

# Havalı Güneş Kolektörlü Ön Kurutucuda Kereste Kurutulması

İlhan CEYLAN, Mustafa AKTAŞ, Hikmet DOĞAN  
Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi, Makine Eğitimi Bölümü  
06500 Teknikokullar, ANKARA

## ÖZET

Bu çalışmada, klasik tip buharlı kereste kurutma fırınları için bir ön kurutma teşkil edecek olan güneş enerjili havalı kolektörlü kurutucu tasarlanmış ve imal edilmiştir. Kerestede bulunan serbest haldeki nemin bu tip bir kurutucuda kontrollü olarak uzaklaştırılması ile klasik buharlı tip kurutma fırınlarının çalışma süresi azalacak ve enerji tasarrufu sağlanacaktır. Kurutma sisteminde, kavak keresteleri %80 gr su/ gr kuru madde nem değerinden, %20 gr su/gr kuru madde nem değerine, 13 saatte getirilmiştir. Aynı sistemde çam keresteleri ise %110 gr su/gr kuru madde nem değerinden %20 gr su/ gr kuru madde nem değerine 19 saatte indirgenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Kurutma, havalı güneş kolektörü, kavak, çam, kurutucu

## Timber Drying in Pre-dryer with Air Solar Collector

### ABSTRACT

In this study, drying kiln which has solar air collector was designed and manufactured in order to form a predrying for classical type steamy timber drying kilns. The energy economy is provided by diminishing the running time of the classical type steamy drying kilns with throwing free moisture in timber. In the drying system, the poplar timber's dry basis moisture content was reduced from 80% g water/ g dry matter to 20% at 13 hours. In the same system, the pine timber's dry basis moisture content was reduced from 110% g water/ g dry matter to 20% at 19 hours.

**Key words:** Drying, solar air collector, poplar, pine, dryer

### 1. GİRİŞ

Enerji maliyetlerinin giderek artması bu alanda güneş enerjisi kullanma olanaklarının araştırılmasını zorunlu hale getirmektedir. Kurutma alanında güneş enerjisinden yararlanmak diğer alanlara göre daha uygulanabilir niteliktedir. Tarımsal ürünlerin ve orman ürünlerinin mevsimlik olarak kurutulması güneş enerjili sistemlerle mümkündür. Tarım ürünlerinin özellikle yaz aylarında yetişmesi ve kurutma sürecinin güneş ışınımının en fazla olduğu dönemlere denk gelmesi bu enerji kaynağının kurutma işlemlerinde rahatlıkla kullanılabileceğini göstermektedir.

Güneş enerjisi kullanımının yeterince yaygınlaşmamasının ana nedeni bu kaynağın sürekli bir enerji kaynağı olmaması ve genellikle uygulamalarda ek enerji kaynaklarına ihtiyaç duyulmasıdır. Bu durum oldukça karmaşık otomatik kontrol mekanizmalarını gerektirmekte ve güneş enerjili sistemleri ek bir yatırım haline sokmaktadır. Tamamen güneş enerjisine dayalı bir sistem düşünüldüğünde enerjinin depolanması zorunlu olmaktadır. Havanın sürekli bulutlu olduğu maksimum süreler hesaplanarak, en az bu sürede bütün enerji gereksinimini karşılayacak bir depo tasarlanabilir. Ancak böyle bir deponun boyutları çok büyük olmakta, otomatik kontrol mekanizmalarının da eklenmesi ile sistem, ekonomikliğini tümüyle yitirmektedir. Bu olumsuz durumu önleyecek çeşitli çözümler akla gelebilir. Örneğin;

güneş enerjisini yoğunlaştırarak, tüketilen enerjinin sıcaklık düzeyinden daha yüksek sıcaklıklarda depolamak düşünülebilir. Bu durum mümkün görünmekle beraber, daha pahalı ve yoğun teknoloji gerektirmekte, sistemin kuruluş maliyeti artmaktadır. Toplanan güneş enerjisi tüm gereksinimi karşılamasa bile, bir ön ısıtma anlayışı içinde ısı ekonomisi yapılabilmektedir. Güneş enerjisinin kullanımını ekonomikleştirecek en önemli alan da budur (1).

