



DENEYSSEL BİR KURUTMA SİSTEMİ TASARIMI VE ÇALIŞMA PARAMETRELERİNİN İNCELENMESİ

Erkan DİKMEN*, Arzu Şencan ŞAHİN** ve Ali Kemal YAKUT
Süleyman Demirel Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Makine Eğitimi Bölümü,
32260, Isparta, *erkan@tef.sdu.edu.tr, **sencan@tef.sdu.edu.tr

(Geliş Tarihi: 10. 01. 2011, Kabul Tarihi: 17. 03. 2011)

Özet: Bu çalışmada, ağacın işlenmesi sonucunda elde edilen keresteleri vakumlu kurutma yöntemiyle kurutabilecek bir fırın tasarlanmıştır. Vakumlu kurutma fırınının ideal şartlarda çalışması, PLC otomasyon sistemi ile sağlanmıştır. Otomasyon sistemi için kereste kurutma yazılımı geliştirilmiştir. Kurutma sıcaklıklarına, çalışma basınçlarına ve vakumda bekleme sürelerine göre farklı deneyler yapılmıştır. Ortalama bağıl nemi % 45 olan keresteler, bağıl nemi % 8'e düşene kadar kurutulmuştur. Deneylerin her birinin kurutma süreleri 40-50 saat arasında gerçekleşmiştir. Sonuç olarak; çam cinsi keresteleri vakumlama yöntemiyle kurutmak için optimum çalışma şartları kurutma sıcaklığı 50 °C, çalışma basıncı 0,80 bar ve vakumda (0,25 bar) bekleme süresi 10 dakika olarak tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Vakumlu kurutma, Çam, Kereste.

DESIGN OF AN EXPERIMENTAL DRYING SYSTEM AND INVESTIGATION OF OPERATING PARAMETERS

Abstract: In this study, a dryer which can be dry the timbers with vacuum drying method has been designed. Working in ideal conditions of the vacuum drying kiln with PLC automation system has been provided. Software for automation system has been developed. Different experiments according to the drying temperatures, the operating pressures and the waiting times in vacuum have been carried out. The timbers that average relative humidity is 45% have been dried until the relative humidity dropped to 8%. Drying time of the each experiment has been realized between 40 ~ 50 hours. Consequently, optimum operating conditions to dry the pine timbers by vacuum method have been identified that the drying temperature is 50 °C, the working pressure is 0,80 bar and the waiting time in vacuum is 10 minutes (0,25 bar).

Keywords: Vacuum drying, Pine, Timber.

GİRİŞ

Ağaç malzemesinin kurutulmasında doğal ve teknik yöntemler olmak üzere iki temel metot kullanılmaktadır. Zamanla teknolojinin gelişmesi ile birlikte bu yöntemlerin alt basamaklarında pek çok uygulama metotları ortaya çıkmıştır. Piyasada masraflarının düşük olması sebebiyle daha çok doğal kurutma yöntemleri tercih edilmektedir. Teknolojinin gelişmesi, enerjinin verimli kullanılabilmesi ve özel ağaçtan yapılmış ürünlerin elde edilebilmesi için yoğunlaşmış ve vakumlu kurutma yöntemleriyle çalışan kurutma sistemleri yaygınlaşmaktadır (Burdurlu, 1988 ve Bozkurt ve Erdin, 1987).

Literatürde kurutma üzerine bir çok çalışma mevcuttur. Burdurlu (1988) yaptığı çalışmada, klasik kurutmanın yanı sıra mikrodalga tekniğiyle kısa sürede ve keresteleri istifleme yapmadan kurutma yapılabildiğini, fakat kuruluş maliyetinin yüksek olduğu tespit etmiştir (Burdurlu, 1988). Zırzakıran (1990) yapmış olduğu tez çalışmasında, çam cinsi kerestelerin temmuz ayında kurutulması için yaptığı deneylerde doğal kurutma

yöntemi ile nem değerinin 10 günde %8'e, yoğunlaşmış kurutmada ise 8 günde %8'e indiğini tespit etmiştir. Vakumlu kurutma sistemleri genelde tam vakum yapıp ağaçların kondüksiyonla veya mikrodalga gibi yöntemlerle ısıtılarak kurutması şeklinde çalışmaktadır. Fırın içindeki hava ile ısıtma yapılacaksa periyodik vakumlama yöntemi ile kurutma yapılmalıdır (Zırzakıran, 1990). Serbes (2003) yapmış olduğu çalışmada ağaç kurutma yöntemlerinden klasik kurutma ile periyodik vakumlu kurutma metoduyla çalışan fırınları inceleyerek mukayese etmiştir. Kayın ve çam cinsi keresteleri kurutarak yaptığı deneylerinde bu iki yöntemle kurutulan kerestelerin öz kütleli değişimini ve eğim mukavemetini incelemiştir. Buna göre vakum altında kurutulan ağacın eğilmeye karşı mukavemetinin arttığı ve daha kısa sürede kuruduğu tespit edilmiştir (Serbes, 2003).

