

SARIÇAM KERESTESİNİN KURUTULMASINDA AKUSTİK EMİSYON YÖNTEMİNİN KULLANILMASI^{1,2}

Öner ÜNSAL¹, Türker DÜNDAR¹, Nusret AS¹, Süleyman KORKUT², H.Volkan GÖRGÜN¹,
Alperen KAYMAKCI¹

¹ İstanbul Üniversitesi, Orman Fakültesi, Orman Endüstri Mühendisliği Bölümü, 34473,
İstanbul, TÜRKİYE

² Düzce Üniversitesi, Orman Fakültesi, Orman Endüstri Mühendisliği Bölümü, 81620, Düzce,
TÜRKİYE
onsal@istanbul.edu.tr

Özet- TÜBİTAK 1001 projesi (Proje no: 112-O-818) olarak yapılan çalışmada, teknik olarak kurutulması güç ve uzun süreli olan Sapsız Meşe (6cm) ve Doğu Kayını (8cm) kerestesi yanında, 10 cm kalınlığında Sarıçam kerestesini kurutmada akustik emisyon (AE) yöntemini kullanarak, ağaç malzemeyi tahrip etmeden ulaşabilecek minimum kurutma sürelerini veren kurutma programlarının belirlenmesi hedeflenmiştir. AE yönteminde hedef, AE cihazı yardımıyla kurutma sürecinde ağaç malzemede oluşması muhtemel çatlak ve deformasyon gibi kusur oluşumlarını haber veren ses dalgalarını tespit etmek ve bu noktada kurutma şartlarına anında müdahale ederek kusur oluşumunu ortadan kaldırmaktır. Bu amaçla, önceden belirlenmiş kurutma programlarını uygularken AE cihazıyla eş zamanlı olarak ölçümler alınmış, bu süreçte sürekli ses dalgalarının takibi yapılarak kusurların oluşumunu haber veren frekanslarla ilgili eşik değerler belirlenmiş, daha sonra yapılan kurutma denemelerinde de bu eşik değerleri aşan durumlarda kurutma şartlarından ortam sıcaklığı ve bağıl nemine müdahale edilerek o ağaç türünün o kalınlığı için uygulanabilecek optimum kurutma programına ulaşılması sağlanmıştır. Bu sayede, hem haftalar veya aylar süren kurutma sürelerinin aşağı çekilmesi ve hem de ciddi maliyet oluşturan kurutma giderlerinden önemli tasarruflar sağlanması öngörülmüştür.

Sarıçam kerestesiyle yapılan ve AE ölçümleriyle kombine edilen kurutma denemeleri sonunda, 10 cm'lik Sarıçam için, %50-15 kereste nemi aralığında, kurutma kusurlarının ve kurutma giderlerinin minimize edildiği ideal kurutma süresinin 10 gün olabileceği ve bu sayede kurutma giderlerinden %35'e varan oranda tasarruf sağlanabileceği belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler- Çam Kereste, Klasik kurutma, Akustik Emisyon, Kurutma Süresi.

¹Bu çalışma; TÜBİTAK tarafından desteklenen TOVAG 112 O 818 no' lu projenin bir bölümüdür.

²Bu çalışma; 10-12 Eylül 2015 tarihleri arasında Düzce Üniversitesi'nde düzenlenen "Ulusal Mühendislik Araştırmaları Sempozyumu - UMAS 2015"te "Güç Kuruyan Bazı Ağaç Türlerinin Kurutulmasında Akustik Emisyon Yöntemi Kullanarak Kurutma Kalitesi, Süresi Ve Ekonomisini İyileştirme Olanakları" ismiyle sunulmuştur.