Bu çalışmada klasik kurutma fırınlarında kurutma işlemine başlanmadan önce ön kurutma işlemi için, güneş enerjili havalı tip kolektörlü kurutucu dizaynı yapılarak kereste kurutma işleminde deneysel olarak incelenmiştir. Böylelikle klasik kurutma fırınlarının çalışma süresi kısaltılarak, enerji giderleri azaltılacaktır.

### 2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Australian National Üniversitesi'nde Palmer ve Kleinschmidt (1992) tarafından yapılan güneş enerjili fırında kereste kurutulmuştur. Projeyi QLD Ormancılık desteklemiştir ve QLD ormancılığın kullanımına sunulan güney batıdan güneş alan bir kurutma fırını tasarlanmıştır. Fırının dizaynı cam ev prensibine dayandırılmıştır. Güneş ışınımı cam arasından geçtiği zaman ısı olarak muhafaza edilir. Polikarbonat sac levha, silikon ve oluklu köpük ile deliksiz bir şekilde kereste çevrelenerek sabitlenmiş, fırının üç duvarında ve çatının kaplanmasında kullanılmıştır (2). Australian National Üni-

versitesi'nde (1992) güneşli kurutma fırınında güneş kolektörleri ve kereste istifine ısı enerjisini sağlamak için ısı değiştiricileri kullanılmıştır. Güneş kolektörleri metal levhalardan imal edilmiştir. Alçak basınçlı dar ve uzun alan camlı ve ayna şeritlidir. Bu alan atmosfer basıncında çalıştırılmış ve su sıcaklığı 90 °C' nin üzerine çıkabilmiştir. Burada ısınan su depolama tankında kullanılmıştır. Bu tank gün boyunca ve akşamları "ısı bankası" enerji deposu olarak kullanılmıştır (3). Louisiana State University Agricultural merkezinde, Richardson (1997) tarafından güneş enerjisinin kereste kurutma maksadı ile fırınlarda kullanılması için özel bir proje tasarlanmıştır. Güneş enerjili fırında; fırının güney cephe duvarından tek kalınlıktaki koyu camlar ile güneş ışınımı toplanmıştır. Güneş kolektörü olarak fonksiyon görecek olan camların yüzeyi yaklaşık 12.2 m<sup>2</sup>'dir. El-yaf tahtalarının arkasına siyah sac metal levhadan üretilen 4 adet ısı kolektörü bağlanmıştır. Bu ısı kolektörleri kanatlı pencerelerin üstüne bağlanmıştır. Bunlar kurutucu içerisine ısı kolektörlerinden ılık havanın akmasını sağlamıştır (4). University of Otago ve HortResearch (Energy Group Ltd, 2000) işbirliğiyle yapılan çalışmada keresteler yalıtılmış bir fırın içerisinde fan vasıtasıyla hava akımının kereste yığı arasında geçirilmesiyle kurutulmuştur (5). Iowa State Üniversitesi'nde (1983), yarım sera şeklinde bir fırın tasarlanmış, sera etkisi için tek katlı polyester malzeme kullanılmıştır (6). Louisiana State Üniversitesi'nde (1981), 73 m<sup>2</sup> havalı güneş kolektörlerine sahip dışarıya tam kapalı bir fırın yapılmıştır. Hava sirkülasyonu için 60 cm çapında 1.5 hp gücünde fan kullanılmıştır (7). Department of Forestry Australia Üniversitesi'nde (1981), havalı güneş kolektörlü, fırın iç kısmında polyvinal chloride tek katlı film kaplı, iç yüzeylerinin tamamı siyaha boyalı, fırın imalatı yapılmıştır (8). Forest Products Industries Oregon State Üniversitesi'nde (1980), havalı güneş kolektörlü çift katmanlı fiberglas polyester camlı ve iç kısmında ısı deposu olarak siyaha boyanmış alüminyum meşrubat kutuları kullanılan bir fırın imalatı yapılmıştır (9). Forest Sciences Laboratory Illinois Üniversitesi'nde (1982), havalı güneş kolektörlü, 1.5 hp' lik ısı pompası destekli tam kapalı bir fırın imalatı yapılmıştır (10). Federal do Parana Üniversitesi'nde (1981), havalı güneş kolektörlü, diğer kısımları 2 cm kalınlığında 3 katlı PVC film kaplı ve yüzeyleri siyaha boyalı yarı sera tipi bir fırın yapılmıştır. Hava dolaşımı için kuzey duvarında 25 cm x 25 cm büyüklüğünde iki adet fan kullanılmıştır (11). Commonwealth Forestry Institute University of Oxford' da (1983), sera tipi havalı güneş kolektörlü iç kısmı tek katlı plastik malzeme ile kaplı ve duvarların ısıyı absorbe etmesi için siyah metal ile kaplanmış bir fırın yapılmıştır (12). New Mexico Energy Research and Development Institute University of New Mexico' da (1983), 2.8 m<sup>2</sup> lik doğal havalandırılmalı kuzey ve güney duvarları oluklu siyah metal ile kaplı fırın imalatı yapılmıştır (13).

