



POLİTEKNİK DERGİSİ

JOURNAL of POLYTECHNIC

ISSN: 1302-0900 (PRINT), ISSN: 2147-9429 (ONLINE)

URL: <http://dergipark.org.tr/politeknik>



Kereste kurutmada enerji verimliliği - güneş enerjisi ile kızılçam (*pinus brutia*) kerestesi kurutma örneği

*Energy efficiency in lumber drying -sample of drying red pine (*pinus brutia*) using solar energy*

Yazar(lar) (Author(s)): Hasan KORKMAZ¹, Öner ÜNSAL², Hızır Volkan GÖRGÜN², Erkan AVCI⁴

ORCID¹: 0000-0001-8982-306X

ORCID²: 0000-0001-7562-6727

ORCID³: 0000-0002-2537-2105

ORCID⁴: 0000-0002-1475-4028

Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz (To cite to this article): Korkmaz H., Ünsal Ö., Görgün H. V. ve Avcı E., “Kereste kurutmada enerji verimliliği - güneş enerjisi ile kızılçam (*pinus brutia*) kerestesi kurutma örneği”, *Politeknik Dergisi*, 23(3): 671-676, (2020).

Erişim linki (To link to this article): <http://dergipark.org.tr/politeknik/archive>

DOI: 10.2339/politeknik.528103

Kereste Kurutmada Enerji Verimliliği - Güneş Enerjisi ile Kızılcam (*Pinus brutia*) Kerestesi Kurutma Örneği (TR)

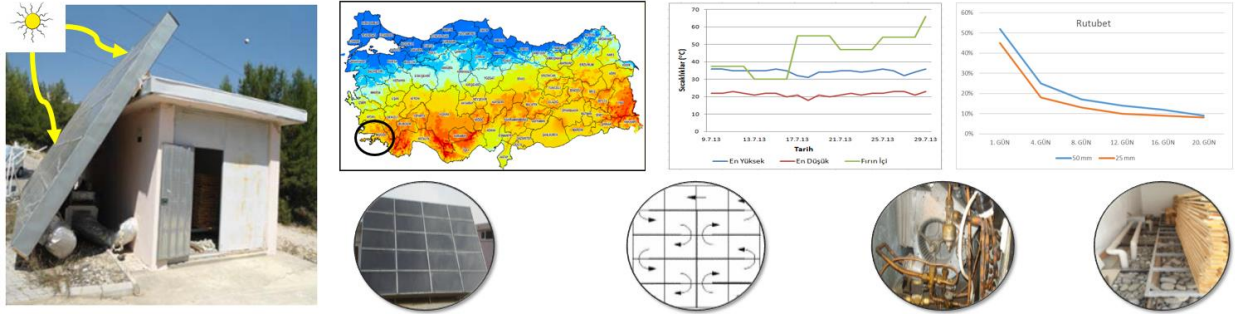
Energy Efficiency in Lumber Drying -Sample of Drying Red Pine (*Pinus brutia*) Using Solar Energy (EN)

Önemli noktalar (Highlights)

- ❖ Güneş ışınım enerjisinin yeterli olduğu bölge ve mevsimlerde, kurutma maliyetlerinden büyük oranda tasarruf edileceği söylenebilir. (TR) / It can be said that in regions and seasons where solar radiation energy is sufficient, drying costs will be greatly saved. (EN)
- ❖ Bu yöntemle endüstriyel tip fırınlardaki kalitede kereste kurutulabileceği söylenebilir. (TR) / It can be said that the similar quality as in industrial kilns can be reached with this method. (EN)
- ❖ Bu çalışmadaki kurutma nispeten daha uzun sürmesine karşın, çeşitli iyileştirmelerle daha da kısaltılabilir. (TR) / Although the drying in this study took relatively longer, it can be shortened further with various improvements. (EN)
- ❖ Sonuçlar, güneş enerjisi şartlar uygun olduğu takdirde, diğer ısı kaynaklarına iyi bir alternatif olabileceğini göstermiştir. (TR) / The results showed that solar energy can be a good alternative to other heat sources if the conditions are suitable. (EN)

Grafik Özet (Graphical Abstract)

Muğla-Türkiye'de yapılan bu çalışmada, 25 ve 50 mm kalınlığındaki Kızılcam (*Pinus brutia*) keresteleri, 20 günde güneş ışınım enerjisi kullanan hava kolektörlü bir fırında %10 rutubete kadar kurutulabilmiştir.



Şekil. Güneş enerjisiyle kereste kurutma / **Figure.** Lumber drying with solar energy

Amaç (Aim)

Kereste kurutulmasında için güneş enerjisinin denenmesi amaçlanmıştır (TR). / It is aimed to try solar energy for drying lumber (EN).

Tasarım ve Yöntem (Design & Methodology)

Güneş enerjisi kullanan hava kolektörlü bir fırında 25 ve 50 mm kalınlığındaki Kızılcam keresteleri kurutulmuştur (TR). / A kiln using solar energy and air collector were used for 25 and 50 mm thick red pine lumber (EN).

Özgünlük (Originality)

Muğla-Türkiye'de kısa sürelerde güneş enerjisiyle kereste kurutulabilmiştir (TR). / Lumber could be dried in a short time with solar energy in Muğla-Turkey (EN).