Ayrıca uluslararası literatürde de kerestelerin farklı yöntemlerle kurutulmasıyla ilgili çalışmalar mevcuttur. Nijdam vd. yüksek geçirgenlikli yumuşak kerestelerin yüksek sıcaklıkta kurutulmasını modellemiştir. Modelden elde edilen sıcaklık ve nem değerleri literatürdeki deneysel sonuçlarla karşılaştırılmış ve

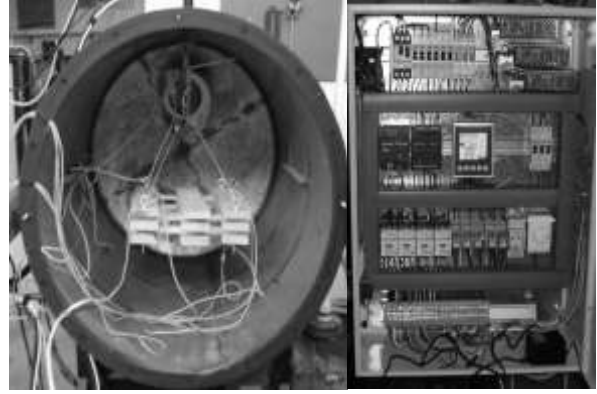
aralarında iyi bir uyum olduğu görülmüştür (Nijdam vd., 2000). Ceylan vd. kavak ve çam cinsi kerestelerin kurutulması için ısı pompalı bir kurutucu tasarımı yapmıştır. Kurutucunun enerji ve ekserji analizi yapılmıştır (Ceylan vd., 2007). Younsi vd. yüksek sıcaklıklarda kerestelerin kurutulması esnasındaki ısı ve nem transferini analiz etmek için üç boyutlu matematiksel bir model kullanmışlardır. Teorik modelden elde edilen sonuçlar, deneysel sonuçlarla benzerlik göstermiştir (Younsi vd., 2010). Pang ve Pearson vakum basıncında kızgın buhar kullanarak kerestelerin kurutulması için deneyler yapmışlardır. Bu sayede normal kurutma sıcaklıklarından çok daha kısa sürede ve daha az enerji ile kerestelerin kurtulması amaçlanmıştır (Pang ve Pearson, 2004). Martinovic vd. kurutma işlemi süresince kerestelerin gerilme, mukavemet, nem ve sıcaklık dağılımlarını veren matematiksel bir model üzerinde çalışmışlardır. Ayrıca elde edilen sayısal sonuçlar deneysel sonuçlar ile karşılaştırılmıştır (Martinovic vd., 2001).

Literatürde vakumlu kurutma ile ilgili çalışmaların oldukça sınırlı olduğu görülmüştür. Bu çalışmada, daha önce yapılan çalışmalardan farklı olarak PLC otomasyon sistemi ile desteklenmiş vakumlu kurutma fırını tasarlanmış ve imal edilmiştir. Farklı çalışma şartlarında yapılan deneyler sonucunda çam cinsi kerestelerin kurutulması için optimum çalışma şartları belirlenmiştir. Dolayısıyla keresteleri kısa sürede, kaliteli ve kontrollü bir şekilde daha az enerji maliyeti ile kurutabilecek bir sistem tasarımına gidilmiştir.

DENEYSEL SİSTEM

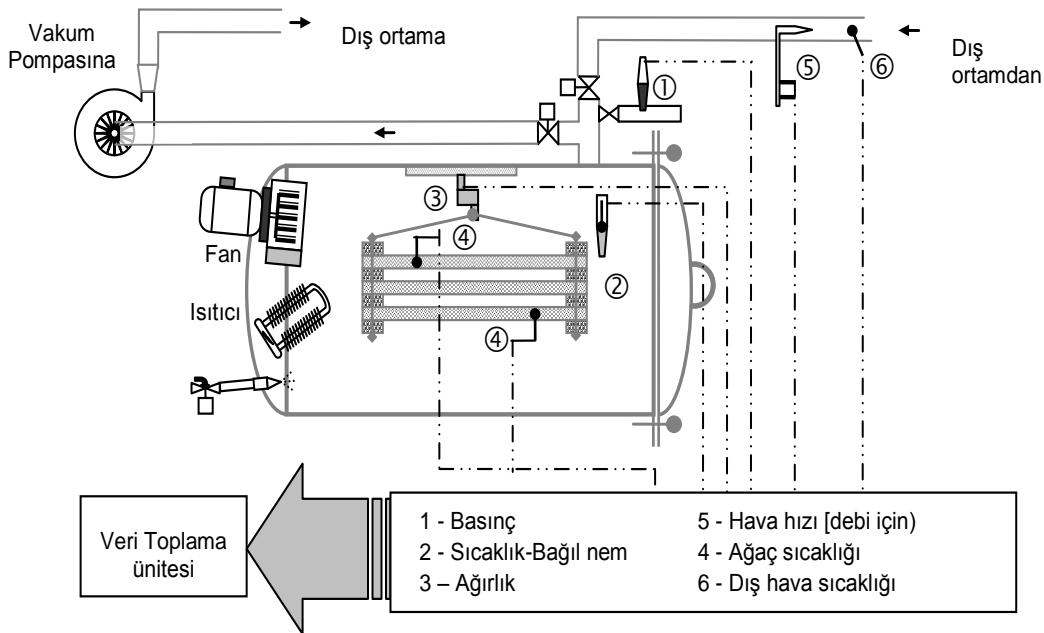
Bu çalışmada; kurutma havasının düzgün dağılımının sağlandığı, hava serpantinli ısıtıcıları bulunan, istenilen basınçlarda çalışmanın sağlandığı hava sızdırmayan bir yapıya sahip otomasyon sistemli bir kurutma fırını imal

edilmiştir (Şekil 1). Tasarımı ve imalatı yapılan kurutma fırını, 1 m çapında 1 m uzunluğunda olup yaklaşık 0,80 m³ 'lük hacme sahiptir. Kurutma ortamında nem bulunduğundan fırının kurutma yapılan bölümlerinde paslanmaz krom-nikel sac kullanılmıştır. Kurutma tankı 10 cm kalınlığında cam yünüyle, kapakları ise 5 cm kalınlığında kauçuk-köpük ile izole edilmiştir (Dikmen, 2010).