USING ACOUSTIC EMISSION METHOD FOR DRYING YELLOW PINE LUMBER

Abstract- This study that carried on TUBITAK 1001 project (Project no: 112-O-818) aims to measure sound waves notifying drying defects, correlating these data with drying quality and finally bringing up sound wave thresholds of ideal drying during drying process by using acoustic emission (AE) monitoring method. In the study, with Sessile oak (60 mm in thick) and Oriental beech (80 mm) which is dried hardly and in a long time in kiln, Scots Pine (100 mm) wood were used. Thus, with the result of all drying experiments and AE measurings, optimum drying schedules and AE threshold values for 10 cm thick Pine timber were found in terms of quality and time by changing drying conditions such as kiln temperature and humidity according to AE values. With this original study it is projected to decrease long drying times and also drying costs by reaching to ideal drying chedules.

At the end of the dryings combined with AE measurings, it was found that ideal drying time minimizing drying cost (35% cheaper than protective drying) and defects is about 10 days from 50% to 15% wood moisture for 10 cm thick Scots Pine wood.

Key Words- Pine, Kiln Drying, Acoustic Emission, Drying Time.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

1.1. Teknik Kurutma ve Kurutma Ekonomisi (Technical Drying and Drying Economy)

Kurutma ağaç malzemedede bulunan ve kullanım amacı için uygun olmayan fazla suyun atılması işlemidir. İdeal bir kurutmada hedef, ağaç malzeme kalitesi korunarak, kurutma giderleri ve kurutma süresinin minimize edilmesidir.

Masif ağaç malzemenin kullanılmadan önce kullanım yerinin gerektirdiği kuruluğa kadar kurutulması gerçeği artık günümüzde herkes tarafından benimsenmiştir. Kurutmanın ayrıca, çürümeyi engellediği, ağaç malzemenin çalmasını sınırladığı, planyalama, frezeleme ve benzeri işlemleri kolaylaştırdığı, tutkallama ve yapışma kabiliyetini artırdığı, koruyucu üst yüzey işlemlerini başarılı kıldığı, dirence dayalı özellikleri iyileştirdiği çok net olarak söylenebilmektedir.

Kurutmayı genel anlamda doğal ve teknik kurutma olarak ikiye ayırabiliriz. Teknik kurutma gerek kurutma süresinin çok kısa olması ve gerekse diğer bazı avantajlarından ötürü günümüzde artık doğal kurutmanın yerini büyük ölçüde almıştır. Teknik kurutma uygulamaları içinde yer alan en yaygın kurutma yöntemleri ise, sırasıyla klasik, kondenzasyonlu ve vakumlu kurutma yöntemleridir. Bu yöntemler dışında, 100 °C nin üzerinde yüksek sıcaklıklarda kurutma, yüksek frekansla kurutma gibi uygulamada pek az yer bulmuş kurutma yöntemleri ve kızgın yağlar içerisinde kurutma, organik çözücülerle kurutma, organik madde buharıyla kurutma, kimyasal maddelerle kurutma ve pres kurutma gibi halen çoğu laboratuvar düzeyinde kalmış diğer kurutma yöntemleri mevcuttur. Bu kurutma yöntemlerine son dönemde, yüksek frekansla vakumun kombine edildiği kurutma yöntemi de (YFV) dahil olmuştur ve bu yöntemle kurutma yapan fırınlar ülkemizde endüstrileşme sürecine girmiştir. Bu yöntemde, yüksek frekans

jeneratöründen sağlanan elektromanyetik dalga ısıtma sağlarken vakumla kurutma yapılmaktadır.

Dünyada ve ülkemizde söz konusu 3 yöntem içinde en yaygın olanı klasik yani konvansiyonel kurutma, daha sonra kondenzasyonlu ve vakumlu kurutma yöntemleridir. Konvansiyonel kurutma yöntemi ile çalışan kurutma fırınları; esas olarak işletme ve yatırım maliyetleri bir arada düşünüldüğünde çok daha fazla kabul görmüştür.