Bulgular (Findings)

Keresteler 20 günde %50'den %10 rutubete, sadece fanın enerji tüketimiyle kurutulabilmiştir (TR). / Lumber could be dried in 20 days from 50% humidity to 10%, with only the energy consumption of the fan. (EN).

Sonuç (Conclusion)

Diğer ısı kaynaklarına göre güneş enerjisi, hem maliyet hem de temiz olmasından dolayı iyi bir alternatiftir (TR). / Compared to other heat sources, solar energy is a good alternative because it is both cost and clean. (EN).

Etik Standartların Beyanı (Declaration of Ethical Standards)

Bu makalenin yazar(lar)ı çalışmalarında kullandıkları materyal ve yöntemlerin etik kurul izni ve/veya yasal-özel bir izin gerektirmediğini beyan ederler. / The author(s) of this article declare that the materials and methods used in this study do not require ethical committee permission and/or legal-special permission.

Kereste Kurutmada Enerji Verimliliği - Güneş Enerjisi İle Kızılçam (*Pinus brutia*) Kerestesi Kurutma Örneği

Araştırma Makalesi / Research Article

Hasan KORKMAZ¹, Öner ÜNSAL², Hızır Volkan GÖRGÜN², Erkan AVCI³

¹Orman Endüstri Yüksek Mühendisi

²Orman Fakültesi, Orman Endüstri Müh. Bölümü, İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa, Türkiye

³Teknoloji Fakültesi, Ağaç İşleri Endüstri Mühendisliği Bölümü, Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, Türkiye

(Geliş/Received : 16.02.2019 ; Kabul/Accepted : 18.07.2019)

ÖZ

Enerji temini ve maliyeti her geçen gün daha çok ön plana çıkmaktadır. Bununla birlikte üretiminde ve tüketiminde çevreye olan etkileri de, maliyet ve temini kadar önemli hale gelmiştir. Bu yüzden mevcut enerji türlerine alternatif olarak rüzgâr, güneş, dalga gibi doğal ve sürdürülebilir enerji kaynakları yerini almaya başlamıştır. Enerji kullanımındaki bu değişim, ahşap endüstrisine de yansımaktadır.

Bu çalışmada, masif ahşabın kurutulması için ısı kaynağı olarak güneş enerjisini kullanan bir kurutma fırının kurutma performansı incelenmiştir. Bu kapsamda güneş enerjisi bakımından nispeten önemli bölgelerden olan Muğla şehrinde yer alan güneş kolektörlü bir fırında, iki farklı kalınlıktaki Kızılçam keresteleri kurutulmuştur. Yapılan denemeler sonucunda; istenen sonuç rutubetine, büyük oranda kereste kalitesi korunarak ulaşılmıştır. Diğer yöntemlere oranla biraz daha uzun sürede kurutulmalarına karşın, en az %30 enerji tasarrufu sağlandığı söylenebilir. Sonuç olarak bu alanda kullanılan diğer enerji türleriyle karşılaştırıldığında, temiz bir enerji türü olan güneş enerjisi ile düşük maliyetli ve kaliteli bir kurutma yapılabildiği görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Güneş enerjisi, kızılçam, kereste kurutma, enerji verimliliği.

Energy Efficiency in Lumber Drying - Sample of Drying Red Pine (*Pinus brutia*) Using Solar Energy

ABSTRACT

Energy supply and cost come to the forefront more with each passing day. However, the impacts on the environment in the production and consumption have become important as cost and supply. Therefore, wind, solar, wave etc. began to take their place as natural and sustainable with being alternative energy sources. This change in energy use is also reflected in the wood industry.

In this study, the performance of drying kiln using solar energy as a heat source was investigated. In this context, Red Pine lumbers with two different thickness groups were dried in a solar kiln located Muğla where is relatively important region about solar energy. The results showed that the desired final moisture contents were achieved by substantially maintaining the lumber quality. Although the drying duration a bit longer than other methods, it can be said that at least 30% energy saving was provided. As a result, compared to other energy types used in drying kilns, it has been seen that drying operations with low cost and good quality can be performed with solar energy which can be described as a clean energy type.

Keywords: Solar energy, red pine, lumber drying, energy efficiency

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Ahşabın kaynağı olan ağaç, dikili halde kuru ağırlığının yaklaşık 2 katı kadar rutubete sahiptir. Biçme işlemleri sonunda bu rutubet, beklemeden de kaynaklanan kayıplarla birlikte daha düşük seviyelere inmektedir. Ancak bu rutubet seviyeleri, ahşabın son kullanım yerindeki ortam şartlarında boyutsal stabilitesini etkileyecek niteliktedir. Çünkü higroskopik bir malzeme olan ahşap, bulunduğu ortamın sıcaklık ve bağıl nemine bağlı olarak boyutlarını değiştirebilmektedir. Bu yüzden ahşabın son ürün olarak değerlendirilebilmesi için, kurutma aşaması vazgeçilmez bir unsurdur.

