo 2. Mısır Kurutma Tesisinden Elde Edilen Ölçüm Verileri

ÖLÇÜLEN DEĞER	Deney 1	Deney 2	Deney 3	Deney 4
Çevre Sıcaklığı, °C	20,6	14,2	21	19,8
Bağıl Nem, %	33,2	58	28,5	32,8
Mısır Giriş Nem, %	24,6	29,2	25,7	28,3
Mısır Çıkış Nem, %	14,8	15,4	14,3	15,1
Mısır Giriş Sıcaklığı, °C	23	20,8	24,5	23,4
Mısır Çıkış Sıcaklığı, °C	55	51	53	52
Hava Debisi, m ³ /h	50000	50000	50000	50000
Kuru Havanın Giriş Sıcaklığı, °C	95	90	90	85
Yakıt Sarfıyatı, m ³	95	115	90	100
Kurutulan Ürün Miktarı, kg	21500	22500	19000	21000
Deney Süresi, Dakika	128	146	135	160

Deneyler sonucunda elde edilen ölçüm verilerine bağlı olarak LPG kullanılan mısır kurutma tesisinde gerçek çalışma koşullarında

yapılan 4 farklı kurutma işlemi için kurutma havasının prosese giriş ve çıkış koşulları Şekil 3'te psikrometrik diyagramda gösterilmiştir.



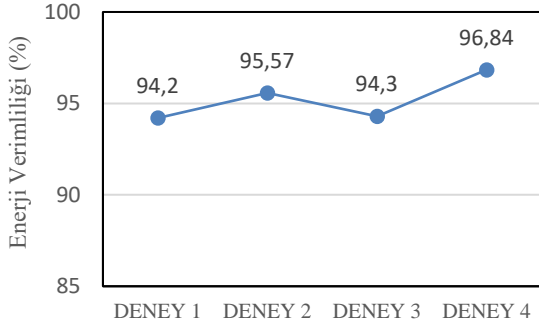
Şekil 3. Hava giriş ve çıkış koşullarının psikrometrik diyagramda görünümü

Şekil 3 incelendiğinde, başlangıçta yüksek sıcaklık ve düşük nem içeriğine sahip hava kuruma süreci sonrasında düşük sıcaklık ve yüksek nem içeriğine sahip olarak

çıkılmaktadır. Deneylerde giriş havası ve bağıl neminin farklı olmasından dolayı kurutma havası eğrilerinin birbirinden farklı olduğu görülmüştür.

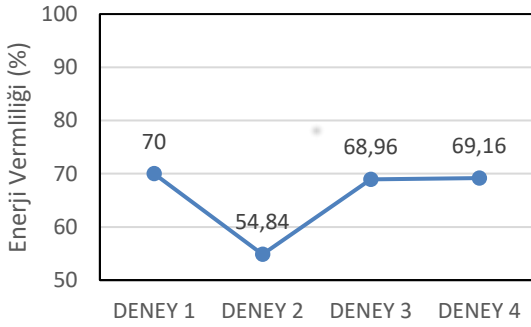
Sonuçlar ve Tartışma

İncelenen yatay tip endüstriyel mısır kurutma tesisinin enerji ve maliyet analizine ait elde edilen sonuçlar aşağıda incelenmiştir. Yapılan deneysel analizler sonucunda kurutma tesisinin ısıtıcısına ait enerji verimliliği değerleri Şekil 4'te verilmiştir.



