

GÜNEŞ ENERJİSİ DESTEKLİ MEKANİK BUHAR SIKIŞTIRMALI ISI POMPASIYLA KURUTMA FIRINI TASARIMI VE TERMODİNAMİK ANALİZİ

Mustafa ERTÜRK
Zuhal OKTAY

ÖZET

Tasarlanan sistem, güneş enerjisi-sıcak hava kolektörü, buhar sıkıştırma mekanik havadan havaya ısı pompası, by-pass devreli kurutma fırını, bilgisayar bağlantılı 16 çıkışlı sıcaklık ölçer ve kontrol ünitesinden oluşmaktadır. Bu çalışmada amaç; hava debisi frekans kontrollü sistemle çalıştırılıp tarım ürünlerine kurutma sürelerinin etkisi, fırın içerisindeki istifleme şekli, kurutulan ürün kalitesine etkisi araştırmaktır. Ayrıca fırın çıkışında nemli havanın çiğlenme noktasına kadar soğutulmasıyla sıvı fazına dönüşen akışkan numuneleri alınarak spesifik nem çekme performansının araştırılması için tasarlanmıştır. Kompresör çıkışındaki soğutucu akışkanın fırın içerisindeki kondenser yerine fırın dışarısındaki kondensere yönlendirilerek, sadece güneş enerjisiyle çalıştırılmasını (güneş enerjisi ile ısıtma) ya da kurutma havasının hem kondensere hem de güneş panelinden geçirilmesi ile hibrit bir sistem haline dönüştürülebilmektedir. Sistem gece kurutma işleminde sadece ısı pompası olarak işlev görecektir. Nemin evaporatörde tutulması, fırın içerisindeki sıcaklığın güvenilirliğini kontrol etmek için elektrikli rezistans desteği, atmosfer havasının ürün üzerinden geçirilip egzoz edilerek çalıştırılabilmesi ise sistemi çok amaçlı hale getirmektedir.

1.GİRİŞ

Tarımsal ürünlerin hasat dönemindeki tüketim oranı üretime nazaran çok daha düşük bir seviyede kalmaktadır. Hasat döneminde tüketim fazlası ürünleri saklayabilmek için soğutma, kurutma, kimyasal işlemler vb. teknikler geliştirilmiştir. Bu teknikler hasat dönemi bittikten sonra da tarımsal ürünlere ulaşma imkânını sağlamaktadır.

Ülkemizde kayısı, üzüm, incir, erik, domates, biber, patlıcan vb. meyve ve sebzeler yaygın olarak direkt açıkta; güneş radyasyonu ile kurutulmaktadır. Bu tip açıkta yapılan kurutmada kuruma sırasında böcekler, kuşlar ve rüzgarın olumsuz etkileri ürün kayıplarına neden olmaktadır. Ayrıca hava koşullarının uygun olmaması nedeniyle ürün neminin kısa sürede uzaklaştırılmadığı durumlarda mikrobiyel aktiviteler sonucu üründe küflenme ve verim kayıpları ortaya çıkmaktadır [1].

Çeşitli yöntemler kullanarak, açık ortamda güneş altında kurutmanın dezavantajlarını azaltmak mümkündür. Kurutmada kullanılacak havanın ısıtılarak kurutulacak ürün üzerinde kapalı bir ortamda dolaştırılması, açıkta kurutma ile karşılaştırıldığında daha kontrollü bir kurutma sağlanmaktadır. Kurutma havasının güneş enerjisi ile ısıtıldığı yöntem, havanın uygun bir güneş kolektörü üzerinden geçirilerek ısıtılması ve ürün üzerine doğal konveksiyon veya zorlamalı konveksiyon yolu ile iletilmesi esasına dayanmaktadır [2].

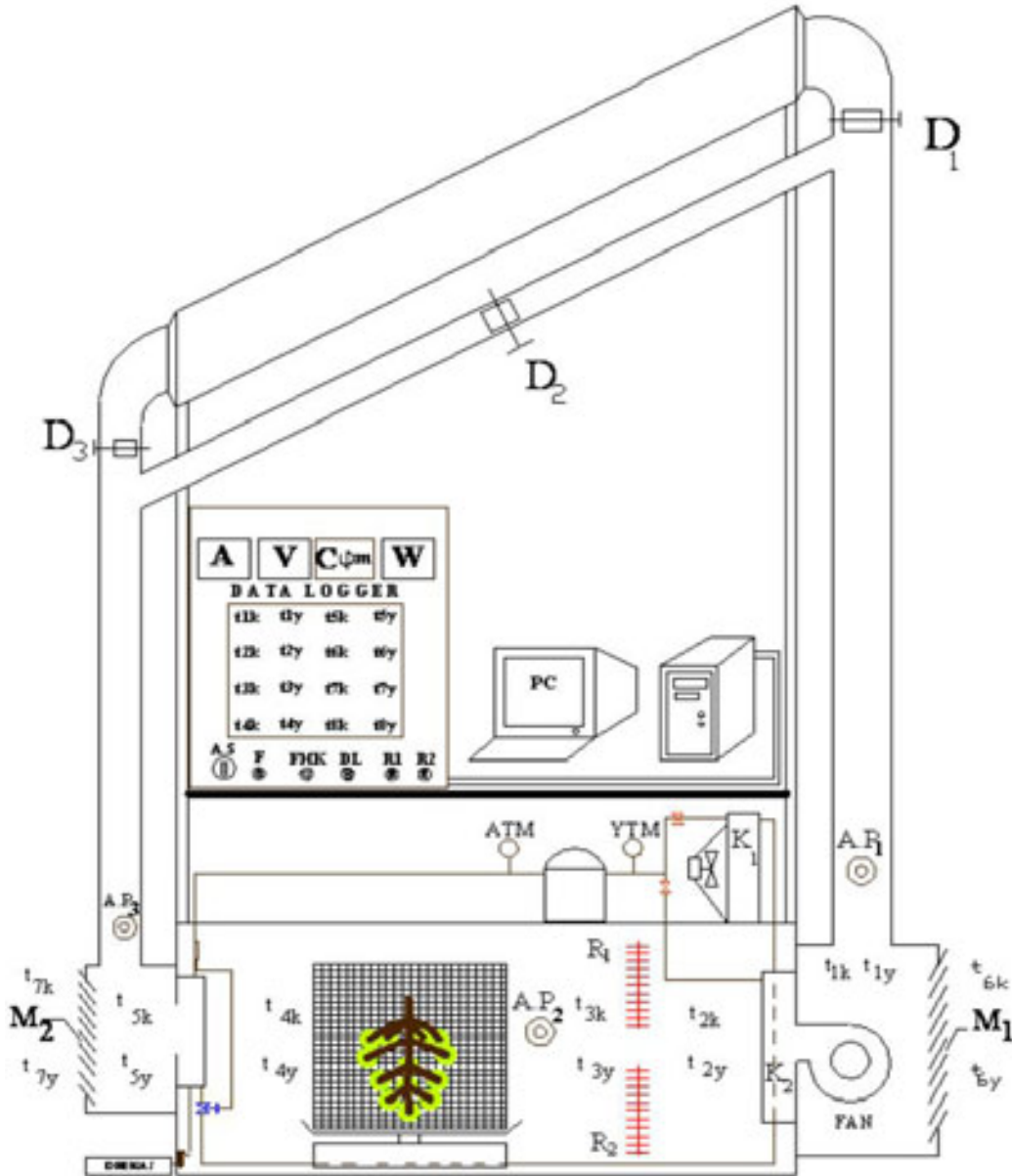
Sıcak hava ile ürün kurutma işleminde kurutma havası belli bir sıcaklığa kadar ısıtılarak nem alabilme özelliği arttırılmakta, doğal veya zorlamalı olarak kurutulacak ürün üzerine belli bir hızda gönderilmektedir. Ürün ile temas eden sıcak hava ürünün nemini alır ve bu işlem, ürün istenilen nem oranına gelene kadar devam eder.