### 3. TEORİK ANALİZ

Ağacın içerdiği nemin, istenilen değere kadar kontrollü bir şekilde ısı işlemlerle indirgenmesi, ağaç malzemenin kurutulması olarak tanımlanır. Ağaç canlı bir orman ürünüdür. Suyun ağaç malzemenin uzaklaştırılması sırasında kalite düşmesine sebep olabilecek faktörlerin giderilerek en kısa ve ekonomik bir yol izlemek temel amaç olmalı ve kurutma işlemi sonunda ağaç malzemenin nemi kullanım yerinin gerektirdiği orana düşürülebilmelidir (14). Ağaç malzemenin neminin uygun olan nem oranına düşürülmesi sırasında kontrol için, ağırlık ölçüm metodu kullanılabileceği gibi elektrikli nem ölçüm cihazlarından da faydalanılabilir. Kerestelerdeki nem tayini, sıcaklığı kontrol edilebilen bir etüvde 100 ± 3 °C'de, 8 saat süre ile kurutulması sonunda birbirini takip eden iki ölçüm sonunda ağırlık değişiminin %1 den az olması durumunda keresteler tam kuru hale gelmiş sayılır.

Bunun için Eşitlik 1. kullanılarak ağırlık değişiminin takibi kurutma süresince ve kurutma sonrasında yapılmalıdır.

Kerestelerdeki tam kuru esasa göre hesaplanan su oranı ;

$$SO_{KA} = \frac{YA - KA}{KA} \quad (1)$$

eşitliği ile hesaplanır.

Keresteler içerisindeki su miktarı için ;

$$K_{H_2O} = \frac{\rho_K v_K (Bn - Sn)}{100} \quad (2)$$

eşitliği kullanılarak hesap yapılabilir.

Güneş kolektörlü kereste kurutucusunun, kolektör üzerine gelen enerji miktarını hesaplamak için;

$$I_{TOP} = [I_{DIR} R] + I_{DIF} \left[ \frac{1 + \cos \beta}{2} \right] + [I_{DIR} + I_{DIF}] r_a \left[ \frac{1 - \cos \beta}{2} \right] \quad (3)$$

eşitliği kullanılabilir (15). Eşitlik'3 deki bilinmeyen değerler ise ;

Direkt ışınım değeri; (16)

$$I_{DIR} = \varphi - I_{DIF} \quad (4)$$

Difüz ışınım değeri;

$$I_{DIF} = [1 - (1,097 \varepsilon)] \varphi \quad (5)$$

Bulanıklık faktörü;

$$\varepsilon = \frac{\varphi}{v} \quad (6)$$

$$R = \frac{\cos \theta}{\cos \theta_2} \quad (7)$$

Deklinasyon açısı; (17)

$$\delta = 23,45 \sin \left[ 360 \frac{284 + n}{365} \right] \quad (8)$$

eşitlikleri yardımı ile hesaplanabilir.