Genelde bir kurutma metodunun ekonomikliğini kurutma süresi, kurutmada meydana gelen kusurlar ve değer kaybı, enerji tüketimi bakımından verdiği sonuçlar belirlemektedir. Bu kapsamda, her 3 kurutma yöntemini tüm unsurları ile teorik olarak ele alacak olursak; kurutma süreleri anlamında, klasik kurutma, kondenzasyonlu kurutmanın 1/3 ile 1/5'i oranında daha kısa iken, vakumlu kurutma klasik kurutma ile elde edilen sürenin 1/3-1/7'si kadar kısadır. Kurutma kalitesi olarak ise, kondenzasyonlu kurutmanın kalitesi gerek nicel olarak ve gerekse nitel olarak klasik kurutma ile ulaşılan kurutma kalitesinden daha iyi değilken, vakumlu kurutma, meşe, kayın, gürgen gibi sert ağaçların ve egzotik türlerin kalın kerestelerinin kurutulmasında kurutma kalitesi ve işletme masrafları bakımından daha iyi sonuçlar vermektedir. İşletme maliyetleri ve enerji giderleri değerlendirildiğinde ise, kondenzasyonlu kurutmanın %15 rutubete kadar olan kurutmalarda klasik kurutmaya göre ekonomik olduğu, vakumlu kurutmanın ise özellikle klasik kurutmaya göre gerek enerji ihtiyacının ve gerekse yatırım giderlerinin yüksek olduğu ifade edilebilir. Vakumlu kurutmada enerji ihtiyacındaki fazlalığı gidermek adına ısının geri kazanımını temin eden unsurlar mevcut sisteme ilave edilmektedir. Yukarıda ifade edildiği gibi, son dönemde endüstrileşmeye başlayan YFV yönteminde ise, yapılan orijinal çalışmalar kurutma sürelerinin klasik kurutmanın 1/10 hatta 1/15'i kadar olduğu, bu son derece kısa kurutma süreleri de 1 m³'e yansıyan kurutma giderlerini makul kılmaktadır.

Teknik kurutmanın ekonomisini ortaya koyan en önemli unsur toplam kurutma süresidir. Teknik kurutma süresini etkileyen faktörler ise; ağaç türü (yoğunluk), başlangıç rutubeti, kereste kalınlığı, kurutmada uygulanan şartlar, ağaç malzemenin boyu ve şekli, kerestenin biçiliş yönü, kurutma da yaşanan kesintiler, kurutma fırını yapısı ve kurutmada kalite istekleridir [1].

Kısaca özetlersek, yoğunluk, başlangıç nemi ve kereste kalınlığı arttıkça kurutma süresi artarken, hava hareket hızı, kurutma sıcaklığı ve şiddetinin artışıyla kurutma süresi azalır. Hava hareket hızının özellikle yüksek başlangıç rutubetlerinden lif doygunluğu noktasına kadar olan kurutma sürecinde etkili olduğu bilinmektedir.

Bu noktada esas kurutma süresini ortaya koyan formül Eş. 1'de gösterilmiştir:

$$S_k: 1/\alpha \cdot (\ln U_a - \ln U_e) \cdot (d/25)^{1.5} \cdot 65/T \cdot (1.5/w)^{0.6} \quad (1)$$

1/α: Yoğunluğa bağlı katsayı U_a: Başlangıç rutubeti (%)
 U_e: Sonuç rutubeti (%) d: Kereste kalınlığı (mm)
 T: Sıcaklık (°C) w: Hava hareket hızı (m/s)

Teknik kurutma uygulamalarında ortaya çıkan süreleri, süre farklarının nedenlerini ve ekonomik değerlendirmesini ortaya koyan çok sayıda yayın bulunmamakla beraber, endüstriyel kereste kurutma fırını üreten bazı firmaların ortaya koyduğu sonuçlarda bizim için önemli bir veri niteliğindedir.