Kontrollü ortamda kurutulan ürünler açıkta güneş altında kurutulan ürünlere göre daha temizdir ve kuruma sonunda doğal renk, tat, koku ve besin maddelerinde daha az değişim olmakta ve böylece kontrollü kurutma ile ürün çevre şartlarından korunmaktadır [3].

Literatürde kapalı ortamda güneş enerjisi ile doğal ve cebri konveksiyon yoluyla çalışan birçok kurutucu modelleri bulunmaktadır. Bu çalışmada ısı pompası, güneş enerjisi gibi yenilenebilir enerji kaynaklarının kurutma işleminde maksimum düzeyde kullanılması hedeflenmiştir.

2. MATERYAL VE METOD

Bu çalışma BAÜ BMYO İklimlendirme ve Soğutma Programında tarımsal ürünlerin dışında, polen kurutmak üzere cebri konveksiyonlu güneş enerjisi destekli hava kaynaklı ısı pompası ile kurutma fırını prototipi olarak tasarlanmış ve tarafımızdan imalatı yapılmıştır.



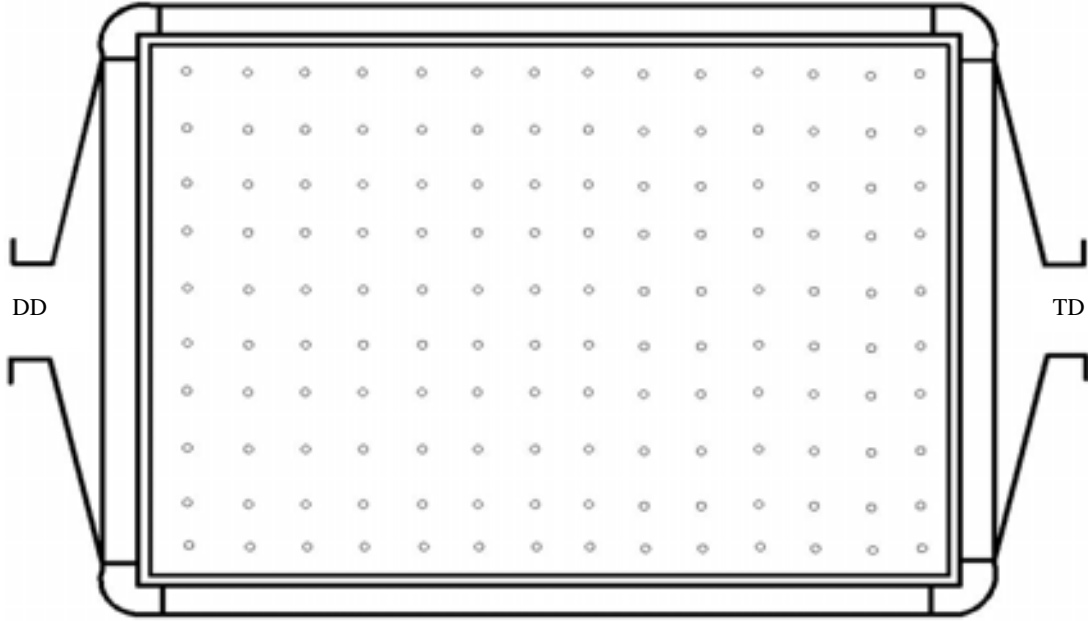
Şekil.1 Bilgisayar Kontrollü güneş enerjisi destekli hava kaynaklı ısı pompası

Model fırın içerisinde ürün sıcaklığı, hava hızı ve nemin modülasyonlu olarak kontrol edilmesini sağlayacaktır. Bu model aşağıdaki açıklandığı gibi üç ana bölümden oluşmaktadır

- Fırın içerisindeki havayı ısıtmak için imal edilen sıcak hava kolektörü
- Kurutma fırını, ısı pompası ve kanallar
- Kontrol ünitesi

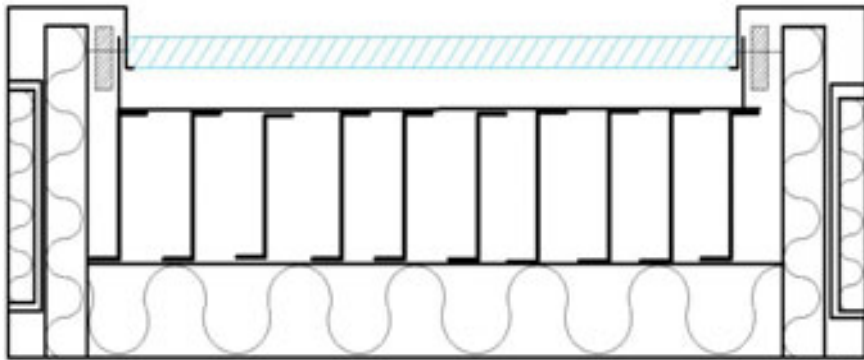
2.1. Sıcak Hava Kolektörü

Sıcak hava kolektörü 1130x755x175 mm ebatlarında tarafımızdan tasarlanmış ve imal edilmiştir. Kollektör kaseti 30x30x1.5 mm alüminyum profil, köşe birleştirmeler bu profil içerisine girecek şekilde plastik malzemelerden imal edilmiştir (Şekil 2).