Bulanıklık faktörünün hesaplanmasında kullanılan Ankara ilinin atmosfer öncesi aylık ortalama ışınım değerleri Çizelge 1.'de verilmiştir.

Çizelge 1. Ankara ilinin atmosfer öncesi aylık ortalama ışınım değerleri, [W/m<sup>2</sup>] (17)

Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık
4253	5725	7614	9562	10924	11479	11202	10062	8310	6253	4585	3747

Güneş enerjili havalı kolektörlü kurutucuda, güneş ışınımından kurutma havasına aktarılan enerji;

$$\dot{Q}_{KHV} = u A \rho_h c_h \Delta T$$

Güneş enerjili kurutucunun sistem verimi ise;

$$\eta = \frac{\dot{Q}_{KHV}}{F_k I_{TOP}} \quad (10)$$

eşitlikleri ile hesaplanır.

SMER<sub>sd</sub>, 1kg su kaldırmak için güneşli kurutucuda kullanılan enerjiyi tanımlar ve aşağıdaki eşitlik ile tarif edilir (18,19,20).

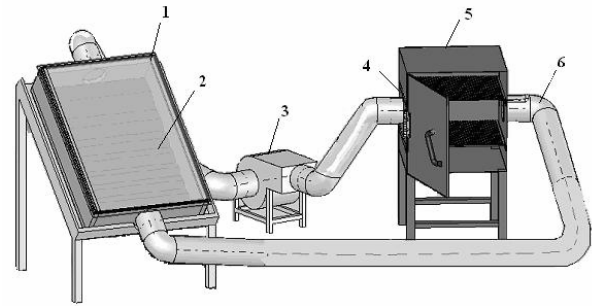
$$SMER_{sd} = \frac{\dot{m}_{sd}}{\dot{W}_F} \quad (11)$$

#### 4. MATERYAL VE METOD

Havalı kolektörlü güneş enerjili kurutucu; havalı kolektör, hava kanalları, fan, ayar damperi ve fırın hacminden oluşmaktadır. Deney sistemi enerji kaynağı olarak havalı güneş kolektöründen aldığı ısıyı kullanacak şekilde tasarlanmış ve imal edilmiştir. Emici plaka olarak iç açılı 30 derece olan ve 1 cm aralıklı yükselen 0.3 mm kalınlığındaki çinko sac mat siyaha

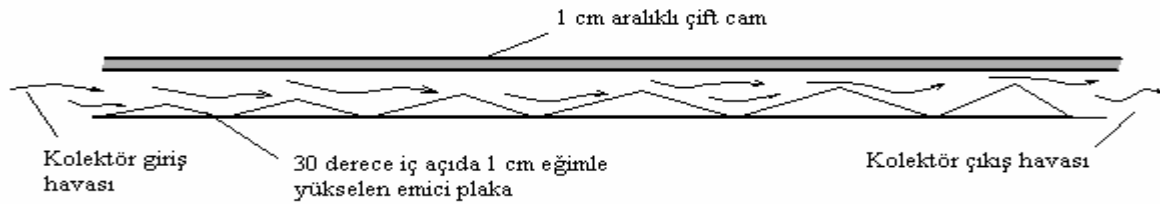
yükselen havanın dışarı atılması yada içerisindeki nemin soğuk yüzeyde yoğunlaştırılması yerine kontrollü olarak çevre havası ile karıştırılan sistem havası,

kurutma sırasında bağıl nemin istenen değerlerde olmasını sağlayacaktır. Tasarımı ve imalatı yapılan fırında, kurutma havası bağıl nemi ve sıcaklığı kolektör çıkışından ölçülerek ayar klapesi "4" yardımıyla sisteme alınacak hava miktarı ayarlanmıştır (Şekil 2). Yapılan ayarlama, kurutma havası sıcaklığını düşürmeden, bağıl nemin düşürülmesine dikkat edilmiştir. Dijital tartı üzerine konulan kerestelerin kütle değişimi fırın içerisindeyken takip edilebilmesi için fırın hacminin bir yüzeyi çift camdan yapılarak içerisinde görülebilmesi sağlanmıştır.