Ahşabın doğrudan doğruya açıkta bırakılarak yapılan doğal kurutma yönteminde, ortam şartlarının kontrol edilememesi sonucu oluşan kurutuma kalitesinin düşüklüğü, istenen rutubet seviyelerine inilememesi, kurutma süresinin uzun olması gibi dezavantajlar bulunmaktadır. Geliştirilen teknik kurutma yöntemlerinde ortam şartları kontrol edilmesiyle bu dezavantajların en aza indirgenmesi amaçlanmaktadır ancak kontrol mekanizması için gerekli olan enerji ihtiyacı, kurutma maliyetini arttırmaktadır. Kurutmada enerji tüketimi ağaç türü, kalınlığı, sonuç rutubet derecesine ve istenilen kaliteye bağlı olarak genellikle 600-1200 kWh/m³ arasında değişmektedir [1, 2, 3, 4, 5]. Bu enerjinin kullanım dağılımına bakıldığında ise; Kantay'a göre [6], klasik kurutmada fırının ısıtılması için

*Sorumlu Yazar (Corresponding Author)
e-posta : onsal@istanbul.edu.tr

%10–25 elektrik ve % 75–90 ısı enerjisi kullanılmaktadır. Özellikle ısıtmada kullanılan fosil kökenli veya ahşap artıkları gibi yakıtların çevreye olumsuz etkileri de bulunmaktadır. Ayrıca Özalp ve Ordu [7] tarafından yapılan çalışmada, elektrik enerjisi ve diğer fosil bazlı kömür ve fuel-oil'in maliyetlerinin, diğer enerji türlerine göre yüksek olduğu belirtilmektedir. Bu tür nedenlerden dolayı, teknik kurutma yöntemlerinde alternatif enerji kaynaklarının kullanılması araştırılmaya başlanmıştır ve yapılan çalışmaların, avantajlarından dolayı güneş enerjisinde yoğunlaştığı söylenebilir [8, 9, 10, 11, 12, 13, 14].

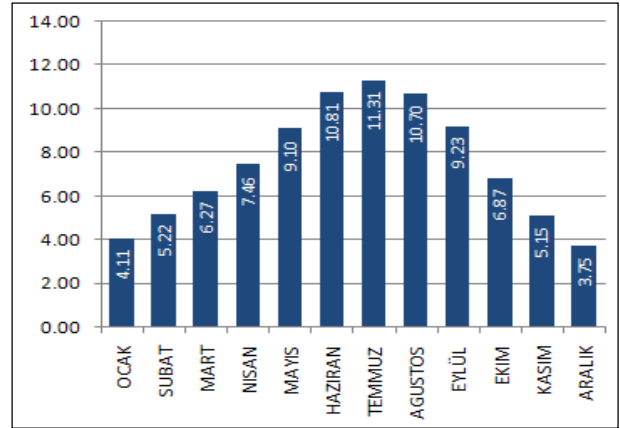
Doğalgaz, kömür gibi fosil kökenli yakıtların maliyetindeki artışla birlikte çevreye olumsuz etkileri sebebiyle, alternatif enerji kaynaklarına yönelim olmuştur. Bu amaçla jeotermal, rüzgâr, dalga, güneş gibi doğal, temiz ve yenilenebilir enerji kaynaklarının değerlendirilmesi ile ilgili çalışmalar yapılmaktadır. Bu kaynaklardan güneş enerjisi, mevsime ve coğrafi şartlara göre değişen etki oranına karşın, diğer kaynaklara göre teminin kolay olması, sürekliliğinin bulunması, yüksek yatırım maliyetleri gerektirmeyen temiz bir enerji kaynağıdır. Ayrıca fotovoltaik devreler, akışkanlı kolektörler gibi çeşitli araçlarla ısı, elektrik enerjisi gibi farklı enerji türlerine de verimli bir şekilde dönüştürülebilmektedir. Bu yüzden birçok alanda alternatif enerji kaynağı olarak tercih edilmektedir.

Bu çalışmada ahşabın teknik yöntemle kurutulması için alternatif enerji kaynaklarından güneş enerjisinin kullanılmasıyla, enerji maliyetlerinin ve kurutma sırasında çevreye verilen zararların azaltılması amaçlanmıştır.

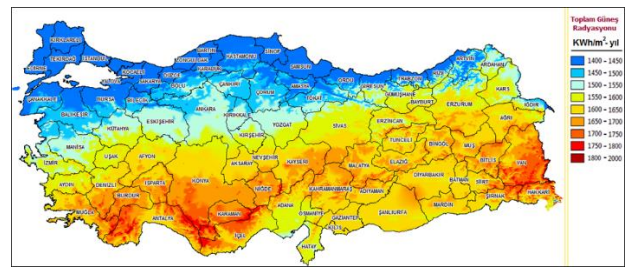
2. MATERYAL VE METOD (MATERIAL and METHOD)

Bu çalışma kapsamında güneş enerjisi, kereste kurutma için ısı kaynağı olarak tercih edilmiştir. Etkin olarak kullanılabilmesi için, güneşlenme süresi ve güneş radyasyonu kriterleri dikkate alınmıştır. Şekil 1'de görüldüğü üzere, Türkiye'de güneşlenme süreleri en fazla yaz aylarında olduğu için, çalışmanın bu aylarda yapılmasına karar verilmiştir.

Şekil 2'de görüleceği üzere, Türkiye'nin güney kısmında kalan bölgeleri güneş ışınım şiddeti bakımından ön plana çıkmaktadır. Bu doğrultuda Tarımer ve ark. [16] tarafından DPT 2002-124702 No.lu proje kapsamında yapılan güneş enerjili ve yağışmalı bir kurutma fırını da yer aldığı için çalışmaların Muğla ilinde yapılması planlanmıştır.