Şekil 1. Deneysel kurutma sistemi.

Kurutma fırının ısıtılması için her biri 1,5 kW'lık güce sahip 2 adet hava serpantinli elektrik rezistanslı ısıtıcı kullanılmıştır. Havanın sirkülasyonunu sağlamak için 2000 m³/h kapasiteli ve değişken hız ayarlı salyangoz tipi fan seçilmiştir. Fırın basıncının istenilen şartlara getirilebilmesi için 10 m³/h kapasiteli ve 0,15 bar basınca kadar vakumlama yapabilen sulu tip bir vakum pompası kullanılmıştır. Vakumlu kurutma fırınının ideal şartlarda çalışması; 3 adet sıcaklık, 1 adet hava nemi, 1 adet basınç, 3 adet ağaç nemi sensörlerinin bağlı olduğu PLC otomasyon sistemi ile sağlanmıştır (Dikmen, 2010).



Şekil 2. Deneysel sistemin şematik görünüşü.

Tablo 1. Deneysel kurutma sisteminde kullanılan cihazların teknik özellikleri.

CİHAZ	MARKA	ÖZELLİK	HATA ANALİZİ
Ağırlık sensörü	AHLBORN-FKA0251	<ul style="list-style-type: none"> • Strangeç tipi • 0- 20 kg Ölçüm aralığı • $\pm 0,2$ kg ölçme hassasiyeti 	$\pm 0,17$ kg
Debimetre	KİMO-TPL 03 100 T AHLBORN-ZA9601FS2	<ul style="list-style-type: none"> • Yarı küre kafalı pitot tüp • 0-40m/s Ölçüm aralığı • $\pm 0,05$ m/s ölçme hassasiyet 	$\pm 0,07$ m/s
Sıcaklık-Nem sensörü	KİMO TH 100 AHLBORN-ZA5099KK	<ul style="list-style-type: none"> • Polimer film nem sensörü • 0-100 % bağıl nem • ± 1 % ölçme hassasiyeti • Kapasitif ve Pt100 sensör • -50 ila +170°C • $\pm 0,5$ % ölçme hasasiyet 	$\pm 1,5$ % $\pm 0,37$ %
Basınç sensörü	AHLBORN-FD821408R	<ul style="list-style-type: none"> • 0 - 1,6 bar basınç transmitter • $\pm 0,05$ bar ölçme hassasiyet 	$\pm 0,07$ bar
Sıcaklık sensörü	AHLBORN-ZA9020FS2	<ul style="list-style-type: none"> • K tipi termokupl • -200 ila +200°C • ± 1 °C ölçme hassasiyet 	$\pm 1,2$ °C

Kurulan deney sisteminde verilerin takibi için veri toplama ünitesine bağlı 1 adet basınç, 1 adet sıcaklık-nem, 1 adet ağırlık, 3 adet sıcaklık ve 1 adet hava hızı sensörü kullanılmıştır. Şekil 2’de deney düzeneğinin şematik görünüşü verilmiştir. Ayrıca kurutma sisteminde kullanılan veri toplama ünitesine ait sensörlerin teknik özellikleri Tablo1’de verilmiştir. İmal edilen kurutma fırınında çam kerestelerinin kurutulması amaçlanmıştır.

HATA ANALİZİ

Hata analizi toplanan verilerin doğruluk sınırlarını gösterir. Kurutma fırınında kullanılan ölçüm cihazların standart sapmaları dikkate alınarak bulunan hata analiz değerleri Denklem 1-5’ den hesaplanmış ve Tablo 1’de verilmiştir.

$$X_M = \frac{1}{N} \sum X_i \quad (1)$$

$$v = \frac{1}{(N-1)} \sum (X_i^2 - X_M^2) \quad (2)$$

$$s = \sqrt{v} \quad (3)$$

$$a = \frac{1}{\sqrt{N}} \quad (4)$$

$$U = \sqrt{\sum_{i=1}^R a_i^2 \cdot S_i^2} \quad (5)$$

Eşitliklerde “ X_M ” gözlemlerin aritmetik ortalaması, “ X_i ” yapılan gözlemler, “ N ” gözlem sayısı, “ a ” hassasiyet, “ S ” standart sapma, “ v ” varyans, “ U ” hata analizidir (Ceylan vd.,2007; Genceli, 1998).

METOT

Çam ağacından işlenerek kereste haline getirilen numuneler 2009 yılı Nisan ayında Isparta sanayisinden temin edilmiştir. Yaş olarak temin edilen kereste numunelerin kurumasını önlemek amacıyla, paketlenmiş olarak -15°C ’deki bir dondurucuda muhafaza edilmiştir.

Ağaç malzemelerde çok çeşitli nem ölçme metotları mevcuttur. Bu metotlardan en doğru sonucu veren yöntemlerden birisi, nem değerinin ağacın ağırlığı ile aynı ağacın tam kuru haldeki ağırlığına oranı şeklinde bulunmasıdır. TS 4087’ ye göre ağaç malzemesi kurutma odasında kurutulur ve kurutma numune parçaları 6 veya 4 saatlik aralarla tartılır birbirini izleyen iki tartı arasında kütle farkının, her bir deney parçası için % 1 den az olması halinde tam kuru hale gelmiş olur.

TSE 2456’da kereste kurutulmasında kurutma havası hızının 3 m/s olması gerektiği vurgulanmıştır. Yüksek hava hızında yapılan kurutma işlemlerinde ağaçlarda çarpılma gibi şekil değişiklikleri olmaktadır. Deneylerde kereste istiflerinin yüzeylerinde en fazla 3 m/s en az 2 m/s hava hızı olacak şekilde fan ayarlanmıştır.