Şekil 4. Isıtıcının Enerji Verimliliğinin Değişimi

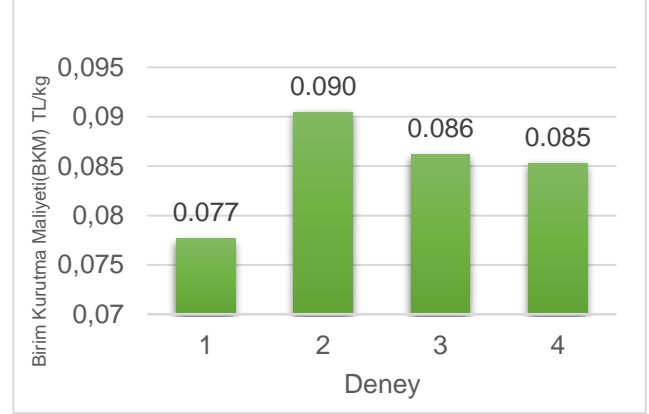
Şekil 4 incelendiğinde, kurutma havasının ısıtıcıdan çıkış sıcaklığı azaldıkça ısıtıcının veriminin arttığı tespit edilmiştir. Dolayısıyla kurutma havasının çıkış sıcaklığı ile ısıtıcı verimi arasında ters orantı söz konusudur. Deneylerde sistemin enerji verimliliğine ait değişim Şekil 5'te verilmiştir.



Şekil 5. Sistemin Enerji Verimliliğinin Değişimi

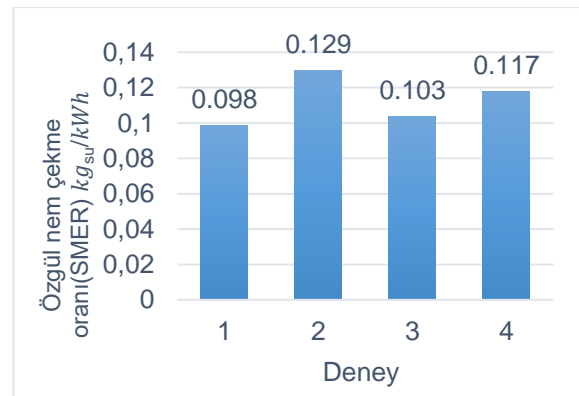
Şekil 5 incelendiğinde, kurutma odasına kurutma havasının giriş sıcaklığının azalması ile sistemin enerji veriminin buna ters orantılı olarak artma eğilimi gösterdiği belirlenmiştir. Yapılan deneylerde en yüksek enerji verimliliği değeri 90°C kurutma havası giriş sıcaklığında %70 olarak birinci deneyde

görülmüştür. En düşük enerji verimlilik değeri ise %54.84 değeri ile ikinci deneyde görülmüştür. Kurutma tesisine ait birim kurutma maliyeti değişimleri Şekil 6'da gösterilmiştir.



Şekil 6. Birim kurutma maliyetinin değişimi

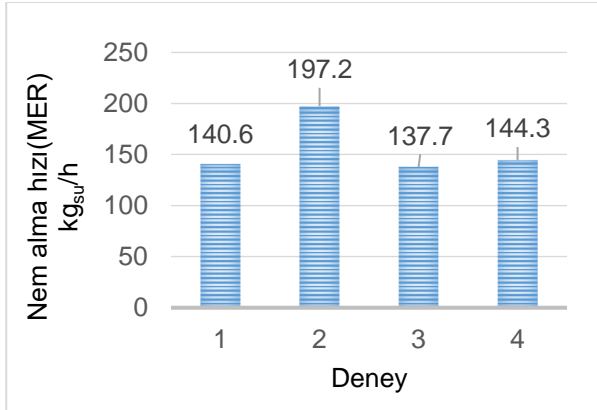
Şekil 6 incelendiğinde, kurutma havasının kurutma odasına giriş sıcaklığının azalması ile birim kurutma maliyetinin azalmakta olduğu açık bir şekilde görülmektedir. Ortalama birim kurutma maliyeti 0.085 TL/kg olarak hesaplanmıştır. Birbirine yakın nem içeriğine sahip 1 ve 2 numaralı deneylerin birim kurutma maliyetleri arasındaki farklılığın sebebi nem alma kapasitelerinin farklı olmasından kaynaklanmaktadır. Kurutma sistemine ait Özgül nem çekme oranındaki değişimler Şekil 7'de verilmiştir.