Şekil 1. Aylara göre Türkiye'de güneşlenme süreleri (Saat) [15] (Sunshine duration (Hour) in Turkey by months)



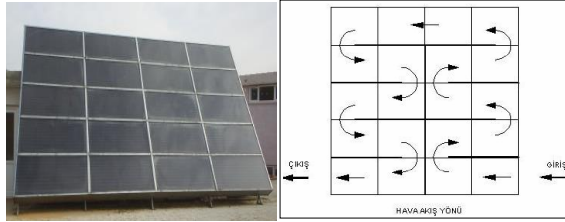
Şekil 2. Türkiye'nin güneş enerjisi potansiyeli atlası (GEPA) [15] (Solar energy potential atlas of Turkey (SEPA))

Kereste tercihinde ise, Batı Anadolu ve Akdeniz bölgesindeki geniş yayılışından ve odununun tel direği, maden direği yapı malzemesi, yat ve tekne yapımı, ambalaj sandığı gibi çok değişik alanlarda kullanılabilmesinden dolayı [17, 18] Kızılcım (Pinus brutia) türü seçilmiştir. Bu çalışma kapsamında kullanılan kereste boyutları, miktarları ve ortalama rutubetleri Çizelge 1'de gösterilmiştir. Kerestelerin rutubet miktarları direnç tipi rutubet ölçüm cihazı ile TS EN 13183-2 [19] standardına göre yapılmıştır.

Kurutmanın gerçekleştirildiği kurutma fırınının 40 m³ hacmi bulunmaktadır ve 40 m² yüzey alanı bulunan güneş kolektörüne sahiptir. Şekil 3'te de yer alan kolektörden sağlanan sıcak hava fan yardımıyla fırın içerisinde dolaştırılmaktadır. Sabit durumda olan güneş panelinin gün ışığından en iyi verimi alabilmesi için, güneye bakar durumda ve yer ile 45°'lik bir açı yapacak şekilde yerleştirilmiştir. Bu panel 20 ayrı odacıktan meydana gelmektedir ve giriş kısmından alınan hava uygun yönlendirmeler sayesinde bütün odacıklardan dolaşarak ısınması sağlanmakta ve kurutma fırınının içerisine gönderilmektedir.

Çizelge 1. Kullanılan kereste boyutları, miktarları ve ortalama rutubetleri (Lumber dimensions, quantities and average moisture contents)

Kereste Boyutları (cm)			Kereste Adedi	Rutubet (Ort. %)
Uzunluk	Genişlik	Kalınlık		
200	10	2.5	130	52
		5	70	45



Şekil 3. Kurutma fırını, Güneş panelleri, panellerdeki hava akış yönü (Drying kiln, Solar panels, Air flow direction in solar panels)

Hava hareketi için, 1.1 kWh'lık elektrik enerjisine ihtiyaç duyan radyal fan kullanılmıştır. Güneş kolektörü aracılığıyla elde edilen enerjinin depolanarak, gün ışığının olmadığı zamanlarda kullanılabilmesi için, borular vasıtasıyla çeşitli taşlardan oluşan zemine yönlendirilmiştir (Şekil 4).

Yapılan kurutmanın kalitesinin değerlendirilebilmesi için, 50 mm kalınlıktaki kerestelerde rutubet meylı (iç ve dış rutubet farkı) ve tüm kerestelerde EDG (European Drying Group - Avrupa Kurutma Grubu) [20] değerlendirme kriterleri referans alınmıştır.

Kurutma süresi ve kalitesi, yoğunlukla sıkı bir ilişki içerisinde olduğundan, Kızılcım kerestesinin kullanılmadığı çalışmalarda, benzer yoğunluktaki ağaç türleri referans alınmıştır. Bununla birlikte Vanicek firmasının belirtmiş olduğu referans değerler sadece esas kurutma periyodu için geçerlidir. Tüm kurutma süresi için; ağaç türü, kereste kalınlığı gibi faktörlere göre değişse de her bir kurutma için ortalama ısıtma, derinlere kadar ısıtma ve denkleştirme periyotları adına 60 saat ilave edilebilir (Eşitlik 1).

$$\dot{K}S = [(BR - SR) \times 100] \times (SKY) \times (KKK) + 60 \quad (1)$$

Çizelge 2. Vanicek firmasına göre ideal kurutma süresi hesabı [23] (Ideal drying time formula according to Vanicek company)

Saatlik Kuruma Yüzdesi	Referans Değer	
	Tam Kuru Yoğunluk 400-600 kg/m ³	1.00 - 0.50
Kızılcım Yoğunluk 488 kg/m ³ [24]	0.78	
Kereste Kalınlığına Göre Çarpım Katsayısı	25 mm	1.00
	50 mm	2.83

Çizelge 3. Kurutma sırasında oluşan güneş ışınım enerjisi değerleri [25] (Solar energy values during drying)

Güneşlenme Tipi	Dünya'ya gelen (Global)	Açık Gökyüzü (Clearsky)	Direkt (Direct)	Yansıyan (Diffuse)
Enerji (W/m ²)	997	983	836	143



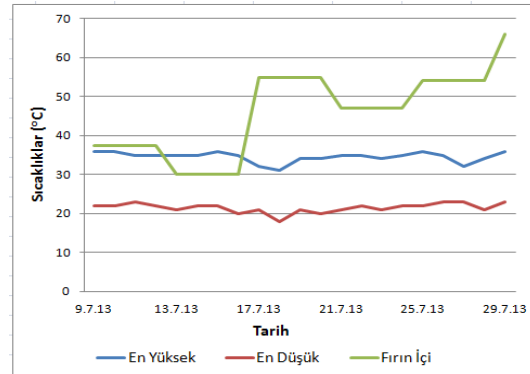
Şekil 4. Nem alma ünitesinin içerisinde sirkülasyon pompası ve evaporatör, Kurutma fırınının iç görünüşü, (Circulating pump inside dehumidification unit and evaporator, Inside view of drying kiln)

Burada; İdeal Kurutma Süresi (İKS, saat), Başlangıç Rutubeti (BR, %), Sonuç Rutubeti (SR, %), Saatlik Kuruma Yüzdesi (SKY), Kereste Kalınlığına Göre Katsayı (KKK).