Şekil 2. Sıcak hava kolektörünün üstten görünüşü

Kollektör duvarları; galvanizli saç plakalar arasına sıkıştırılmış poliüretan malzeme konularak imal edildi, ayrıca ısı köprülerini engellemek için kollektör duvarlarıyla emici yüzey arası poliüretan malzemeyle tekrar yalıtıldı, emici yüzeyin alt bölümü de ayrıca sıkıştırılmış poliüretan malzemeyle yalıtıldı, emici yüzeyin kollektör kasetiyle birleştirilmesinde oluşacak ısı köprülerini engellemek için kollektör kaseti çerçevesi üzerine poliüretan yalıtım malzemesi yapıştırıldı ve emici yüzey kollektör kaseti üzerine perçinlerle tespit edildi (Şekil 3).



Şekil 3. Sıcak hava kolektörünün kesit resmi

Emici yüzeyin üst bölümü bakır levha olarak seçildi, kolektör ısı transfer yüzeyini arttırmak için bakır emici yüzeyin altına ters Z şeklinde görülen galvanizli saçtan imal edilmiş 10 adet kanat film kalmayacak şekilde 8 cm aralıklarla perçinle birleştirildi, kanatların altında galvanizli saç levha punta kaynak makinasıyla birleştirilerek kolektör içerisinde dikdörtgen kesitli 10 adet kanal Şekil 3'teki gibi imal edilmiştir. Bu kanallarda havanın eşit miktarda dağıtımı için girişe dağıtıcı distribütör (DD), çıkışa toplayıcı distribütör (TD) takılmıştır.

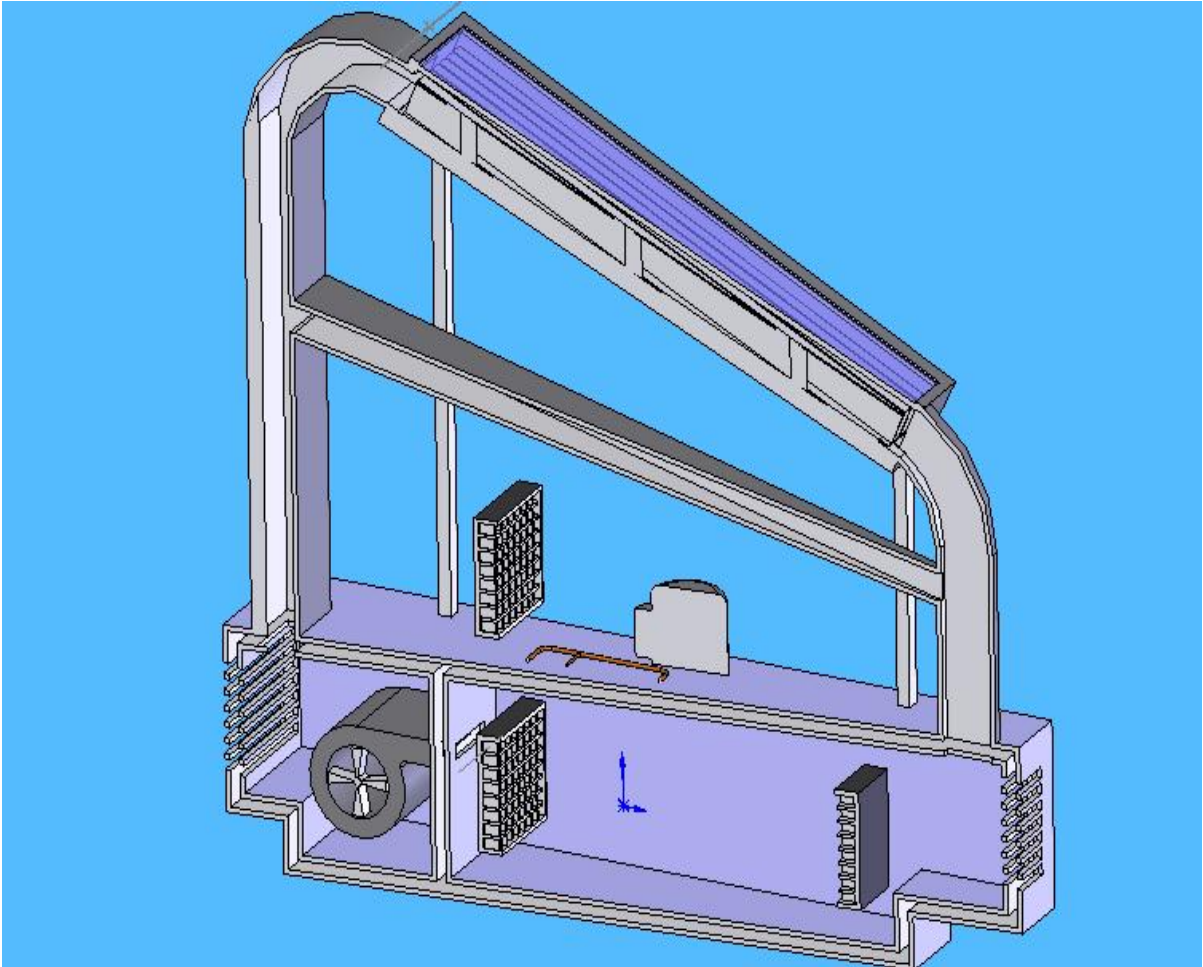
Bu çalışma genelde yaz mevsimindeki ürünlerin kurutulması için tasarlandığı için kolektörün yatayla yaptığı eğim açısı yaz şartlarına göre belirlendi.

Kolektör eğim açısı:İlin enlem derecesi - 15°

Balıkesir $39,6^{\circ}$ de olduğu için kolektör eğim açısı $24,6^{\circ}$ belirlenerek kolektör fırın üzerine Şekil 1'deki gibi montajı yapılarak sistem paket haline getirildi.

2.2. Kurutma Fırını, Isı Pompası ve Kanallar

Kurutma fırını $570 \times 600 \times 960$ mm ebatlarında olup, fırın konstrüksiyonunda eloksallı alimünyum profil ve plastik köşe birleştirmeleri kullanılmıştır. Fırın duvarları da, galvanizli saç plakalar arasına sıkıştırılmış poliüretan malzeme konularak imal edildi. Ayrıca ısı köprülerini engellemek için fırın içerisi poliüretan malzemeyle tekrar yalıtılmıştır (Şekil 4).