Otomasyon sistemi yardımıyla çalışma sıcaklığı, çalışma basıncı, vakumlama basıncı, bekleme süreleri ayarlanarak farklı çalışma şartlarında çok sayıda deney yapılmıştır. Otomasyon sistemi sayesinde ağaçlar gerekli kuruluğa ulaştığında kurutma fırını kendiliğinden deneyi sonlandırmaktadır. Deneyler, üç farklı çalışma şartı için yapılmıştır. Bunlar:

Kurutma fırınının çalışma sıcaklığı: Kurutma fırınında 40°C , 50°C ve 60°C olmak üzere üç farklı çalışma sıcaklığında deneyler yapılmıştır. Daha düşük sıcaklıklarda kurutma süresinin uzaması ve daha yüksek sıcaklıklarda da kurutma esnasında keresteden çıra özünün yüzeye çıkması söz konusu olduğundan bu sıcaklıkların dışında deneyler yapılmamıştır.

Vakumda bekleme süresi: Vakumlu tip kurutma fırınlarında kerestenin iç kısmındaki suyun yüzeye ulaşabilmesi için bir süre vakumda beklenmesi gerekmektedir. Bu çalışmada deneyler 5, 10 ve 15 dakika bekleme süreleri için yapılmıştır. Vakumda bekleme süresinin daha fazla artırılması direkt olarak kurutma süresini uzatmaktadır.

Kurutma fırınının çalışma basıncı: Kurutma fırınında 0,6 bar, 0,7 bar ve 0,8 bar olmak üzere üç farklı çalışma basıncında deneyler yapılmıştır. Basıncın düşmesiyle havanın ısıtılma süresi kısaltmakta, fakat pompanın tükettiği enerji artmaktadır.

PLC otomasyon sisteminde ayarlanan farklı çalışma şartları ve kerestelerin kurutma işlemi başlangıcındaki ve sonundaki özellikleri Tablo 2’de verilmiştir.

Tablo 2. Deneylerin başlangıcındaki ve sonundaki bazı özellikler.

AÇIKLAMA		Fırının Çalışma Sıcaklığı			Vakumda Bekleme Süresi			Fırının Çalışma Basıncı		
		1. Deney	2. Deney	3. Deney	1. Deney	2. Deney	3. Deney	1. Deney	2. Deney	3. Deney
PLC ayarları	Kurutma sıcaklığı [°C]	40	50	60	50			50		
	Çalışma basıncı [bar]	0,8			0,8			0,60	0,70	0,80
	Vakumlama basıncı [bar]	0,25			0,25			0,25		
	Vakumda bekleme süresi [dak.]	10			5	10	15	10		
Kereste	Boyutları [cm]	2x9x55 (9 adet)			2x9x50 (9 adet)			2x9x60 (9 adet)		
	Hacmi [m ³]	0,00891			0,0081			0,00972		
	Yüzey alanı [m ²]	1,1214			1,0224			1,2204		
	Kurutucuya girdiğinde Ağırlığı [kg]	9,58	9,65	9,35	6,65	6,49	6,71	8,95	8,90	8,86
	Kurutucuya girdiğinde Bağlı Nemi [%]	66	67	62	26	24	28	42	41	40
	Kurutucudan çıktığında Ağırlığı [kg]	6,23	6,27	6,29	5,67	5,69	5,68	6,87	6,85	6,89
	Kurutucudan çıktığında Bağlı Nemi[%]	8,1	8,7	9	8,2	8,5	8,3	9	9	9

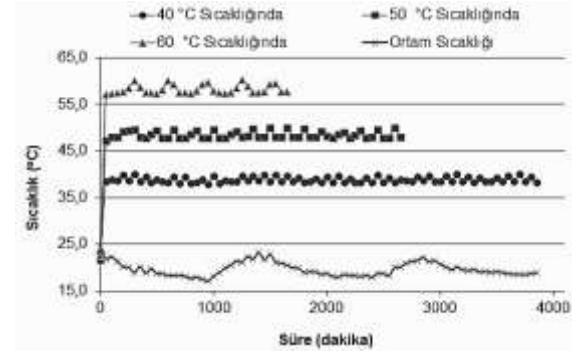
SONUÇLAR

Bu çalışmada; farklı şartlarda deney yapılabilecek bir kurutma sistemi tasarlanmış ve imal edilmiştir. Deneyler, farklı kurutma sıcaklıklarında, farklı basınçlarda ve vakumda bekleme sürelerinde yapılmıştır.

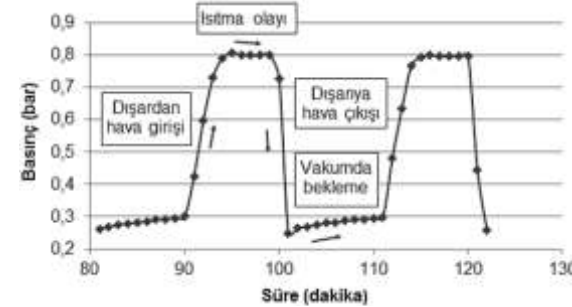
Kurutma süresi boyunca kerestede sıcaklık değişimleri Şekil 2’de verilmiştir. Verilen grafikte 60°C’de yapılan deneylerde sıcaklık düşüşlerinin daha fazla olduğu görülmektedir. Bunun sebebi, fırın iç ortamı ile dış ortam sıcaklıkları arasındaki fark sebebiyle oluşan ısı kayıplarının daha fazla olmasıdır. Kurutma fırını ilk 20 dakika içerisinde istenilen sıcaklıklara ulaşmaktadır.