Dünyaca ünlü kurutma fırını üreticisi **VANICEK**, hazırlamış olduğu tanıtım katalogunda, farklı ağaç türlerinin farklı kalınlıkları için sunduğu çizelgelerde, klasik kurutma için olması gereken ideal kurutma sürelerini sunmuştur (Tablo 1, Tablo 2 ve Tablo 3). Bu çizelgeler modern

diyebileceğimiz klasik kurutma fırınlarında başlangıç rutubetine bağlı olarak ulaşılması gereken süreler hakkında önemli ipuçları sunmaktadır.

Tablo 1. Önemli bazı ağaç türlerinin saatlik kuruma yüzdeleri
(Drying percents per hour for some important wood species)

Ağaç türü	Saatlik kuruma yüzdeleri
Meşe	0.1-0.2
Kayın	0.3
Ladin	1.0

Not: Kereste kalınlığı 25 mm, sonuç nemi %10 olacak şekilde düzenlenmiştir.

Tablo 2. Farklı tam kuru yoğunluk grupları için saatlik kuruma yüzdeleri
(Drying percents per hour for different oven-dry density groups)

Tam kuru yoğunluk (kg/m ³)	Saatlik kuruma yüzdeleri
200-400	1.00-2.00
400-600	0.50-1.00
600-800	0.15-0.50
800-1000	0.05-0.15

Not: Kereste kalınlığı 25 mm için düzenlenmiştir.

Tablo 3. 25 mm kalınlık için hesaplanan kurutma sürelerinin diğer kalınlıklara enterporasyonu için geçerli çarpım katsayıları (Current multiplication coefficients for the interpolation to other thicknesses up to 25 mm thickness calculated drying times)

Kereste kalınlığı (mm)	Çarpım katsayısı	Kereste kalınlığı(mm)	Çarpım katsayısı
15	0.46	60	3.72
20	0.72	70	4.68
25	1.00	80	5.72
30	1.31	90	6.83
35	1.66	100	8.00
40	2.02	120	10.50
50	2.83	140	13.30

Yine dünyaca ünlü diğer bir kurutma fırını üreticisi NARDI firması için, R. Cividini (2001) tarafından hazırlanmış tanıtım bülteninde, kurutma süresini belirleyen tüm faktörler ışığında ideal kurutma sürelerinin nasıl hesaplanacağı ile ilgili anlatımlar ve süreyi belirleyen faktörlerle ilgili çizelgeler ortaya konmuştur [2].

1.2. Akustik Emisyon Metodu ve Kullanımı (Acoustic Emission Method and Its Usage)

Akustik Emisyon (AE), gerilme altındaki malzemelerde bir ya da daha çok yerel kaynağın hızla enerji salarak geçici elastik dalgalar ürettiği olaylar ve bu şekilde oluşan geçici elastik dalgalar olarak tanımlanır [3,4]. Zayıf materyaller düşük gerilme seviyelerine maruz kaldıklarında AE üretirler. Malzeme kritik bir eşiğin üzerinde gerilmeye maruz kaldığı zaman meydana gelen çatlaklar AE sinyallerinin oluşmasına neden olmaktadır. Ahşap ya da ahşap esaslı levhalarda akustik emisyon düşük ya da yüksek düzeyde gerilme ve deformasyonlar, plastik deformasyonlar, çatlak oluşumu ya da yayılması, sıcaklık ya da malzeme rutubetindeki belirgin

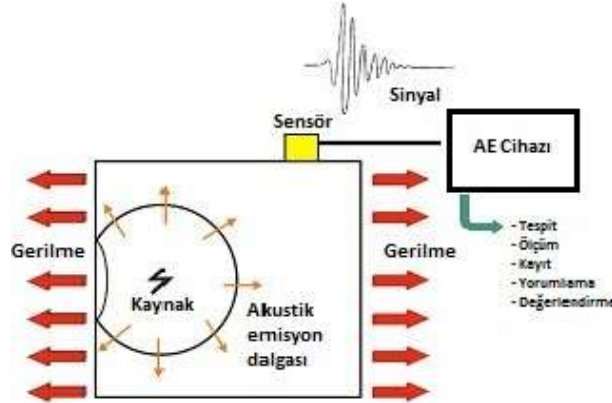
değişiklikler, kuruma, lümenlerdeki özsuyu boşalması, donma, anizotropi, olumsuz çevre koşullarında anatomik yapıda meydana gelen heterojenlik vb. bir çok faktör tarafından oluşturulabilir [5]. AE analizlerinin amacı oluşan bu akustik emisyonların kaynağı (malzeme içerisindeki zayıflıklar, kusurlar vb.) hakkında bilgi elde etmektir.