Şekil 4. Sistemin üç boyutlu kesit resmi

Fırın bölümü üzerindeki ısı pompası devresi 1/3 HP gücünde 1 adet kompresör, 1/2 HP 2 adet kondenser, 1/3 HP 1 adet evaporatör, 2 adet 1/4" glop valf, 1 adet içten dengelemeli termostatik genişleme valfinden oluşmaktadır.

Fırın üzerindeki K_1 kondenseri; K_2 kondenserinden bağımsız olarak çalıştırılmak üzere tasarlanmıştır. Sistemin sadece güneş radyasyonu ile çalıştırılması durumunda, üründen buharlaşan nem fırın içerisindeki evaporatör vasıtasıyla soğutulması sonucunda yoğunlaştırılacaktır.

K_2 kondenseri; fırın içerisinde olduğu için sistemin güvenilirliğini artırdığı gibi gece kurutma işleminde kullanılacaktır.

Fırın girişindeki santrifüj fan 1700 m³/h debide ve 700 Watt gücündedir. Sistemi değişken hava debili getirmek (0~1700 m³/h) için frekans kontrollü fan hız kontrol devresi kullanılmıştır.

Fırın üzerinde 3 adet damper bulunmaktadır. D_1 ve D_3 klapeleri kapatılıp D_2 klapesi açıldığında bypass devresi açılmakta bu durum sistemin sadece ısı pompası olarak çalıştırılmasını sağlamaktadır. Bu özellik kurutmanın sürekli olması için ve sadece ısı pompasıyla kurutma işlemi için sistemin performansının araştırılması için düşünülmüştür.

Fırın içerisine konulacak ürünler tel kafesli bir sepet içerisine yerleştirilip fırın içerisindeki dijital terazi üzerine konulacaktır ve ayrıca fırın içerisi ürün asmaya da uygun olarak dizaynı yapılmıştır. Ürün çeşidine göre istifleme şekli önemli olduğu için fırın içerisinde değişik istifleme konumları oluşturmaya elverişli konumdadır.

Fırın girişine ve çıkışına konulan 300x300mm ebatlarındaki menfezler ürün üzerinden sadece doğal havanın dolaştırılıp egzoz edilmesi için düşünülmüştür. Sistemi bu şartlarda çalıştırmak için D_1 , D_2 ve D_3 klapeleri kapatılıp damperlerin açılması gerekmektedir. Yalnızca dış havanın değişken hızlar kullanılması durumu için; kurutmada işleminde hava hızının ürün kalitesine etkisinin araştırılması için değerlendirilecektir.

Sistem içerisindeki hava hızını ölçmek için problu anemometre kullanılacaktır. Bu amaçla Şekil 1'de görüldüğü gibi kolektör çıkışındaki hava hızını ölçmek için amacıyla AP_1 , fırın içerisindeki rezistanslardan sonraki hava hızını ölçmek için AP_2 , ve fırın çıkışındaki hava hızını ölçmek için AP_3 anemometre irtibat noktaları oluşturuldu.

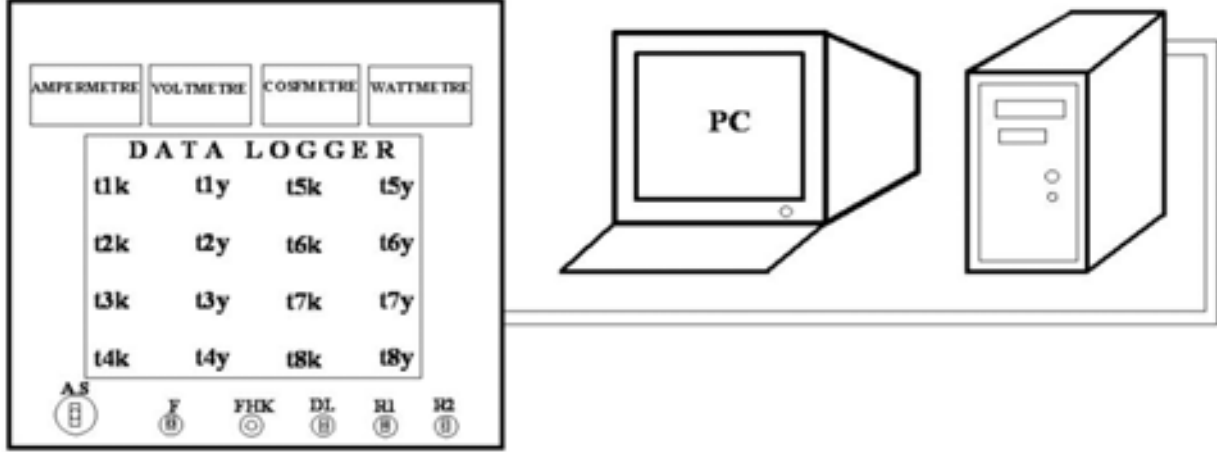
Hava kanalları galvanizli sactan imal edilerek 0,4 mm kalınlığında galvanizli saç plakalar arasına 30 mm kalınlığında sıkıştırılmış poliüretan malzeme konularak dışından yalıtılmıştır.

2. 3. Kontrol Ünitesi

Kontrol ünitesinde bulunan tüm birimler 220 volt gerilimle çalışmaktadır. Kontrol panelinde bir adet 0-1 konumlu ana pako şalter (AŞ) ve tüm birimlerin bağımsız sigorta grupları, fırın girişindeki santrifüj fan motoruna enerji aktaran 0-1 konumlu (F) şalteri, fanı 0~1400m³/h debide modülasyonlu çalıştıran frekans kontrollü elektronik devre kartı ve potansiyometresi (FHK), veri toplayıcıya enerji aktaran 0-1 konumlu (DL) pako şalteri, fırın içerisinde 1500 Watt gücünde birinci elektrikli rezistansa enerji aktaran 0-1 konumlu (R_1) pako şalteri, fırın içerisinde 1500 Watt gücünde ikinci elektrikli rezistansa enerji aktaran 0-1 konumlu (R_2) pako şalteri kullanılmıştır. Ampermetre, voltmetre ve $\cos\phi$ metre farklı çalışma şartlarında bu birimlerdeki değişikliği tespit etmek için, Wattmetre ise sistemin anlık güç tüketim değerini ölçmek için kullanılmıştır (Şekil 5).