Şekil 3’de, 40°C çalışma sıcaklığında basıncın zamana göre değişiminin bir kısmı görülmektedir. Sistem çalışırken, önce çalışma basıncı 0,8 bar değerine, sonra nemli sıcak hava oluştuğunda 0,25 bar basıncına vakumlama yapılmıştır. Diğer çalışma sıcaklıklarında da çalışma basınçları ve bekleme süreleri benzer bir değişkenlik göstermiştir.

Şekil 4’de kurutma fırınının iç ortamındaki hava neminin kurutma süresi boyunca değişimi verilmiştir. Bağlı nem değerlerinin zamanla ve sıcaklığın etkisiyle azaldığı görülmektedir. Yapılan deneylerde farklı kurutma sıcaklıklarındaki kerestenin aynı nem değerine ulaşmadığı gözlenmiştir. Bunun sebebi kereste kurtulurken ortamda nemlendirme amaçlı bulunan sudur.



Şekil 2. Farklı çalışma sıcaklıklarının zamana göre değişimi.

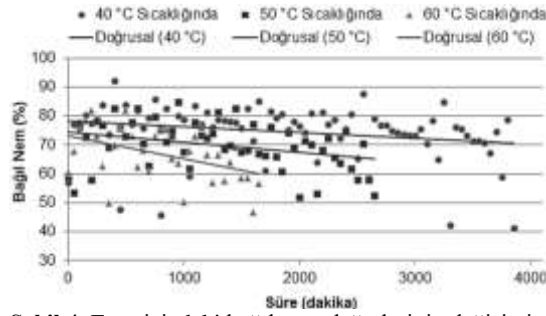


Şekil 3. 40°C sıcaklıkta yapılan deneyde basıncın zamana göre değişimi.

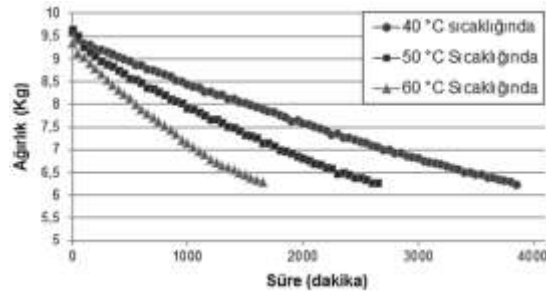
Kurutulan numuneler başlangıçta ortalama olarak aynı ağırlıkta olduğundan kurutma sonunda da genel olarak aynı ağırlığa ulaşmışlardır. Şekil 5’de görüldüğü gibi

buharlaşan su ile kerestelerin ağırlıkları her çalışma sıcaklığında farklı bir eğimle azalmaktadır. Sıcaklığın artmasıyla kuruma hızı artmakta ve kuruma süresi kısalmaktadır.

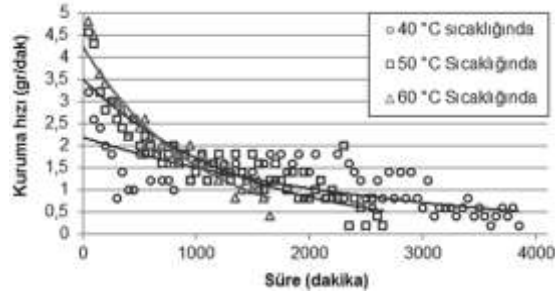
0,8 bar ön vakumlama basıncında farklı çalışma sıcaklıklarında yapılan kurutma deneyinde kuruma hızının zamanla değişimi Şekil 6'da görülmektedir. Beklendiği gibi 60°C sıcaklıkta yapılan deneyde kuruma hızının daha yüksek ve kuruma süresinin daha az olduğu görülmüştür. Kerestenin kurutulmasının tamamlanmasına yakın tüm çalışma sıcaklıklarında kuruma hızlarının birbirine yaklaştığı görülmüştür.



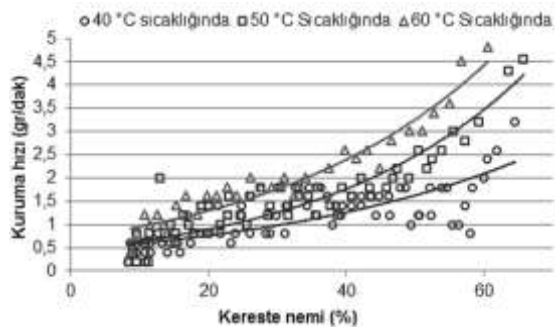
Şekil 4. Fırın içindeki bağıl nem değerlerinin değişimi.



Şekil 5. Kerestelerin ağırlık değişimi.



Şekil 6. Kuruma hızının zamanla değişimi.



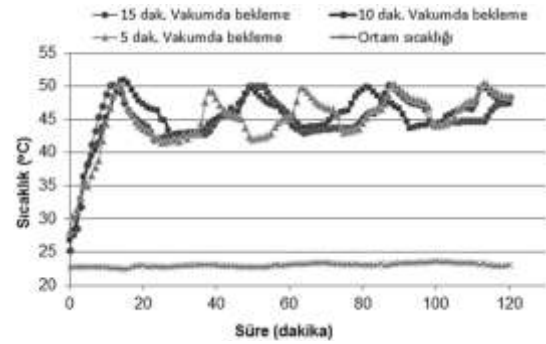
Şekil 7. Kereste neminin kuruma hızıyla değişimi.

Şekil 7'de çam cinsi kereste neminin kuruma hızıyla değişimi verilmiştir. Kurutma başlangıcında kerestenin nem değerinin yüksek olmasından dolayı kuruma hızının da yüksek olduğu görülmektedir. Kurutma işleminin sonlarına doğru ise tüm çalışma sıcaklıklarında kuruma hızlarının birbirine yakın olduğu görülmüştür.