1. Güneş kolektörü 2. Emici plaka 3. Fan  
4. Hava ayar klapesi 5. Kurutma kabini 6. Hava kanalı

Şekil 2. Güneş Enerjili Kereste Kurutma Fırını



Şekil 1. Havalı Güneş Kolektörü Detayı

boyanarak kullanılmıştır. İmal edilen güneş kolektörü detayı Şekil 1.'de görülmektedir.

Emici plaka kolektör girişinden, çıkışına doğru 1 cm aralıklı birbirini gölgelemeyecek şekilde 30 derece iç açıyla yükselmektedir. Bu şekilde kolektör giriş havasının emici plaka ile temas yüzeyi artırılmıştır. Kurutucu içerisindeki kerestelerin nemi havalı güneş kolektöründen aldığı ısı ile buharlaşarak kurutma havasına karışmaktadır. Bu nedenle nemi artan kurutma havasının zamanla nem alma yeteneği azalacaktır. Bu çalışmada bir miktar dış hava sisteme ayar klapesi ile karıştırılarak kurutma işlemi sırasında bağıl nemin artması önlenmiştir. Çevre havası bağıl nemi düşük olan bölgelerde, kurutma işlemi ile birlikte bağıl nemi

#### 5. DENEY SONUÇLARI

Kurutma işlemine başlanmadan önce kerestelerdeki nem tayini, sıcaklığı kontrol edilebilen bir etüvde 100 ± 3 °C'de, 8 saat süre ile kurutulması sonunda yapılmıştır. Eşitlik 1 kullanılarak kavak kerestelerindeki başlangıç nem miktarı %80 (gr su/gr kuru madde) bulunmuştur. Kavak kerestelerinin kurutulmasında çevre havası sıcaklığı ve bağıl nemi ile fırın havası sıcaklığı ve bağıl neminin karşılaştırılması Çizelge 2'de görülmektedir. Çizelge'deki değerler kurutma havası hızının 4.5 m/s olması durumunda oluşturulmuştur. Kavak keresteleri aralıklı kurutma sonucu 3 günlük periyotta tam kuru madde oranına göre %80 başlangıç neminden %20 nemine, 13 saat kurutucu çalışma süresinde getirilmiştir.

Kurutucunun çalıştığı süre zarfında ölçülen değerler Çizelge 2’de görülmektedir.

Çizelge 2. Kavak kerestelerinin kurutulması deneyinde kurutma havasının sıcaklık ve bağıl nemi ile çevre havasının sıcaklık ve bağıl neminin karşılaştırılması

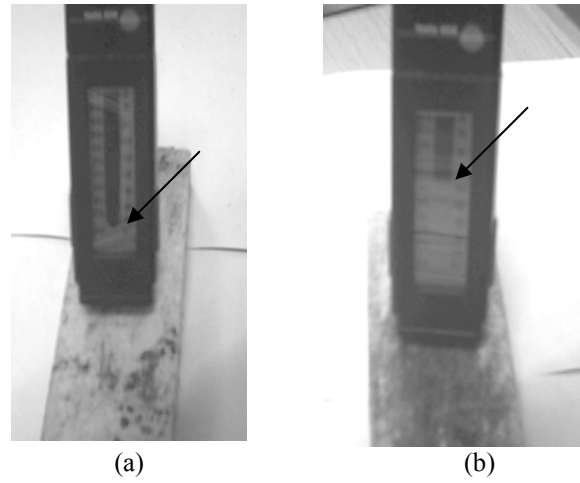
Zaman (saat)	Kurutma havası Sıcaklığı (°C)	Çevre havası sıcaklığı (°C)	Kurutma havası Bağıl Nemi (%)	Çevre havası bağıl nemi (%)
1	26.4	24.2	19.9	21.2
2	26.9	26.4	17.6	19
3	31	29	18.5	17
4	32.2	26.8	17.5	16.2
5	31.2	26.5	21.4	17.4
6	32.5	21	25.5	28.8
7	33.7	18.8	27.2	29.2
8	35.3	21.6	18.2	22.9
9	34	27.2	17.4	18.4
10	35.7	22.6	16.9	18.4
11	36.5	22.1	14.9	19.1
12	34	20.8	16	20.1
13	32	21	17.5	19.8

Çam kerestelerinin başlangıç nemi etüv fırınında  $100 \pm 3$  °C’de 10 saat süre ile kurutulması sonucunda %110 (gr su/gr kuru madde) olarak bulunmuştur. Çam keresteleride 3 günlük periyotta %20 (gr su/gr kuru madde) nemine kadar 19 saat kurutucu çalışma süresinde getirilmiştir. Kurutucunun çalışması sırasında ölçülen değerler Çizelge 3’de verilmiştir.