Şekil 7. LPG kullanan kurutma tesisin Özgül nem çekme oranı (SMER) değişimleri

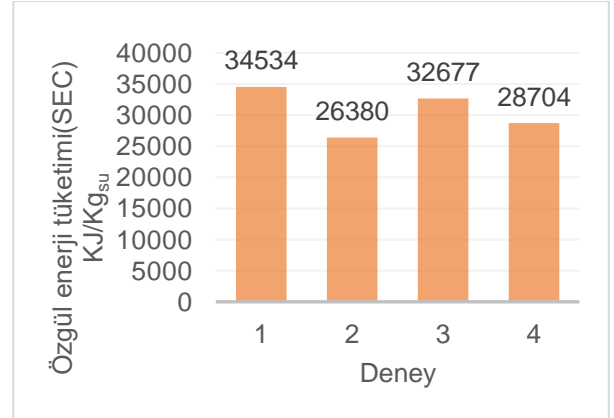
Şekil 7 incelendiğinde, sistemden Özgül nem çekme oranının ortalama olarak 0.112 kg_{su}/kWh civarında olduğu tespit edilmiştir.

Özgül nem çekme oranının kurutma havası sıcaklığının düşmesi ile artma eğilimi gösterdiği tespit edilmiştir. Bu durumu bozan 2 numaralı deneyde ısıtıcıya giren havanın nem içeriğini çok yüksek ve sıcaklığın düşük olması özgül nem alma hızını ciddi oranda artırarak kurutma havası sıcaklığına bağlı oluşan doğrudan sapsmasına neden olmuştur. Sistemden birim saatte uzaklaştırılan nem miktarları Şekil 8’de görülmektedir.



Şekil 8. LPG kullanan kurutma tesisin nem alma hızı (MER) değişimi

Şekil 8 incelendiğinde, kurutma sisteminin üründen nem alma hızı ortalama olarak 155.01 kg_{su}/h olarak hesaplanmıştır. Nem alma hızını etkileyen iki temel parametre ürün nem içeriği ve kurutma havasını nem alma kapasitesidir. 2 numaralı deneyde ürünün nem içeriğinin yüksek olması nem alma hızını artırmıştır. 1 ve 3 numaralı deneylerde ürün nem içeriği biri birine çok yakın olmasına karşın oluşan farkın nedeni kurutma havasının nem alma kapasitelerinin farklı olmasından kaynaklanmaktadır. Sistemden 1 kg nem uzaklaştırmak için gerekli olan enerji miktarları Şekil 9’da verilmiştir.



Şekil 9. LPG kullanan kurutma tesisin özgül enerji tüketimi (SEC) değişimi

Şekil 9 incelendiğinde, kurutma sisteminde birim nem uzaklaştırma için gereken enerji miktarı ortalama 30574 kJ/kg_{su} olarak hesaplanmıştır. Özgül enerji tüketimini etkileyen temel parametre ürünün nem içeriğidir. 1 ve 3 numaralı deneylerde nem içeriğinin daha düşük olmasından dolayı yüzeyde nem miktarı azdır. Bu durum sabit hızda kurutma periyodunun daha kısa ve azalan hız periyodunun sabit hıza oranla daha uzun olmasına neden olacağından özgül enerji tüketimini artırmaktadır.