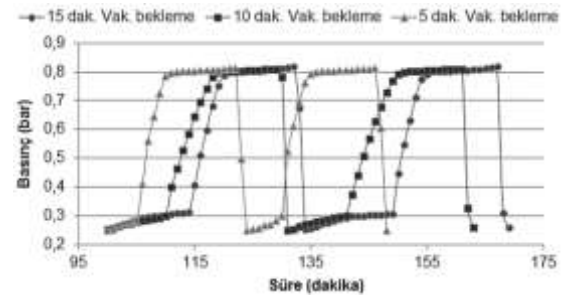
Şekil 8'de farklı vakumda bekleme sürelerinde yapılan deneylerin kurutma süresi boyunca oluşan sıcaklık değişimleri verilmiştir. Vakumda bekleme süresi 15 dakika olan deneylerde ısıtıcıların devreye girme süresinin arası artmakta, vakumda bekleme süresi 5 dakika olan deneylerde ise ısıtıcıların devreye girme süresi azalmaktadır. Isıtıcıların devreye girme sürelerinin artması, fırın içerisindeki sıcaklığın düşmesine sebep olmaktadır. Yapılan deneylerde kurutma fırınının izolasyonu sayesinde fırın sıcaklığı 42 °C'nin altına inmemiştir.

5, 10 ve 15 dakika vakumda bekleme sürelerinde basıncın kurutma süresine göre değişimi Şekil 9'da görülmektedir. Deneyler, aynı ön vakum basıncında yapılmıştır. Vakumda bekleme süresinin artması, basıncın yükselmesine sebep olmaktadır.

Şekil 10'de kurutulan kerestelerin zamana bağlı olarak ağırlıklarındaki değişim görülmektedir. Bu deneyin başlangıcında keresteler çok nemli değildir ve keresteler için minimum değer olan % 8 lik nem değerine kadar kurutulmuştur. Kurutma olayının başlangıcında hızlı şekilde suyun buharlaşmasıyla kerestelerin ağırlıkları azalmaktadır. Kurutma olayının sonuna doğru suyun buharlaşması yavaşladığından kurutma hızı da düşmektedir.



Şekil 8. Farklı ön vakumda bekleme sürelerinde yapılan deneylerin sıcaklık değişimi.

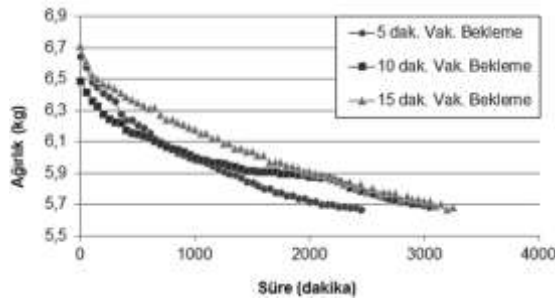


Şekil 9. Farklı vakumda bekleme sürelerinde yapılan deneylerde basıncın zamanla değişimi.

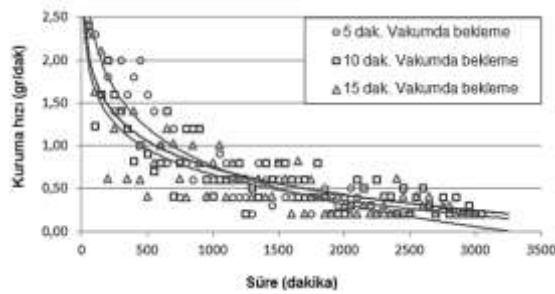
Şekil 11’de 0,8 bar ön vakumlama basıncı ve 50°C sıcaklığında yapılan kurutma deneyinde kuruma hızının zamanla değişimi görülmektedir. Yapılan deneylerde vakumda bekleme sürelerinin kurutma hızı üzerinde önemli bir etkisinin olmadığı görülmüştür. Sadece deneyin başlangıcında, 5 dakika vakumda bekleme süresinde kuruma hızının biraz daha fazla değişim gösterdiği, diğer vakumda bekleme sürelerinde ise kuruma hızının benzer değişim gösterdiği görülmüştür.

Şekil 12’de farklı vakumda bekleme sürelerinde kereste neminin kuruma hızıyla değişimi verilmiştir. Beklendiği gibi kurutma başlangıcında kerestenin nem değerinin yüksek olmasından dolayı kuruma hızının da yüksek olduğu görülmektedir. Kurutma işleminin sonlarına doğru ise kuruma hızları da düşmüştür.

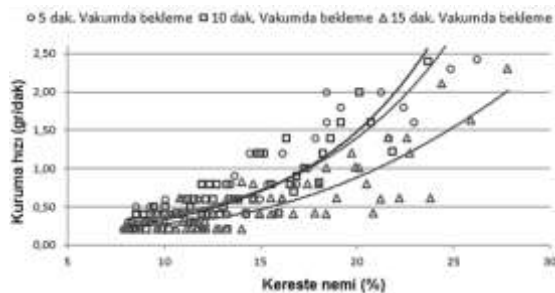
Farklı ön vakumlama basıncında yapılan deneylerde, fırın sıcaklığının zamana göre değişimi Şekil 13’de görülmektedir. 0,8 ile 0,7 bar basınçlarda yapılan deneylerde 20 dakika içerisinde, 0,6 bar basınçta yapılan deneyde ise 40 dakika içerisinde fırın çalışma sıcaklığına ulaşılmıştır. 0,6 bar basınçta fırın içindeki ısıtma havasının az olması sebebiyle kurutulacak kerestelerin ısınması zaman almıştır. Bu da, fırın sıcaklığının



Şekil 10. Farklı vakumda bekleme sürelerinde kurutma deneylerinde kereste ağırlığının zamana göre değişimi.