Çizelge 3. Çam kerestelerinin kurutulması deneyinde kurutma havasının sıcaklık ve bağıl nemi ile çevre havasının sıcaklık ve bağıl neminin karşılaştırılması

Zaman (saat)	Kurutma havası Sıcaklığı (°C)	Çevre havası sıcaklığı (°C)	Kurutma havası Bağıl Nemi (%)	Çevre havası bağıl nemi (%)
1	25	24	25.5	28.2
2	26.9	27.2	23.7	37.4
3	33	29	24.2	36
4	33	26.8	20.6	24.5
5	28	26.5	18.2	22.9
6	21	15	17.5	21.2
7	27.3	18	16.5	18.6
8	29.9	20.4	14.7	18.5
9	30.3	27.1	15.8	18.3
10	30.9	22.6	25.3	37.5
11	29.5	23.9	32.6	46.7
12	30.4	24.8	34.4	45.7
13	18.3	18	30.6	40.2
14	21.6	14.2	23.3	30.4
15	26	16.3	24.8	35.3
16	21.5	16	27.4	36.7
17	24.5	17.6	28.6	41.7
18	25.6	19	23.3	30.4
19	23.1	17	29.7	43

Deney yapılan günler için kolektör yüzeyine gelen güneş ışınımı değeri eşitlik 3, 4, 5, 6, 7 ve 8 kullanılarak hesaplanmıştır. Eşitlik 9’dan da kurutma havasına verilen enerji hesaplanarak eşitlik 10’dan güneş enerjisi sistem verimi ortalama %38 olarak hesaplanmıştır. Ayrıca eşitlik 11’den 1 kg su kaldırmak için güneşli kurutucuda kullanılan enerji ( $SMER_{sd}$ ) 0.2 kg/kWh olarak bulunmuştur. Deneylere başlanmadan önce 3 cm kalınlığındaki kavak keresteleri içerisindeki nem 6-44% nem de 0.01 hassasiyetteki ölçüm cihazı ile ölçülmüştür. Ölçüm cihazı en yüksek %44 oranına kadar numune içerisindeki nemi ölçtüğünden kavak keresteleri içerisindeki başlangıçtaki nemi bu oranın üzerinde çıkmıştır. Ölçüm Şekil 3a.’da görülmektedir. Üç gün süren kurutma işleminden sonra aynı nem ölçüm cihazı ile nem kontrolü yapıldığında kerestelerin içerisindeki nemin %20 olduğu görülmüştür (Şekil 3b).

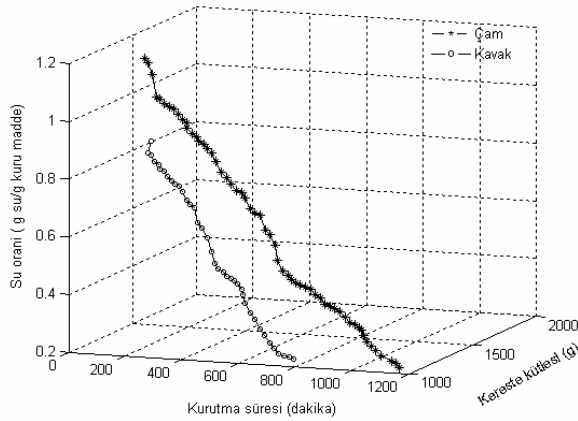


Şekil 3. Kerestenin Kurutma Öncesi (a) ve Sonrası (b) Yapılan Nem Ölçümleri.