Gerilme altındaki malzemelerden açığa çıkan AE'nin fark edilmesi, aslında yeni bir gözlem değildir. Maden ocaklarındaki destek ve payandaların çıkardığı gıcırtilardan, yakın felaketlerin ilk habercisi olarak yüzyıllar boyunca yararlanılmıştır. Kalay bükülürse ikizlenme meydana gelir ve bu sırada yayınlanan çatlama sesi "kalay çığılığı (tin cry)" olarak bilinir. Depremler büyük ölçekli akustik emisyon olayına tipik bir örnektir. İster malzemede oluşan bir mikro-çatlak olsun, ister bir deprem, AE oluşum mekanizması aynıdır [6].

Modern AE araştırma çalışmaları, daha ziyade malzemelerden ultrasonik, kulağın işitemeyeceği mertebedeki, frekanslarda yayılan seslerle ilgilidir. Akustik emisyonlar geniş bir frekans aralığında saptanabilmekle birlikte (100 kHz ... 1 MHz), ahşap için kullanılan piezoelektrik sensörlerin en uygun frekans aralığı 100 ile 200 kHz aralığıdır. Odunda ses dalgalarının sönümlenmesi frekans artışıyla üstel olarak arttığı için daha yüksek frekanslar uygun değildir [5, 6, 7, 8, 9].

1.2.1. Akustik emisyonun temel parametreleri (Acoustic Emission Parameters)

Diğer katılarda olduğu gibi ahşap ve ahşap esaslı kompozitlerde de akustik emisyon olayları, malzeme mekanik bir yüke ya da diğer stres oluşturan koşullara (ısı değişimleri, rutubet değişimleri vb.) maruz kaldığında açığa çıkar. Gerilme altındaki malzeme zayıf lokasyonlarda toplanan gerilme enerjisinin serbest bırakılmasıyla oluşan ani elastik dalgalar yayılır [10]. Şekil 1 gerilme altındaki bir malzeme için AE tespit ve değerlendirme prosesini göstermektedir. Malzeme içerisindeki zayıf (kusurlu) bir noktadan yüzeye doğru bir gerilme (ya da deformasyon) dalgası yayılır. Malzeme yüzeyine yerleştirilmiş bulunan AE sensörü oluşan vibrasyona tepki verir ve sensör içerisindeki piezoelektrik (PZT) materyal tarafından bir elektrik voltajı üretilir. Bu elektrik sinyali bir AE cihazı vasıtasıyla analiz edilerek değerlendirilir. Eğer kullanılan AE sensörleri rezonans tipteyse çıktı büyük oranda piezoelektrik elementin frekansı olacaktır fakat aynı zamanda malzemede oluşan deformasyon dalgasının karakteristikleri tarafından da modifiye edilecektir [9,11]. Materyal içerisindeki tek bir çatlak, tek ya da çoklu akustik emisyon olayı (event) üretir. Bir olay transdüsere ulaştığında ve algılanabilir bir çıktıya neden olduğunda bu bir "vuruş(hit)" olarak adlandırılır. Kusur tarafından üretilen akustik emisyonun tipi, fasıllı enerji paketleri olarak açığa çıktığı için "akustik emisyon atımı (burst)" olarak isimlendirilir. Ağaç malzeme için üretilen emisyonlar 20-300 kHz frekans aralığındadır [9].