Şekil 11. Kuruma hızının zamanla değişimi.



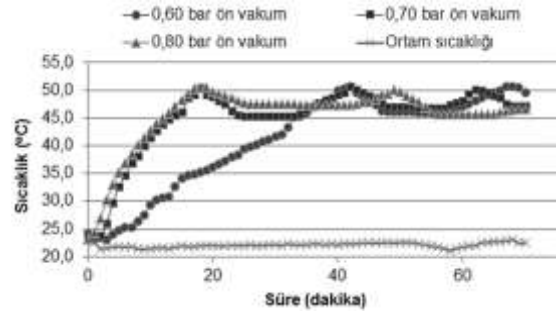
Şekil 12. Kereste neminin kuruma hızıyla değişimi.

istenilen sıcaklık seviyesine ulaşmasını geciktirmiştir.

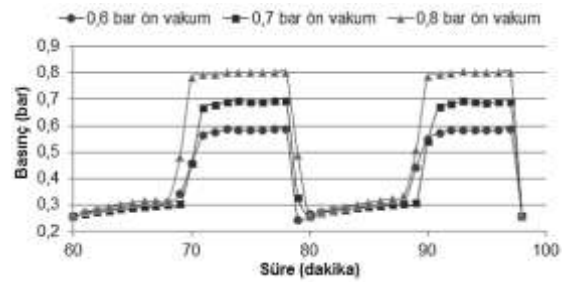
Şekil 14’de kurutma fırınının çalışma basınçları görülmektedir. Deneylerde vakumlama basıncı 0,25 bardır. 0,8 bar ön vakumlama basıncında fırın içindeki hava miktarı, 0,6 bar ön vakumlama basıncına göre fazladır. Bundan dolayı havanın ısıtılması, 0,8 bar ön vakumla basıncında yapılan deneylerde en uzun sürmüştür.

Farklı ön vakum basınç değerlerinde kurutma süresi boyunca kerestede ağırlık değişimi Şekil 15’de verilmiştir. Bütün basınç değerlerinde kurutma süresi boyunca kerestelerin ağırlık değişimleri benzer bir özellik göstermiştir.

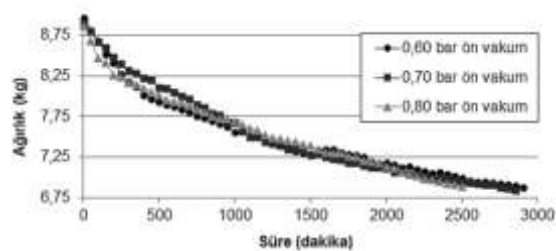
Şekil 16’da, 50°C ve 10 dakika vakumda bekleme sürelerinde ve farklı ön vakumlama basınçlarında yapılan deneylerde kuruma hızının zamanla değişimi verilmiştir. Kurutma işleminin başlangıcında 0,8 bar vakumlama basıncında fırın içerisinde daha fazla kurutma havası bulunduğu kuruma hızı, diğer çalışma basınçlarında yapılan deneylerden daha yüksektir.



Şekil 13. Farklı ön vakumlama basınçlarında yapılan deneylerde sıcaklık değişimleri.

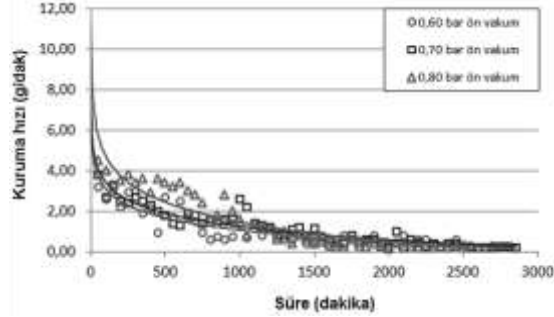


Şekil 14. Farklı ön vakum basınçlarında yapılan deneylerde fırın çalışma basınç değişimleri.

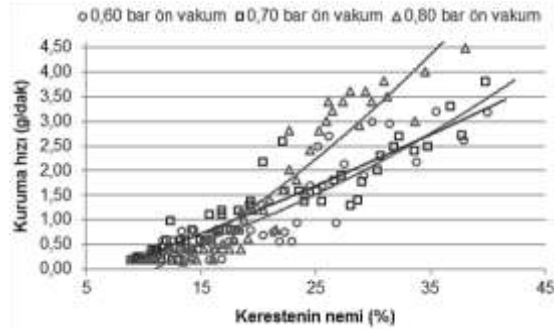


Şekil 15. Farklı ön vakum basınçlarında yapılan deneylerde kereste ağırlığının kurutma süresince değişimi.

Şekil 17’de farklı ön vakumlama basınçlarında kereste neminin kuruma hızıyla değişimi verilmiştir. Beklendiği gibi kurutma başlangıcında kerestenin nem değerinin yüksek olması ve 0,8 bar vakumlama basıncında fırın içerisinde daha fazla kurutma havası bulunmasından dolayı kuruma hızının da yüksek olduğu görülmektedir.



Şekil 16. Kuruma hızının zamanla değişimi.



Şekil 17. Kereste neminin kuruma hızıyla değişimi.