Kurutma işlemi sonrasında kavak ve çam kerestelerinin fırın içerisindeyken kütlesi 20 dakikada bir ölçülmüştür. Kütle ölçümlerinde  $6 \text{ kg} * 0,1 / 600 \text{ g} * 0,01 \text{ g}$  hassasiyette dijital tartı kullanılmıştır. Kerestelerin içerisindeki su oranı Eşitlik 1. kullanılarak hesaplanmış ve zamana bağlı olarak kuruma oranı eğrisi Şekil 4.’de gösterilmiştir. Kavak ve çam kerestelerin kurutulmasında güneşli kurutucuda elde edilen deneysel veriler Çizelge 4’de verilmiştir

Çizelge 4. Kurutucuda elde edilen deneysel veriler.

Kereste türü	Başlangıç nem miktarı (gr su/gr kuru madde)	Son nem miktarı (gr su/gr kuru madde)	Kurutma Süresi (Saat)	$SMER_{sd}$ (kg/kWh)
Kavak	% 80	% 20	13	0.2
Çam	% 110	% 20	19	0.21



Şekil 4. Zamana Bağlı Olarak Kerestelerin Kuruma Oranı

## 6. SONUÇ

Tasarımı ve imalatı yapılarak deneysel olarak incelenen güneş enerjili kurutucunun, kereste kurutmada bir ön kurutma anlayışı içerisinde kullanılabileceği görülmüştür. Dış hava bağıl neminin düşük olduğu iklim şartlarında fırın kereste kurutma da daha verimli olarak kullanılabilecektir. Fakat çok düşük bağıl nemde kontrolsüz kurutma işlemi kerestede çatlaklara neden olacağından fırına bir buharlı nemlendirme sistemi ilave edilmesi ile kaliteli ürün eldesi sağlanabilecektir. Ayrıca sistemde kullanılan kolektörün verimi, emici plakanın bakır ya da alüminyum levhadan yapılması ile artırılabilir. Kolektör yüzey alanının genişletilmesi ile küçük ve orta ölçekli fırın ihtiyacı içerisinde olan üreticiye de hitap edebilecektir.

## 7. SEMBOLLER

$SO_{KA}$	Kerestelerdeki nem miktarı (g su / g kuru ağırlık)
$YA$	Kerestelerin kurutulmaya başlanmadan önceki yaş ağırlığı (g)
$KA$	Kerestelerin tam kuru ağırlığı (g)
$K_{H_2O}$	Keresteler içerisindeki su miktarı (g)
$\rho_v$	Kurutulacak kerestenin özgül kütlesi (g/cm <sup>3</sup> )
$V_K$	Kurutulacak kerestelerin toplam hacmi (cm <sup>3</sup> )
$Bn$	Kerestelerin kurutulmaya başlanmadan önceki nem miktarı (%) (g su/g kuru ağırlık)
$Sn$	Kerestelerde kurutma sonrası olması istenen nem miktarı (%) (g su/g kuru ağırlık)
$I_{DIR}$	Direkt radyasyon, (W/m <sup>2</sup> )
$I_{DIF}$	Difüz radyasyon, (W/m <sup>2</sup> )
$\epsilon$	Bulanıklık faktörü
$\phi$	Deneyin yapıldığı gün için ortalama yatay yüzey radyasyon değeri, (W/m <sup>2</sup> )
$v$	Deney yapılan ayın ortalama atmosfer öncesi radyasyon değeri, (W/m <sup>2</sup> )
$r_a$	Eğik düzlem çevresinin toplam güneş radyasyonu için yansıtma katsayısı $\approx 0,2$
$\beta$	Güneş kolektörünün yatayla yaptığı açı, (40°)
$\delta$	Deklasyon açısı