Sıcaklık ölçümleri için 16 çıkışlı bilgisayar bağlantılı veri toplayıcı kullanılmıştır. Bu veri toplayıcı tüm ölçüm noktalarındaki sıcaklıkları her bir dakikada ölçerek kaydetmekte ve zamana bağlı olarak sıcaklıktaki değişiklikleri grafik halinde bilgisayar ekranında göstermektedir.

Ölçüm noktaları kollektör çıkışındaki havanın yaş ve kuru termometre sıcaklıkları (t_{1k} ve t_{1y}), fırın içerisindeki kondenser çıkışındaki havanın yaş ve kuru termometre sıcaklıkları (t_{2k} ve t_{2y}), elektrikli rezistanstandan sonraki havanın yaş ve kuru termometre sıcaklıkları (t_{3k} ve t_{3y}), ürün sepeti çıkışındaki havanın havanın yaş ve kuru termometre sıcaklıkları (t_{4k} ve t_{4y}), evaporatör çıkışındaki havanın yaş ve kuru termometre sıcaklıkları (t_{5k} ve t_{5y}), fırın girişindeki M_1 damperinin bulunduğu yerde atmosfer havasının yaş ve kuru termometre sıcaklıkları (t_{6k} ve t_{6y}), fırın çıkışındaki M_2 damperinin bulunduğu yerde atmosfer havasının yaş ve kuru termometre sıcaklıkları (t_{7k} ve t_{7y}) ve ortam sıcaklığı (t_{8k}) olarak 15 farklı noktadır.



Şekil 5. Kontrol ünitesi

3.SİSTEMİN ENERJİ ANALİZİ

3.1 Kurutma odasındaki ürünlerin kurutulması için gerekli toplam ısı miktarı:

$$\Sigma Q_{Top} = q_1 + q_2 + q_3 + q_4 \quad (1)$$

olarak fırında harcanan ve kaybolan ısıların toplanması ile bulunur. Kaybolan ve harcanan ısılar aşağıdaki denklemlerle hesaplanabilir [4]. Burada fırın duvarlarının ısıtılması için gerekli enerji miktarı ihmal edilmiştir.

Fırın havasının ısıtılması için gerekli enerji (q_1)

$$q_1 = V \cdot \rho \cdot C_H \cdot \Delta t \quad (\text{kJ}) \quad (2)$$

buradaki;

V =Fırın içerisindeki toplam hava miktarı (m^3)

C_H =Havanın özgül ısısı (kJ/kg K)

ρ =Havanın yoğunluğu (kg/m^3)

ΔT =Fırına giren hava sıcaklığı ile fırın içerisindeki havanın sıcaklık farkı (K)

Fırın içerisindeki ürünlerin istenilen sıcaklığa getirilebilmesi için gerekli olan enerji (q_2)

$$q_2 = m_{\bar{u}} \cdot C_{\bar{u}} \cdot \Delta t \quad (\text{kJ}) \quad (3)$$

$m_{\bar{u}}$ =Kurutulacak ürünlerin kütlesi (kg)

$C_{\bar{u}}$ =Kurutulacak ürünlerin özgül ısısı (kJ/kg K)

ΔT =Kurutulacak ürünün işletme sıcaklığı ile fırın içerisindeki havanın sıcaklık farkı (K)

Kurutulacak üründeki nemin buharlaştırılması için gerekli olan enerji (q_3)

$$q_3 = S_{\bar{u}} \cdot q_{\bar{u}} \quad (\text{kJ}) \quad (4)$$

$S_{\bar{u}}$ =Ürün içerisindeki toplam nem miktarı (kg)

$q_{\bar{u}}$ =Ürün içerisindeki nemin buharlaştırılması için kg başına verilmesi gereken enerji (kJ/kg)

Fırından çevre havasına olan ısı kayıplarını karşılamak için harcanan enerji (q_4)

$$q_4 = k_T \cdot F \cdot \Delta T \quad (\text{kJ}) \quad (5)$$

$$\frac{1}{k_T} = \frac{1}{h_i} + \frac{L_1}{k_1} + \frac{L_2}{k_2} + \dots + \frac{L_n}{k_n} + \frac{1}{h_d} \quad (5a)$$

k_T =Fırın duvarlarının imalatında kullanılan malzemelerin toplam ısı transfer katsayısı ($\text{W/m}^2 \text{K}$)

F = Fırının toplam alanı (m^2)

L = Duvarları oluşturan her bir katmanın kalınlığı (m)

k = Duvarları oluşturan her bir katmanın ısı iletim katsayısı (W/m K)

h_i = İç yüzey taşınım katsayısı ($\text{W/m}^2\text{K}$)

h_d = Dış yüzey taşınım katsayısı ($\text{W/m}^2\text{K}$)

ΔT =Fırın iç ortam hava sıcaklığı ile fırın dış ortam hava sıcaklığı arasındaki sıcaklık farkı (K)