Elde edilen veriler incelendiğinde, ısıtıcı çıkış sıcaklığındaki 5°C azalma ısıtıcı enerji verimliliğinde %1.5-2 arasında artış olarak değerlendirilmiştir. Deneylerde sistemin enerji verimlilikleri arasında %1-3 arasında bir fark görülmüştür. Ancak Deney 2’de sistemin enerji verimliliği diğer deneylerle mukayese edildiğinde enerji verimliliğinde %20’ye yakın düşüş olmasının nedeni sistem kurutma havasının ısıtıcıya girişteki bağıl neminin diğer deneylere kıyasla yaklaşık 2 kat fazla olmasıdır. Girişteki bağıl nemin yüksek olması kurutma sisteminin nem alma kapasitesini düşürdüğü için enerji verimliliği düşmüştür. Sistemin kurutma havası giriş sıcaklığındaki 5°C azalma özgül nem çekme oranında %4-5 arasında artış olarak yansımıştır. Ancak Deney 2’de bu artış %24 civarlarında olmuştur. Bu orantısız artışın temel sebebi kurutma havasının girişteki bağıl neminin yüksek olmasından kaynaklanmaktadır. Analizlerde ürün nem içeriğindeki %1 artışın nem alma

hızını %4-5 arasında arttırdığı tespit edilmiştir. Ayrıca bağıl nemdeki %1 artışın, yakın nem içeriğindeki ürünlerdeki nem alma hızını %1-1.5 arasında azalttığı tespit edilmiştir. Kurutma havasının prosese giriş sıcaklığının 5°C azalması özgül enerji tüketiminin %5-6 arasında azalmasına neden olduğu görülmüştür. Deney 2’de görülen %24’e yakın azalmanın temel sebebi nem alma kapasitesinin düşük olmasından kaynaklanmaktadır.

Yapılan analizler ısıtıcı verimliliği açısından değerlendirildiğinde, en iyi değerler kurutma havası giriş sıcaklığı 85°C olan, %32.8 giriş bağıl nemine ve % 28.3 ürün nem içeriğine sahip Deney 4’te elde edilmiştir. Sistem enerji verimliliği açısından değerlendirildiğinde, kurutma havası giriş sıcaklığı 95°C olan, %33.2 giriş bağıl nem içeriği ve %24.6 ürün nem içeriğine sahip Deney 1’de %70 enerji verimliliği ile en iyi verim elde edilmiştir. Birim kurutma maliyeti açısından değerlendirildiğinde, kurutma havası giriş sıcaklığı 95°C olan, %33.2 giriş bağıl nem içeriğine sahip ve %24.6 ürün nem içeriğine sahip Deney 1’de 0,077TL/kg kurutma maliyeti ile en uygun değer elde edilmiştir. Nem alma hızı açısından değerlendirildiğinde kurutma havası giriş sıcaklığı 90°C olan, %58 giriş bağıl nem içeriği ve %29.2 ürün nem içeriğine sahip Deney 2’de 197.2 kg_{su}/h nem alma hızı ile en yüksek değer elde edilmiştir. Özgül enerji tüketimi açısından değerlendirildiğinde, kurutma havası giriş sıcaklığı 90°C olan, %58 giriş bağıl nem içeriğine sahip ve %29.2 ürün nem içeriğine sahip Deney 2’de 26380 kJ/kg_{su} özgül enerji tüketimi değeri ile en düşük sonuç elde edilmiştir. Bu bağlamda, Deney 2’deki şartlar sistemin enerji verimliliğini düşürmesine rağmen gerek yüksek ısıtıcı verimi gerekse düşük özgül enerji tüketimi nedeni ile tercih edilebilir olarak görülmektedir.

Sonuç olarak yapılan deneysel ölçümler neticesinde kurutma havası giriş sıcaklığının azalması ile yakıt sarfiyatının azaldığı belirlenmiştir. Yapılan analizde enerji

verimliliği ve birim kurutma maliyetinin değişiminde kurutma havası giriş sıcaklığının değişimi en önemli etkiye sahiptir. Bunun dışında kurutma havası giriş bağıl nemi ve mısır giriş neminin enerji verimliliği ve birim kurutma maliyetini doğrudan etkilediği bundan sonra yapılacak çalışmalarda göz önünde tutulmalıdır. Yapılan çalışmada endüstriyel mısır kuruma tesisleri için yapılacak enerji ve maliyet analizleri için iyi bir referans olacağı düşünülmektedir.