3. BULGULAR (RESULTS)

Kurutma sırasında oluşan fırının bulunduğu bölgede elde edilen güneş ışınım enerjisi değerleri aşağıdaki çizelgede yer almaktadır (Çizelge 3) [25].

Kurutma sırasında dış ortamda ve fırın içerisindeki havanın sıcaklık değerleri Şekil 5'te görülmektedir. Sıcaklık değerleri, yapılan ölçümlerle birlikte, internette yer alan hava durumu bilgileriyle karşılaştırılarak teyit edilmiştir [26].



Şekil 5. Kurutma süresinde hava ve fırın içindeki sıcaklıklar (Environmental and drying kiln temperatures during drying)

Şekil 5'e göre, ilk 7 günde fırın içinde beklenen sıcaklık artışı sağlanamamıştır. Bu sebeple güneş kolektöründen gelen hava, direkt fırın içerisine yönlendirilmiştir. Bu nedenle 8. günden itibaren dış ortam sıcaklığından ortalama 20°C daha yüksek sıcaklıklar elde edildiği söylenebilir.

Çizelge 4'e göre, benzer rutubetler dikkate alındığında, 25 mm kalınlığındaki kerestelerin %13 rutubete 8 günde, 50 mm kalınlığındaki kerestelerin ise %12 rutubete 16 günde ulaştığı görülmektedir.

Kurutma sırasında harcanan enerji incelemek için, sadece sıcak hava dolaşımını sağlayan fanın elektrik tüketimi incelenmiştir. Fanın günlük elektrik tüketimi, günde 24 saat aralıksız çalıştığı için, 26.4 kWh olarak hesaplanmıştır. Bu değer ışığında, kurutma sonucu oluşan elektrik tüketimi Çizelge 5'te gösterilmiştir.

Çizelge 5'te de görüleceği üzere, bu fırında bulunan kerestelerin %12 sonuç rutubetine gelebilmesi için, en fazla 422.4 kWh elektrik enerjisi tüketilmiştir. Ayrıca yapılan kurutmaları süre bakımından değerlendirmek için, Vanicek firmasının ideal tüm kurutma süresi değerleri de hesaplanmıştır. Buna göre, bu çalışmada kullanılan Kızılcım kerestesinin 25 mm kalınlığı için 101 saat, 50 mm kalınlığı için de 205 saat olarak referans alınabileceği söylenebilir. Ancak bu çalışmada 25 mm kalınlığındaki keresteler 192 saatte, 50 mm kalınlığındaki keresteler ise 384 saatte kurutulduğu Çizelge 4'te görülmektedir.

Kurutma kalitesini incelemek için yapılan ölçümlerde; ortalama %0.66 (max. %0.8) rutubet meydana geldiği tespit edilmiştir. Bu değerler de kurutmaya bağlı bir kusur oluşması için belirlenen sınır değerlerinin [28, 29] oldukça altındadır. Bu sonuca paralel olarak, kurutma sonucunda bazı kerestelerde çatlaklar ve şekil değişimleri tespit edilmesine karşın, yapılan ölçümler sonucu EDG kriterlerine [20] göre en iyi sınıfta (Exclusive – Özel Amaçlı) kurutma yapıldığı tespit edilmiştir (Şekil 6).

5. SONUÇLAR VE TARTIŞMA (RESULTS AND DISCUSSION)

Bu çalışma kapsamında Lif doygunluğu noktası (LDN) üzeri başlangıç rutubetlerindeki kerestelerin, %8 gibi düşük rutubet kademelerine ulaşabilmesi ve ulaşırken kereste kalitesinin korunması nedeniyle, kurutmaların nispeten başarıyla gerçekleştiği söylenebilir.

Çizelge 4. Kurutma sırasında oluşan güneş ışınım enerjisi değerleri [25] (Solar energy values during drying)

Kalınlık (mm)	1. GÜN	4. GÜN	8. GÜN	12. GÜN	16. GÜN	20. GÜN
50	%52	%25	%17	%14	%12	%9
25	%45	%18	%13	%10	%9	%8

Çizelge 5. Güneş enerjisiyle kurutma yönteminde elektrik tüketimi (Electricity consumption in solar drying experiment)

Kalınlık (mm)	Başlangıç Rutubeti (%)	Sonuç Rutubeti (%)	Süre (gün)	Elektrik Tüketimi (kWh)	Enerjiye Bağlı Gider* (TL)
50	52	12	16	422.4	74.85
25	45	13	8	211.2	37.43



Şekil 6. Bazı Kerestelerde Oluşan Çatlaklar, Burulma ve genel istif görünümü (Crack and twist deflections in some lumbers and general stack overview)

Doğal kurutma denemelerinde ise literatür ile uyumlu bir şekilde, benzer rutubet kademelerine daha uzun sürede inebileceği tespit edilmiştir. Ayrıca doğal kurutmanın barındırdığı riskler nedeniyle, her kurutmada da kereste kalitesinin korunabileceği söylenemez.