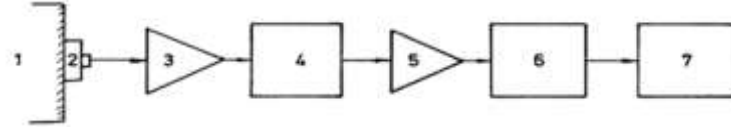
Şekil 1. AE oluşumu ve algılanması (Occurrence of AE and perception)

1.2.2. Akustik Emisyon Ölçümü (Acoustic Emission Measuring)

Bir AE dalgası bir mikro çatlak oluşumu ile boşalan enerji tarafından oluşturulan geniş bir frekans aralığına (kHz-MHz) sahip elastik bir dalgadır. Oluşan bu AE dalgaları uygun AE ekipmanı ile elektriksel olarak işlenerek AE sinyal dalgalarına dönüştürülür. AE sinyal dalgasının frekans spektrumu kullanılan transduserlerin özellikleri, malzemenin yapısı ve dalga yollarının ilerlediği hattan (wave path) etkilenmektedir. AE sinyal dalga formu (waveform), genellikle boyuna, enine, Rayleigh ve yansımış dalgaların toplamından oluşan bir formdur. AE sinyali dalga formu aynı zamanda malzemenin boyutlarından da etkilenmektedir. Malzeme kalınlığı dalga boyundan daha kısa ise maksimum genlik yüzey dalgaları yerine Lamb dalgaları tarafından belirlenecektir [6].

Akustik emisyon transduserlerinin ve sistemlerinin kalibrasyonu için genellikle iki metot kullanılmaktadır. En yaygın olanı, kurşun kalem ucunun kırılmasıdır (lead break). 0.3 mm uçlu bir kurşun kalem kullanılır. Bu malzemenin birkaç farklı noktasında birkaç kez yapılır. Diğer metot materyal üzerine yerleştirilen ve uygun çıktı düzeyi ve oranı için ayarlanan bir sinyal üreticinin kullanılmasıdır. İkinci teknik aynı zamanda materyalin sönümlemesinin (attenuation) belirlenmesi için daha uygundur [9].

Bir AE izleme-ölçüm sisteminin amacı, AE kaynaklarından gelen tüm sinyalleri algılamak, bunların sayısı ve dağılımlarını gerilim, basınç, sıcaklık gibi bir ya da daha fazla deney değişkeni ile ilişkili olacak şekilde kaydetmek ve söz konusu kaynakların sınıflandırılmasını ve konumlarının belirlenmesini sağlamaktır. Şekil 2'de gösterildiği gibi her AE izleme sisteminde, sinyalin ulaştığı ilk nokta transduserlerdir. Bunu sırası ile ön yükselteç (pre-amplifier), süzgeç, güç yükselteci, sayıcılar, sinyal değiştirme ve işleme katı ile veri kayıt ve gösterim araçları izler [12, 13].



Şekil 2. Bir AE izleme sisteminin blok şeması (1-Malzeme, 2-Transduser, 3-Ön Yükselteç, 4-Süzgeç, 5-Güç Yükselteci, 6- Sayıcılar, Sinyal İşleme 7-Veri Kayıt ve Gösterim)

(A block diagram of an AE monitoring system 1-Material, 2-Transducer, 3- Pre-Amplifier, 4-Filter, 5- Power Amplifier, 6- Counters, Signal Processing, 7- Data Recording and Presentation)

Ahşap ve ahşap esaslı kompozitlerde AE sinyalleri üzerine etkili olan faktörler dışında ahşap ve ahşap esaslı kompozitlerde akustik emisyon tetkikini etkileyen malzeme özellikleri de son derece önemli olmaktadır. Bunlar; malzeme sönümlemesi, ses dalga hızı, ağaç türü, lif açısı, yıllık halka yapısı ve rutubet içeriğidir.