TARTIŞMA

Bu çalışma ile PLC kontrollü tam otomatik çalışan vakumlu kereste kurutma fırınlarında çam cinsi kerestelerin kurutulması için ideal çalışma şartları belirlenmiştir. Deneyler genel olarak değerlendirildiğinde aşağıdaki sonuçlar ortaya çıkmıştır:

- TSE 2456’ya göre, havayla ısıtılmalı kereste kurutucularında ideal kurutma sıcaklığı 50 °C’dir(TSE 2456, 1976 ve TSE 4087, 1983) . Yapılan deneyler sonucunda tespit edilen kurutma sıcaklığı da 50 °C’dir. Düşük sıcaklıklarda kurutma süresinin arttığı; yüksek sıcaklıklarda ise kerestelerde çatlamların olduğu, çıra özünün kerestenin yüzeyine aktığı gözlemlenmiştir.
- Literatürde vakumlu sistemlerdeki bekleme süresinin, kerestenin iç kısımlarındaki suyun dış yüzeyine çıkması için yapılması gerektiği vurgulanmıştır. Fakat bu sürenin kurutulacak ağaç ürünleri için nasıl belirleneceği belirtilmemiştir. Yapılan deneylerde bekleme süresini uzatmanın, kurutma süresini önemli bir şekilde artırdığı tespit edilmiştir. Kurutma süresini kısaltmak için yapılan vakum, kurutulmuş keresteden buharlaşma etkisini azaltmaktadır. Deneylerimizde bu işlem için en uygun süre 5 dakika olarak belirlenmiştir.

- Deneyler sonucunda elde edilen verilere göre en ideal ön vakumlama basıncı; 0,8 bar’dır. Kereste kurutma üzerine yapılan çalışmalarda ve endüstriyel uygulamalarda atmosfere açık sistemler kullanıldığı için ön vakumlama hakkında net bir sonuç mevcut değildir. Atmosfer basıncında kurutma yapılırsa fırın içindeki sıcaklığın etkisiyle kurutma havası genişlerken basıncın artmasına sebep olur. Bu yüzden kurutma havası, dışarıya çıkmaya çalışır. Ön vakulamada ise, iç ortamda bir vakum etkisi oluşturulduğundan kurutma havası çabuk ısınmaktadır. Ön vakumlama basıncı düşük tutulduğunda fırın içindeki kurutma havası yeterli olmadığı için keresteyi ısıtmada ve kurutmada istenmeyen durumlar ortaya çıkmıştır.

Bu çalışma modüler, daha verimli ve kısa sürede kurutma yapacak fırınların tasarlanmasına ışık tutacak ve ülkemiz sanayisine oldukça önemli katkılar sağlayacaktır.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma, 1527-D-07nolu proje kapsamında Süleyman Demirel Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından desteklenmiştir. Yazarlar mali destek imkanlarından dolayı, Süleyman Demirel Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi’ne teşekkür eder.

KAYNAKLAR

- Bozkurt, A.Y., Erdin, N., Ağaç Teknolojisi, *İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Yayınları*, Yayın No: 445, s. 100, İstanbul, 1987.
- Burdurlu, E., Ağaç Malzemenin Kondenzasyon ve Mikrodalga Teknikleri ile Kurutulması Üzerine Araştırmalar, *Yüksek Mühendislik Tezi, Hacettepe Ün., Fen Bilimleri Enst.*, 1988.
- Ceylan, I., Aktas, M., Dogan, H., Energy and exergy analysis of timber dryer assisted heat pump, *Applied Thermal Engineering*, No.27, pp.216–222. 2007.
- Ceylan, İ., Aktaş, M., Doğan, H., Isı pompalı Destekli Bir Kurutucuda Kerestelerin Kurutma Süresinin Belirlenmesi, *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, Cilt-22, No 4, 847-854, 2007.
- Dikmen, E., Farklı Sıcaklıklarda ve Basınçlarda Çalışan Bir Kurutucu Tasarımı ve Değişken Kurutma Parametrelerinin Araştırılması, *Doktora Tezi, Süleyman Demirel Ün., Fen Bilimleri Enst.*, Isparta, 2010.
- Erden, O., Jeotermal Enerji ile Kereste Kurutma, *Yüksek Lisans Tezi, Gazi Ün., Fen Bilimleri Enst.*, Ankara, 1997.
- Genceli, O. E., Ölçme Tekniği, *Birsan Yayınevi.*, İstanbul., 2010.

Martinovic, D., Horman, I., Demirdzic, I., Numerical and experimental analysis of a wood drying process, *Wood Science and Technology*, No.35, pp.143-156, 2001.

Nijdam, J. J., Langrish, T. A. G., Keey, R. B., A high-temperature drying model for softwood timber, *Chemical Engineering Science*, No.55, pp.3585-3598, 2000.

Pang, S., Pearson, H., Experimental Investigation and Practical Application of Superheated Steam Drying Technology for Softwood Timber, *Drying Technology*, Vol. 22, No. 9, pp. 2079–2094, 2004.

Serbes, T., İki Farklı Teknik Kurutma Yöntemi ile Kurutulmuş Ağaç Malzemelerin Bazı Fiziksel ve Mekaniksel Özelliklerin Karşılaştırılması, *Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniv., Fen Bilimleri Enst.*, Ankara 2003.

TSE 2456, Kereste Kurutma Kuralları (Kurutma Odalarında), *Türk Standartları Enstitüsü Yayını*, Ankara, 1976.

TSE 4087, Kereste Partisinin Ortalama Rutubet Miktarının Tayini, *Türk Standartları Enstitüsü Yayını*, Ankara, 1983.

Younsi, R., Poncsak, S., Kocaefe, D., Experimental and Numerical Investigation of Heat and Mass Transfer during High-Temperature Thermal Treatment of Wood, *Drying Technology*, No.28, pp.1148–1156, 2010.

Zırzakıran, M., Kondenzasyonlu Kereste Kurutma, *Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniv., Fen Bilimleri Enst.*, Ankara, 1990.