Bununla birlikte yapılan kurutmaları süre açısından değerlendirmek için diğer çalışmalar ve referans değerlere bakıldığında, nispeten daha uzun sürelerde gerçekleştiği söylenebilir. Kurutma fırını üretici firmalarından Brunner-Hildebrand [22] tarafından, Kızılcım ile benzer yoğunluğa sahip Ladin türünün 52 mm kalınlığındaki keresteleri için, benzer başlangıç rutubetlerinden %8 sonuç rutubetine yaklaşık 9 günde kurutulabileceği belirtilmesine karşın, bu çalışmada 16 günde kurutulmuştur. Diğer bir üretici firma olan Vanicek'in hesap tablosuna göre, bu çalışmada kullanılan keresteler için ideal tüm kurutma süresi 205 saat olarak belirtilmesine karşın, yapılan denemelerde kurutmalar 384 saatte gerçekleşmiştir. Her iki üreticinin referans aldığı süreler, tam otomatik yönetime sahip geleneksel kurutma fırınlarına göre olduğu için, süre uzunluğunun fırın ve kurutma yönetim türünden kaynaklandığı söylenebilir.

Bu çalışmanın, güneş enerjisinden etkin bir şekilde yararlanma durumunun incelenebilmesi için, yapılan diğer çalışmalarla karşılaştırılması gerekmektedir. Erdiller vd. [9] tarafından Ankara, Türkiye’de gerçekleştirilen çalışmada, 25x100x1100 mm boyutlarındaki Ak kavak keresteleri ortalama %43 başlangıç rutubetinden 18 günde %9.5 sonuç rutubetine indiği belirtilmektedir. Bu çalışmada ise farklı bir ağaç türü kullanılmasına karşın, benzer şartlarda 15 günde kurutma yapılabilmektedir. Üçüncü [10] tarafından, 41° Kuzey enleminde Trabzon, Türkiye’de gerçekleştirilen çalışmada, 50 mm kalınlıktaki Doğu Ladini kerestelerinin güneş enerjisiyle benzer rutubet seviyelerine 30 günde indiği belirtilmektedir. Her iki çalışmada [9, 10], bu çalışmaya oranla Muğla’ya göre güneş ışınım şiddetinin daha düşük olduğu bölgelerde gerçekleştirilmesinden dolayı daha uzun sürelerde kurutmaların yapıldığı söylenebilir.

Çinar [30] tarafından yapılan çalışmada aynı fırın günde 8 saat çalıştırılarak, 40x110x500 mm ebatlarında ve %30 başlangıç nemine sahip 12 adet Kızılçam kerestesi kurutulmuştur. Bu metnin konusu olan çalışmada ise daha kalın (5cm > 4cm) ve daha yüksek başlangıç rutubetine sahip (%52 > %30) keresteler kullanılmasına karşın, nispeten aynı sürede (14 gün ≈ 16 gün) benzer (%12 ≈ %11) rutubetlere kadar kurumalar gerçekleşmiştir. Diğer çalışmanın nispeten daha düşük güneş ışınım şiddetine sahip Mayıs ayında gerçekleştirilmesi, hava yönlendirmesi yapılmaması, kondenzasyon cihazının çalıştırılmaması gibi etkenlerin, sonuçlardaki farklılığa neden olduğu söylenebilir.

Ayrıca bu çalışmadaki kurutma değerlendirilirken, hava yönlendirmenin etkisinin göz ardı edilmemesi gerekmektedir. Çalışmanın 8. gününden itibaren dış ortam sıcaklığı ile fırın içerisindeki sıcaklık arasında ortalama 20oC fark olduğu görülmektedir. Bu durum çalışmanın yapıldığı Muğla bölgesinde ve yaz mevsiminde güneş kolektörünün etkin bir şekilde çalıştığı bir göstergesidir. Ancak ilk 7 günde sıcaklığın beklenenden düşük olması, ısı depolaması için kullanılan zemin taşlarının uygun olmaması nedeniyle sıcaklık artışının engellediği ve bunun özellikle kurutma süresi için dezavantaj oluşturduğu söylenebilir. Bununla birlikte, kurutma programlarında, kurutmaya bağlı bir kusur oluşmaması için LDN üzeri daha koruyucu şartlar uygulanmaktadır. Bu çalışmada hava yönlendirilmesindeki değişimle bu ayırımı gerçekleştirdiği ve sonuç olarak da kereste kalitesinin korunduğu söylenebilir. Buna karşın optimum şartların sağlanabilmesi için tam otomatik yönetim sistemiyle kerestelerin LDN’ye ulaşma durumu takip edilmeli ve buna bağlı sıcaklıkla birlikte ortam bağıl neminin de kontrol edilmesi gerekmektedir. Bu durum bir dezavantaj gibi gözükse de, bu çalışmada elde edilen sonuçlardan daha iyi sonuçlar elde edilebileceğinin bir göstergesi olduğu söylenebilir. Ancak kontrol ve nemlendirme sistemi, kurutmada harcanan enerjiyi ve maliyeti arttırabileceği unutulmamalıdır.