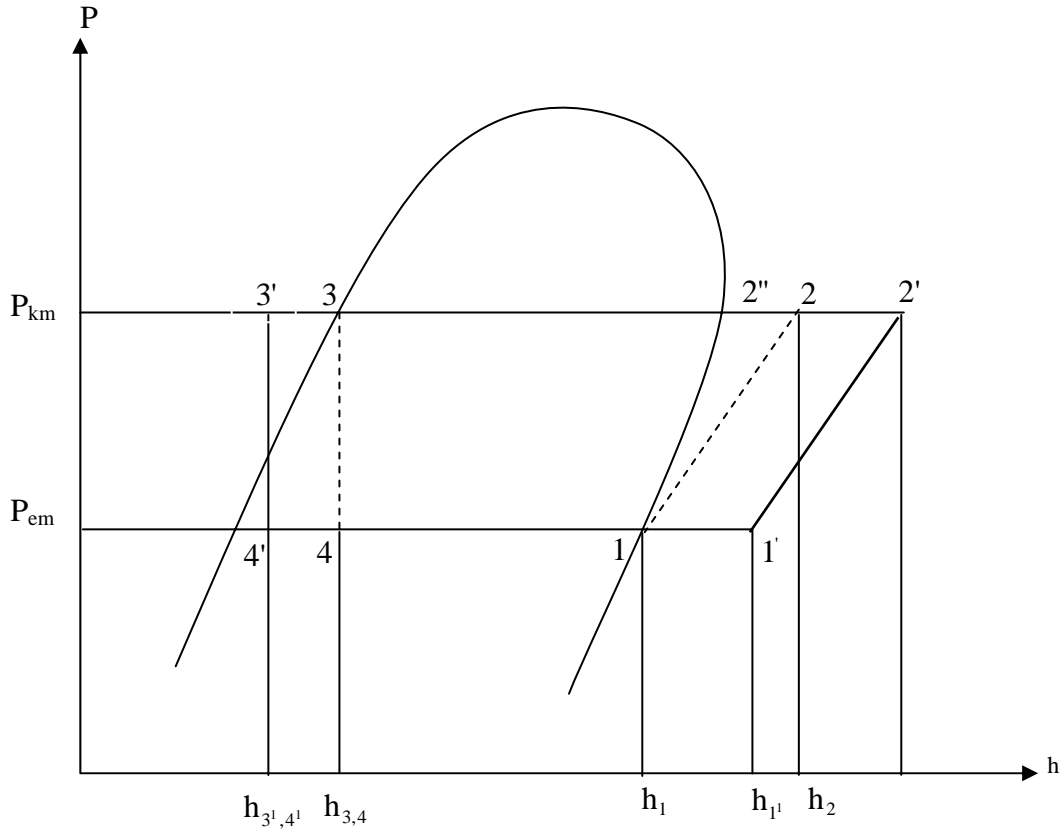
Bu sistem çok amaçlı bir kurutma fırını olduğu için modülasyonlu çalıştırılabilecektir. Toplam ısı aşağıdaki kaynakların yüke göre kontrollü olarak devreye girmesiyle karşılanacaktır. Bu kaynaklar;

- ✓ Hava-hava kaynaklı ısı pompası,
- ✓ Güneş radyasyonu destekli ısı pompası
- ✓ Bazı tarımsal ürünlerde ideal kurutma odası sıcaklığını sağlamada güneş radyasyonu destekli kurutma fırını kapasitesi yeterli gelmeyebilir. Güvenilirliği sağlamak için iki kaynağa destek olarak yüke göre devreye giren 1500 watt kapasitesinde iki adet elektrikli rezistans,
- ✓ Fırının bulunduğu mahaldeki havadır (Doğal ve cebri hava şartları ile kurutma işleminde kullanılacaktır).

3.2 Direkt Genleşmeli Isı Pompalarının Termodinamik Çevrim Olarak İncelenmesi

Tersinir Carnot soğutma çevrimi ikisi sabit sıcaklıkta ikisi de iş görme esasına dayanan dört termodinamik işlemde oluşmaktadır [5]. Bu işlemler;

- 1-2 Kompresörde adyabatik izentropik sıkıştırma,
- 2-3 Kondenserde sabit basınç ve sıcaklıkta ısıtma,
- 3-4 Genişleme makinesi veya genişleme valfinden izentropik genişleme,
- 4-1 Evaporatörde sabit basınç ve sıcaklıkta soğutma



Şekil 6. Isı eşanjörlü ve eşanjörsüz tek kademeli sisteminin ortak P-h diyagramı üzerinde gösterilmesi.

1-2 ve 3-4 termodinamik işlemleri iş görme esasına dayanmaktadır. 1-2 termodinamik işlemi sistemin sınırları dışındaki W_{el} işiyle kompresörde aracı akışkan üzerinde yapılan işi, 3-4 termodinamik işlemi de tersinir ve tersinmez sistemlerde sistem sınırları dışına transfer edilebilen bir işi ifade etmektedir.

Uygulamada emme hattından kompresöre sıvı yürümesini engellemek için sistem ısı eşanjörlü hale getirilmektedir. Isı eşanjörü kompresör girişindeki soğutucu akışkanı aşırı ısıtarak kızgın buhar fazına, kondenser çıkışındaki soğutucu akışkanı da aşırı soğutulmuş sıvı fazına dönüştürmektedir. Şekil 6'da 1-2-3-4 termodinamik işlemleri tersinir Carnot çevrimini, 1'-2'-3'-4' termodinamik işlemleri ise tersinmez Carnot çevrimini ifade etmektedir.

Tersinir Carnot çevriminde sabit basınçta evaporatör çıkışındaki soğutucu akışkanın doymuş buhar fazında kompresöre girmesi 1 noktası, kompresör tarafından adyabatik sabit entropide sıkıştırılarak kondensere gönderilmesi 2 noktası, kondenserde sabit basınçta kızgın buhar fazından doymuş buhar fazına geçmesi 2" noktası ve doymuş sıvı fazında genişleme valfine gelmesi 3 noktası, genişleme valfinde adyabatik sabit entropide genişleyerek evaporatöre gelmesi 4 noktası, evaporatörde sabit basınçta ısı çekerek doymuş buhar fazına geçerek kompresöre gelmesi 1 noktası olarak kabul edilmektedir. Sistemde dolaştırılan soğutucu akışkanın kütleli debisi $\dot{m}_r = \text{kg/s}$, entalpiler de kJ/kg olarak birimler seçilirse kapasite hesapları aşağıdaki denklemlerle hesaplanabilir [5].

$$\dot{Q}_c = \dot{m}_r (h_2 - h_1) \quad \text{Kompresör sıkıştırma ısısı (kW)} \quad (6)$$

$$\dot{Q}_k = \dot{m}_r (h_2 - h_{3,4}) \quad \text{Kondenser yoğuşurma kapasitesi (kW)} \quad (7)$$

$$\dot{Q}_o = \dot{m}_r (h_4 - h_1) \quad \text{Soğutma yükü (kW)} \quad (8)$$

3.1. Kurutucu Performans Hesabı

3.1.1. Isı pompalı kurutucunun performansı

Kondenser sıcaklığı (T_C) ve evaporatör sıcaklığı (T_E) arasında çalışan ideal bir soğutma sistemi için; maksimum ısıtma performans katsayısı ($COP_{c,h}$) Carnot çevrimi yardımı ile aşağıdaki eşitlikten bulunabilir [6]:

$$COP_{c,h} = \frac{T_C}{T_C - T_E} \quad (9)$$

Pratikteki uygulamalar için; güç tüketimi ısı pompasının kompresöründe ortaya çıkar. Sirkülasyon fanı gibi diğer kaynakların güç tüketimi kompresörle karşılaştırıldığı zaman oldukça düşük olarak gerçekleşmektedir. Bu yüzden tüm sistem için ısıtma performansı hesaba alınmayıp, yalnız kompresörün güç tüketimine göre ısı pompası için gerçek ısıtma COP değeri aşağıdaki şekilde bulunabilir:

$$COP_{hp,h,g} = \frac{\dot{Q}_{cd}}{\dot{W}_c} \quad (10)$$

burada \dot{Q}_{cd} ; kondenserde kurutma havasına sağlanan ısı miktarı ve \dot{W} ise kompresöre giren güç miktarıdır. \dot{Q}_{cd} ayrıca, kondensere giren ve çıkan havanın entalpi farkı kullanılarak da bulunabilir.