Kaynaklar

- Akpınar E. K. (2006), The First And Second Law Analyses Of Thermodynamic Of Pumpkin Drying Process, Journal of Food Engineering, 72:320–331.
- Erbay Z. And Hepbasli A. (2014), Application Of Conventional And Advanced Exergy Analyses To Evaluate The Performance Of A Ground-Source Heat Pump (Gshp) Dryer Used In Food Drying, Energy Conversion and Management, 78: 499–507.
- İzli N. (2007), Mısırın Sıcak Hava Akımıyla Kurutulmasında Kurutma Parametrelerinin Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Kuzgunkaya E.H., Hepbasli A. (2007a). Exergetic Evaluation of Drying of Laurel Leaves in a Vertical Ground-Source Heat Pump Drying Cabinet, International Journal of Energy Research, 31: 248-258.
- Kuzgunkaya E. H, Hepbasli A (2007b). Exergetic Performance Assesment of a Ground-Source Heat Pump Drying System, International Journal of Energy Research, 31: 760-777.
- Syahrul S, Dincer I, Hamdullahpur F. (2003). Thermodynamic Modelling of Fluidized Bed Drying of Moist Particles, International Journal of Thermal Sciences, 42: 691-701.
- <http://adakurutma.com.tr/>

Energy and Cost Analysis of Horizontal Type Corn Drying Plant Using LPG Fuel

Extended abstract

In this study, energy and cost analyzes were performed depending on the results obtained with different drying air inlet temperatures in the drying chamber of the horizontal type corn drying plant using liquefied LPG in the drying of the drying air. In the drying process, thermodynamic properties such as temperature, relative humidity and air velocity of the node points determined in the system are measured. Measurements in the study were made by sending drying air at different temperatures (85 ° C, 90 ° C and 95 ° C) in the constant airflow of corn drying process. As a result of the energy and cost analyzes made on the basis of the data obtained from the six node points determined in the system, the effects of the drying air inlet temperature, the temperature of the heater inlet air and relative humidity changes were been evaluated over the energy efficiency, consumption of fuel and the unit drying cost.

As a result of the investigation, it is seen that drying of the drying air decreases the drying rate of the unit by decreasing the inlet temperature to the drying chamber. Average unit drying cost was calculated as 0.085 TL / kg. The reason for this is that the dehumidification capacities are different due to the difference between the unit drying costs of experiments 1 and 2 with one moisture content close to one.

As a result of the analyzes, it was determined that the rate of specific dehumidification from the system was about 0.112 kg_{water} / kWh on average. It has been found that with the establishment of the specific dehumidification rate, the temperature decreases and tends to increase. InS the two experiments that disturb this situation, the humidification of the air entering the energy source must be very high and the temperature must be low.

The amount of energy required to remove unit moisture from the system was calculated as 30574 kJ / kg_{water} averagely. The basic parameter that influences Siougul energy consumption is the moisture content of the product. In experiments 1 and 3, the amount of moisture on the surface is low due to the lower moisture content. This increases

the specific energy consumption since the drying period at constant speed is shorter and the decreasing speed period is longer than the constant speed.

It is expected that the specific dehumidification rate, which is another expression of energy efficiency, is parallel to the energy efficiency. Because the moisture content of the product dried in the facilities is different, the rate of specific dehumidification is low in the facilities where the product with high moisture content is dried. In the products with low moisture content, were found to be higher.

As a result of the experimental measurements, it was determined that the decrease of the air inlet temperature and the decrease of the fuel consumption. In the analysis made, energy efficiency and change in unit drying cost are achieved as a result of changing the temperature of the inlet air to play the greatest role. Apart from this, it is clear that the effects of inlet air relative humidity and corn inlet temperature on energy efficiency and unit drying cost can not be ignored.

Keywords: Drying, Corn Drying, Grain Drying, LPG Fired Drying Plant, Energy and Cost Analysis