Yapılan çalışma enerji tüketimi açısından değerlendirildiğinde; güneş enerjili kurutma fırınlarıyla, klasik kurutmada harcanan enerji miktarlarına göre [2, 6], %30 ila %50 oranında enerji tasarrufu sağlanabileceği söylenebilir. Örneğin Cech [2] tarafından yapılan ve 50, 65 ve 90 mm kalınlığındaki Ladin kerestelerinin sırasıyla 9, 12 ve 20 günde kurutulana çalışmada, teknik kurutma yönteminde yaklaşık 920 kWh harcadığı tespit edilmiştir. Ancak bu çalışmada ise sadece 422.4 kWh enerji harcanmıştır. Erdiller vd. [9] tarafından yapılan çalışmada, ortalama 25 mm kalınlığındaki Akkavak keresteleri için güneş enerjisi kullanılarak 279 kWh (min. 194 kWh, maks. 362 kWh) enerji harcanmıştır. Bu çalışmada ise aynı kalınlıktaki Kızılçam keresteleri için 211 kWh enerji harcanmıştır ve sadece 37,43 TL’lik (2013 yılı verilerine göre) bir enerji maliyeti oluştuğu tespit edilmiştir.

Özellikle güneş ışınım enerjisinin yoğun olduğu bölgelerde ve mevsimlerde bu tür fırınlar ile enerji tüketiminden ve buna bağlı olarak kurutma maliyetlerinden tasarruf edileceği söylenebilir. Bu tip fırınların düşük yatırım ve işletme maliyetlerine sahip olması da, işletmeler açısından bir avantaj olarak görülmektedir.

Bunula birlikte bu tip fırınlarda kurutma için gerekli olan ısı enerjisi, doğayla uyumlu ve nispeten basit bir şekilde elde edilmekte ve tüketilmektedir. Diğer yöntemlerin çoğunda, çeşitli yakıtların kurutma süresince yakılması söz konusudur. Bunlar için üretilen ısı merkezlerinin yatırım maliyeti fırın maliyetine yaklaşmakta ve devamlı yakıt beslemesi de işletme maliyetlerini yükseltmektedir. Ayrıca kendi içerisinde de patlama, yangın gibi birçok riskleri barındırmaktadır.

Sonuç olarak, kereste kurutmada enerji verimliliğinin sağlanabilmesi için alternatif enerji kaynaklarından güneş enerjisinin kullanılabilmesi söylenebilir. Böylece kurutma endüstrisinde enerji verimliliği sağlanabileceği gibi, kurutma maliyetlerinin azaltılması ve çevreye daha az zarar veren kurutmaların gerçekleştirilmesi sağlanabilir.

etkisi incelenebilir.

TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGEMENT)