Kondenserde sağlanan ısı miktarı (\dot{Q}_{cd}) aşağıdaki şekilde bulunabilir:

$$\dot{Q}_{cd} = \dot{m}_H \cdot C_H \cdot (T_{çuka} - T_{giren}) \quad (11)$$

$$\dot{m}_H = \rho_H \cdot \dot{V}_H \quad (12)$$

burada \dot{m}_H kütleli hava debisi (kg/s), ρ_H havanın yoğunluğu (kg/m³) ve \dot{V}_H ise hacimsel debi (m³/s) dir.

Kurutma sistemlerinde amaç kurutma olduğundan çekilen su buharı miktarı oldukça önemlidir ve genellikle de spesifik nem çekme oranı (SNÇO) olarak tarif edilen kavramlar yaygın olarak kullanılmaktadır. Spesifik nem çekme oranını hesaplamak için: kurutulacak üründen 1 kg suyu çekmek için gerekli olan enerjinin bulunması gerekir, SNÇO aşağıda verilen bağıntı ile bulunabilir [7]:

$$SNÇO_{hp} = \frac{\dot{m}_d}{\dot{W}_c} \quad (13)$$

3.1.2. Güneş enerjisi destekli ısı pompalı kurutucunun performansı

Tüm sistemin performansı; kurutulacak üründen 1 kg suyu çekmek için gerekli olan toplam enerjinin (kompresör gücü, fan gücü ve sistemde kullanılan diğer elektrikli cihazların gücü) belirlenmesi ile aşağıdaki şekilde bulunabilir: Tüm sistemin performansı $SNÇO_{TS}$:

$$SNÇO_{TS} = \frac{\dot{m}_d}{\dot{W}_c + \dot{W}_{ef} + \dot{W}_{sf}} \quad (14)$$



şeklinde bulunabilir. Burada \dot{W}_c kompresör gücünü, \dot{W}_{ef} eksenel fan gücünü ve \dot{W}_{sf} santrifüj fan gücünü kW olarak belirtmektedir. \dot{m}_d ise bir saatte üründen çekilen kg olarak su miktarıdır.

3.2. İllerimizin Aylara Göre Toplam Radyasyon Miktarının Belirlenmesi

İllerimizin yaz ve kış aylarında birim yüzeye (m^2) düşen toplam radyasyon miktarının belirlenmesinde aşağıdaki denklemler [8] kullanılarak hazırlanmış olduğumuz "Geliştirilen Bilgisayar Programıyla Ülkemizdeki İllere Göre Güneş Kolektörü Yüzeyinin Hesaplanması ve Seçilmesi" yazılım [9] kullanılacaktır, ayrıca piranomemetreden okunan değerlerle karşılaştırılması düşünülmektedir.

Toplam radyasyon: Direkt, difüz ve yansıtılmış radyasyon miktarlarının eğik yüzey üzerindeki toplamıdır. Direkt ve difüz radyasyon miktarları açı faktörleri ile çarpılarak bulunmaktadır [8] :

$$T_{RA}=DİR .DİRAF+DİF. DİFAF +YYRA.YAO.YAF \text{ (kJ/m}^2\text{gün)} \quad (15)$$

DİR: Direkt radyasyon güneşten direkt olarak gelir, ($kJ/m^2gün$)

DİF: Difüz (yayılmış) ışınlar güneşten direkt olarak gelmez. Bu ışınlar önce havadaki çeşitli partiküllere, su buharına ve bulutlara gelir, daha sonra yansıtılır ($kJ/m^2gün$).

$$DİR= YYRA - DİF \text{ (kJ/m}^2\text{gün)}, \quad (15a)$$

$$DİF=(1 - (1,097.BUF) YYRA \text{ (kJ/m}^2\text{gün)} \quad (15b)$$

$$BUF= YYRA/ AÖRA \quad (15c)$$

AÖRA: Güneş radyasyonunun atmosfer öncesindeki miktarıdır. Her ilin enlem derecesine göre aylık ortalama radyasyon miktarıdır. ($kJ/m^2gün$)

YYRA(Yeryüzü Radyasyonu): Yeryüzüne yatay düzleme gelen radyasyon miktarıdır. ($kJ/m^2gün$)

Açı Faktörlerinin Tespiti : Açılı bir yüzeye gelen radyasyonun yatay düzleme gelen radyasyona oranıdır. Güneşi izlemeyen uygulamalarda kolektör eğim açısı yaz uygulamalarında ilin enlem derecesinden 15^0 çıkartılarak, kış aylarında ise ilin enlem derecesine 15^0 ilave edilerek tespit edilmektedir.Kollektör eğim açısına göre DİFAF ve YAF değerleri Tablo 1'den bulunmaktadır.

Tablo 1. Difüz ve Yansıtılmış Açı Faktörleri [8]

Kollektör Eğim Açısı	DifüzAçı Faktörü (DİFAF)	Yansıtılmış Açı Faktörü (YAF)
0	1.00	0.00
10	0.99	0.01
20	0.97	0.03
30	0.93	0.07
40	0.88	0.12
50	0.82	0.18
60	0.75	0.25
70	0.67	0.33
80	0.59	0.41
90	0.50	0.50

DİFAF (Difüz Radyasyon Açı Faktörü): Kollektör eğim açısına göre değişir. DİFAF yaz uygulamalarında kolektör eğim açısı (enlem derecesi- 15^0), kış uygulaması için (enlem derecesi+ 15^0) alınmalıdır. Tablo 1, arada kalan kolektör eğim açıları için interpolasyon yolu ile DİFAF ve YAF değerleri bulunur. Yazılım ise bu interpolasyonu kendisi yapmaktadır.

YAF (Yansıtma Açısı Faktörü): Kollektör eğim açısına göre değişmektedir. Yaz ve kış uygulamalarında DİFAF'taki uygulama geçerlidir. Tablo 1'den bu açı faktörleri bulunabilir.