$n$	Hesabı yapılan gün, (takvimde 1 Ocak'tan itibaren kaçınıcı gün ise...)
$\dot{Q}$	Depolanan toplam enerji miktarı, (J/gün)
$F_k$	Kolektör yüzey alanı, (m <sup>2</sup> )
$I_{TOP}$	Kolektör yüzeyine gelen toplam güneş ışınımından elde edilen enerji, (W/m <sup>2</sup> )
$u$	Kurutma havası hızı (m/s)
$A$	Kanal kesit alanı (m <sup>2</sup> )
$\rho_h$	Kurutma havasının yoğunluğu (kg/m <sup>3</sup> )
$c_h$	Havanın özgül ısısı (J/kg K)
$SMER_{sd}$	1 kg su kaldırmak için güneşli kurutucuda kullanılan enerji (kg/kWh)

## 8. KAYNAKLAR

- Ceylan, İ., Güneş Enerjili Kurutma Fırınında Kurutma Havası Neminin Kontrolü, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Karabük Teknik Eğitim Fakültesi, Karabük, s.20-100, 2002.
- Palmer, Kleinschmidt, Solar kiln drying of timber, a new solar powered kiln designed note, At The Australian National University, s. 2-3, 1992.
- Australian National University Staff, Solar kiln drying of timber, a new solar powered kiln designed, Australian National University, 1992.
- Richardson, B., Seasoning to prevent defects in green wood, guide, Louisiana State University Agricultural Center, USA, s.16-17, 1997.
- Energy Group Ltd., Guidelines for operating dehumidifier timber kilns, University of Otago And Hortresearch New Zealand, 2000.
- Prestemon, D., "Solar lumber drying", Forestry Extension Notes, F-347., Article., Iowa State University Ames ., USA., 1983.
- Lumley, T., G., E., T., Choong, "Solar drying of wood in Louisiana", Agricultural Experiment Station Bulletin, nu. 732, Louisiana State University (Baton Rouge), 55p, Usa., 1981.
- Gough, D., K., "Timber seasoning in a solar kiln" Article., Technical paper no 24., Department of Forestry, Queensland 6p., Australia., 1981.
- Mc Cormick, P., O., "Solar heating system for kiln drying lumber", Sunworld 4(6), 204-207., Article., New energy for old kilns, Wood&Wood Products (March):69-70, Usa., 1980.
- Chen, P., Y. S., W.A. Helwer., H. N. Roen and D.J. Barton., "Experimetal Solar Dehumidifier Kiln For Lumber Drying", Article., Forest Products J, 32(9): 35-41., Southern Illinois University., USA, 1982.
- Santine., E., J., "Secagem de Madeira serada em estufa solar e sua comparacao com os metodos convencionais", Revista Floresta, 5-13., Article., Brazil., 1981.
- Plumtre, R., A., "Solar kilns, their suitability for developing countries" Article, Technical Meeting, Selection of Woodworking Machinery. Vienna. 30p., University of Oxfort., England., 1983.

13. Robbins., A., M., “Solar lumber kilns”, Article., New Mexico Energy Research and Development Institute, 17p., University of New Mexico., USA., 1983.
14. Öz, E.S., Güneş enerjili kondenzasyonlu bir kurutma fırınında kereste kurutulması, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, Ankara, s, 2-14, 1988.
15. Reddy, T., A., “The Design and Sizing of Active Solar Thermal Systems”, Oxford University Press, New York, s.4-10, 1987.
16. Aktaş, M., “Güneş Enerjili Tabii Sirkülasyonlu Dolaylı Sıcak Su Hazırlama Sistemlerinde Kanatçık Optimizasyonu”, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, s.53-99, 2003.
17. Uyarel, A., Y., Öz, E., S., “Güneş Enerjisi ve Uygulamaları”, Emel Matbaacılık, Ankara, s.66, 1987.
18. Schmidt EL, Klocker K, Flacke N, Steimle F. “Applying the transcritical CO<sub>2</sub> process to a drying heat pump”. Int J Refrig. 21(3):202–11, 1998.
19. Hawlader MNA, Bong TY, Yang Y. “A simulation and performance analysis of a heat pump batch dryer” In Mujumdar AS, Series editor. Proceedings of the 11th International Drying Symposium, Halkidiki, Greece, August 19–22., s.208–15, 1998.
20. Jia X, Jolly P, Clemets S. “Heat pump assisted continuous drying part 2: Simulation results”. Int J Energy Res.14:771–82, 1990.