Bu çalışmada güneş enerjili kurutma fırının kullanılmasıyla ilgili yardımcı olan, başta Prof. Dr. Osman GÖKTAŞ olmak üzere Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi Teknoloji Fakültesi çalışanlarına teşekkür ederiz. Bu çalışma, İstanbul Üniversitesi Orman Endüstri Mühendisliği Bölümü’nde yapılmış “Güneş Enerjili Kereste Kurutma Sistemleri Üzerine İncelemeler” isimli yüksek lisans tezi çalışmaları kapsamında elde edilen verilerle oluşturulmuştur. Öncesinde ISITES 2014 - 2. Uluslararası Mühendislik ve Bilim Alanında Yenilikçi Teknolojiler Sempozyumu’nda sözlü bildiri olarak sunulmuş olup, yapılan ilavelerle geliştirilmiştir.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] Comstock G.L., "Energy Requirements for Drying of Wood Products", *Forest Products Research Society Proceedings*, Madison, ABD, (1975).
- [2] Cech M.Y., Pfaff F., "Dehumidification drying of spruce studs", *Forest Products Journal*, 28(3): 22-26, (1978).
- [3] Chen P.Y.S., "Design and Tests of a 500 BF Solar Kiln", *Forest Products Journal*, 31(3): 33-38, (1981).
- [4] Helmer W.A., Chen P.Y.S., "Computer Simulation of a New Method to Dry Lumber Using Solar Energy and Absorption Refrigeration", *Wood and Fiber Science*, 17(4): 464-476, (1985)
- [5] Üçüncü K., Ayhan T., "Güneş Enerjili Kereste Kurutma ve Çevre Kirliliğinin Önlenmesine Katkıları", *III. Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu*, 15 - 17 Kasım, Cilt I: 113 - 120, İstanbul (2000).
- [6] Kantay R., "Türkiye'nin önemli bazı orman ağaç türleri kerestelerinin teknik kurutma özellikleri üzerine araştırmalar", *İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, 28(1): 97-165, (1978).
- [7] Özalp M., Ordu M., "Kereste kurutmada kullanılan enerji kaynağının maliyete etkileri", *Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 22: 99-108, ISSN: 1302-3055, (2010).
- [8] Simpson W.T. ve Tschernitz, J.L., "Performance of a solar/wood energy kiln in tropical latitudes." *Forest Products Journal*, 39(1): 23-30, (1989).
- [9] Erdiller B., Uyarel A.Y., Öz E.S., "Güneş Enerjisi İle Kereste Kurutma", Proje No:698/A, *TÜBİTAK*, Ankara, (1989).
- [10] Üçüncü K., "Kuzey enleminde (Trabzon'da) güneş enerjisi ile kereste (doğu ladini) kurutma olanaklarının araştırılması", *Doktora Tezi*, Fen Bilimleri Enstitüsü, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon, (1991).
- [11] Sattar M.A., "Solar drying of timber - a review." *Holz als Roh-und Werkstoff*, 51(6): 409-416, (1993).
- [12] Yılmaz S., Doğan H. "Güneş Enerjili Nem Kontrollü Kereste Kurutma Sistem Tasarımı", *Yenilenebilir Enerji Kaynakları Sempozyumu ve Sergisi*, 12-13 Ekim, Kayseri, TMMOB Makina Mühendisleri Odası, (2001).
- [13] Ceylan İ., "Güneş Enerjili Kurutma Fırınında Kurutma Havası Neminin Kontrolü" *Yüksek Lisans Tezi*, Fen Bilimleri Enstitüsü, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, Karabük, (2002).
- [14] Aker Ö., "Bilgisayar kontrollü güneş enerjili ahşap kurutma fırınının otomasyonu sistemi tasarımı ve bir simülasyonu", *Yüksek Lisans Tezi*, Fen Bilimleri Enstitüsü, Muğla Üniversitesi, Muğla, (2006).
- [15] T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, Yenilenebilir Enerji Genel Müdürlüğü, "Güneş enerjisi potansiyeli atlası (GEPA)", <http://www.vegm.gov.tr/MyCalculator/Default.aspx> [Ulaşım Tarihi: 13.04.2014].
- [16] Tarimer İ., Eltez A., Erdil Y.Z., Eltez M., "Güney Ege Muğla iklim koşullarında güneş enerjisi yoğunlaşmalı kereste kurutma tesisi tasarımı ve kurulumu", *Dumlupınar Üniversitesi, II. Ulusal Ege Enerji Sempozyumu*, Kütahya, 165-172, (2004).
- [17] Orman Genel Müdürlüğü, Kızılcım, <http://web.ogm.gov.tr/BilgiServisleri/agacturleri/agac4.htm> [Ulaşım Tarihi: 13.04.2014].
- [18] Göker Y., As N., Akbulut T., Dündar T., "Lif kıvrıklığının kızılçam (*Pinus brutia Ten.*) odununun bazı mekanik özellikleri üzerine etkisi", *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 24(1): 45-50, (2000).
- [19] TS EN 13183-2, 2012, "Kereste parçasının rutubet muhtevası - Bölüm 2: Elektrikli direnç metoduyla tahmin", *Türk Standardları Enstitüsü*, Ankara, (2012).
- [20] European Drying Group, 1994, "Recommendation, assesment of drying quality of timber", <http://www.timberdry.net/?Download:EDG-documents> [Ulaşım Tarihi: 13.04.2014].
- [21] Ünsal Ö., "Endüstriyel kereste kurutma uygulamalarında süre kayıpları ve ekonomik analizi", *Uluslararası Orman Kaynaklarının İşlevleri Kapsamında Darboğazlar, Çözüm Önerileri ve Öncelikler Sempozyumu*, Harbiye Askeri Müze ve Kültür Sitesi, İstanbul, (2007).
- [22] Brunner-Hildebrand, "Drying times", (2007), <https://www.brunner-hildebrand.de/en/products/vacuum-kiln/drying-times/> [Ulaşım Tarihi: 16.02.2019].
- [23] Ünsal Ö., As N., Dündar T., 2015, "Güç Kuruyan Bazı Ağaç Türlerinin Kurutulmasında Akustik Emisyon Yöntemi Kullanarak Kurutma Kalitesi Süresi ve Ekonomisini İyileştirme Olanakları", *112-O-818 no'lu TÜBİTAK Projesi Sonuç Raporu*, TÜBİTAK, Ankara (2015).
- [24] Güller B. "Determining Wood Density of Turkish Red Pine (*Pinus Brutia Ten.*) by Using X-Ray Densitometer". *Türkiye Ormanlık Dergisi*, 11(2): 97-109, (2010).
- [25] PVGIS, 2018, "Photovoltaic Geographical Information System", *European Comission* http://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/tools.html [Ziyaret Tarihi: 02 Mart 2018].
- [26] Accuweather, "2013 yılı Temmuz ayı iklim verileri" <http://www.accuweather.com/tr/tr/mugla/319470/july-weather/319470?monyr=7/1/2013&view=table> [Ulaşım Tarihi: 13.04.2014].
- [27] EPDK, Elektrik Faturalarına Esas Tarife Tabloları, 01/07/2017 tarihinden geçerli tarife tabloları, T.C. Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu, (2017) <http://www.epdk.org.tr/TR/Dokuman/8039> [Ulaşım Tarihi: 20 Ağustos 2017].
- [28] Kantay R., "Kereste kurutma ve buharlama". *Ormanlık Eğitim Ve Kültür Vakfı*, Yayın No: 6, İstanbul, (1993).
- [29] Kollmann F, "Technologie des Holzes und Werkstoffe", 2. Bd. *Springer*, Verlag-Berlin, (1955).
- [30] Çınar H., "Muğla iklim koşullarında havalı güneş toplacı ısı pompalı kereste kurutma tesisinde kurutma ekonomisinin araştırılması", *Yüksek Lisans Tezi*, Fen Bilimleri Enstitüsü, Muğla Üniversitesi, (2009).