YAO (Yansıtma Açısı Oranı): Kollektör montajının yapılacağı zeminin yansıtma oranıdır. YAO, hazırladığımız yazılım tarafından bulunacaktır.

DİRAF(Direkt Radyasyon Açısı Faktörü): İlin enlem derecesine, eğik düzlemin açısına ve aylara göre değişmektedir. DİRAF yaz uygulaması için (enlem derecesi-15⁰), kış uygulaması için (enlem derecesi+15⁰) olarak hazırladığımız yazılım tarafından bulunmaktadır.

Tablo 2. Kollektör Montajının Yapılacağı Zeminlerin YAO [8]

Kollektör Montajının Yapılacağı Zemin	Ortalama YAO %
Taze Kar	0.75
Su Yüzeyi	0.07
Toprak	0.14
Kara Yolu	0.04
Kozalaklı Orman (kışın)	0.07
Sonbahar Ormanı	0.26
Beton Kaplı Zemin	0.22
Yeşil Taze Çim	0.26
Bitümlü Kumlu Çatı	0.13
Kırılmış Taş Yüzeyler	0.20
Bina Yüzeyleri, Koyu(Kırmızı Tuğla vb.)	0.27
Bina Yüzeyleri, Açık(Açık Boyalar, Açık Renkli İnşaat Mlz)	0.60

SONUÇ

Bu çalışmada kurutulacak ürün içerisindeki nemi buharlaştırmak için güneş radyasyonu, ısı pompası gibi yenilenebilir enerji kaynaklarına ilaveten istenilen yüke göre değişken kapasiteli elektrik rezistans desteği sistemin güvenilirliğini artırmakta ayrıca ürün cinsine göre bu destek ideal kurutma sıcaklığını belirlemede önem arz etmektedir.

Hava hızının değişken olması ile ürün sıcaklığı ve cinsine göre birim kütle üzerinden geçirilmesi gereken hava debisinin tespiti de mümkün olacaktır.

Fırın altındaki drenaj kabına evaporatörden yoğunlaşarak toplanan sıvının (ürün nemi+ üründen buharlaşmış ucucu maddeler) kullanılabilirliği konusunda araştırmalar yapılması düşünülmektedir. Portakal, limon, elma, erik vb ürünlerden alkol elde edilmesi gibi.

Bu çalışmaya kaynak bulunduğu taktirde üç boyutlu güneşi takip eden sistem haline dönüştürülmesi, rüzgar ve güneş radyasyonu ile hibrit sistem haline getirilmesi için çalışmalar devam etmektedir.

TEŞEKKÜR

Bu çalışmada fan hız kontrol kartı konusunda katkısı olan Öğ. Gör. Hakan Çıtak'a, kontrol ünitesi montajını yapan Tekniker Halil Tokmak'a teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR

- [1] Garg, H.P., Kumar, R. ve Data, G 1998. Simulation model of the thermal performance of a natural convection-type solar tunnel dryer. International Journal of Energy Research, 22.
- [2] Scanlin, D., 1997. Design, construction and use of a direct through-pass, solar food dryer. Home Power, 57.
- [3] Ertekin, C., Yıldız, O. ve Mühlbauer, W. 2001. İncirin kurutma karakteristiklerinin belirlenmesi ve kuruma davranışının modellenmesi. Tarımsal Mekanizasyon 20. Ulusal Kongresi 13-15 Eylül Şanlıurfa.
- [4] Aktaş, M., Ceylan, İ. Ve Doğan, H. "Sıcaklık, Nem ve Ağırlık Kontrollü Kondenzasyonlu Fındık Kurutma Fırınının Modellenmesi, 4. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu 28-30 Eylül 2005 Selçuk Üniversitesi,
- [5] Ertürk, M., "İklimlendirme ve Soğutma Kavramları Yayınlanmamış Ders Notları" BAÜ BMYO 2000 Ağustos
- [6] Oktay, Z. "Testing of a heat-pump mechanical opener dryer" Applied Thermal Engineering 23 (2003) 153-162
- [7] Oktay, Z. Hepbaşlı, A. "Performance evaluation of heat pump assisted mechanical opener dryer" Energy Conversion and Management 44(2003) 1193-1207
- [8] UYAREL A. Yücel, ÖZ E. Sait "Güneş Enerjisi Uygulamaları" Ankara 1987 Birsen Yayınevi,
- [9] Ertürk M, Okuyan C "Geliştirilen Bilgisayar Programıyla Ülkemizdeki İllere Göre Güneş Kollektörü Yüzeyinin Hesaplanması ve Seçilmesi" 4. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu 28-30 Eylül 2005 Selçuk Üniversitesi,

ÖZGEÇMİŞLER

Mustafa ERTÜRK

1965 Afyon doğumludur. 1987 yılında Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Makine Eğitimi Tesisat Ana Bilim Dalından mezun olmuştur. 1979-1988 yılına kadar baba mesleği olan tesisat sektöründe çalıştı. 1 Aralık 1989'da Balıkesir 100.Yıl Teknik ve EML Tesisat Teknolojisi bölümünde Meslek dersleri öğretmeni olarak göreve başladı, 1995-1997'de bölüm şefi olarak görev yaptı. 1998 yılında Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Eğitimi Bölümünden yüksek lisans derecesini aldı. 6 Nisan 1998'de Balıkesir Meslek Yüksekokulu İklimlendirme ve Soğutma Programında öğretim görevlisi olarak çalışmaya başladı. 2002 yılından bu güne ek görev olarak Teknik Programlar Bölüm Başkan Yardımcılığını da yürütmektedir. İlgilendiği konular Soğutma, Havalandırma, İklimlendirme, Isıtma, Güneş Enerjisi, Isı Pompaları, Doğal gaz, uzaktan e-öğretim ve Lisans-Ön lisans düzeyinde soğutma, iklimlendirme, tesisat alanlarına yönelik eğitim cihazlarının tasarımı, projelendirilmesi ve imalatıdır.

Zuhal OKTAY

1991 yılında Balıkesir Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesinden mezun oldu. 1994 yılında Yüksek Lisans, 1999 yılında Doktora öğrenimini tamamladı. 2006 yılında ise Doçent unvanını elde etti. Halen aynı üniversitede enerji anabilim dalında öğretim üyesi olarak çalışmaktadır. İlgilendiği konular; ekserji, sanayide enerji tasarrufu, ısı pompaları, yenilenebilir enerjidir