2. MATERYAL VE METOD (MATERIAL AND METHOD)

2.2. Yöntem (Method)

2.2.1. Kurutma Fırını ve Kurutma yöntemi (Drying Kiln and Drying Method)

Kurutma uygulamalarında, yaklaşık 1 m³ net kereste kapasiteli, klasik kurutma metoduyla kurutma yapan kereste kurutma fırını kullanılmıştır (Şekil 3). Hava-su buharı karışımı içinde, 100 °C nin altında sıcaklıklarda kurutma yöntemi olarak tanımlanan bu yöntemde, keresteler çitallı sandık şeklinde istiflenerek kurutulmuştur. Tam otomatik kurutma kontrol sistemiyle yönetilen fırında, kereste nemine dayalı olarak, ortam sıcaklığı ve ortam denge nemi, talep edilen kurutma programına dayalı olarak yönetilmektedir. Bu sistemde 3 m/s sabit hava hareket

hızı uygulanmaktadır. Tüm kurutma denemelerinde çıta kalınlığı olarak 2.5 cm kalınlığında çam istif çitası kullanılmıştır. Kurutma donanımı ve yazılımı olarak, HOLZMEISTER lisansıyla üretim yapan LOGICA firmasına ait sistem kullanılmıştır. Sisteme ait yazılım WW2 olarak tanımlanmaktadır. Yine sisteme ait kurutma programı listesinde yer alan çok sayıda ağaç türüne ait yüzlerce kurutma programından, Çam ağaç türüne ait hazırlanmış programlardan seçim yapılmıştır. Kurutma denemelerinde, şiddetli diyebileceğimiz kurutma programlarından başlanmış, ortaya çıkan sonuçlar ışığında kurutma şartlarını yeniden düzenleyerek sonraki kurutma programları şekillendirilmiştir. Her yapılan kurutma uygulamasında ortaya çıkan kurutma kalitesi ve akustik emisyon verileri ilişkilendirilmiş ve sonuçta hem kalitenin korunduğu ve hem de ideal kurutma sürelerinin elde edildiği kurutma şartları yani kurutma programları ve bu programları sağlayan AE eşik değerleri ortaya konabilmiştir.



Şekil 3. Kurutma denemelerinde kullanılan 1m³ net kereste kapasiteli klasik kurutma fırını, iç ekipmanı ve otomasyonu (Conventional drying kiln with 1m³ capacity, interior equipment and automation for experiments)

Kurutma denemeleri sonunda ortaya çıkan kurutma kalitesinin değerlendirilmesinde; Avrupa kurutma grubuna ait kalite standardı [14] esas alınmıştır. İlgili standartta yer alan kriterler ve limitler aşağıdaki tabloda sunulmaktadır (Tablo 4). İdeal diyebileceğimiz kurutma programlarına ulaşmada, kurutma kalite hedefi olarak Q (Quality dried) kalite düzeyinin yakalanması yeterli görülmüştür.

Tablo 4. EDG-1992'ye göre kereste kurutma kalitesi kriterleri ve limitler
(Lumber drying criteria and limits according to EDG-1992)

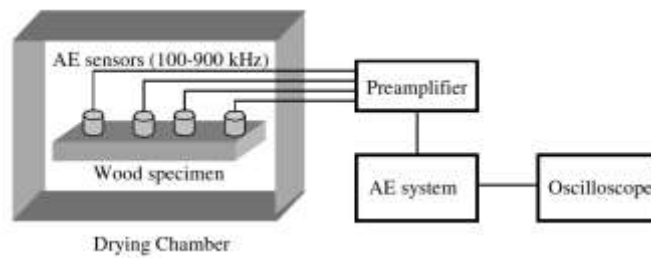
Kriterler		Kalite sınıfı S (Standard)	Kalite sınıfı Q (Kaliteli)	Kalite sınıfı E (özel kalite)
Hedef sonuç nemiyle(%) ortalama sonuç nemi arasındaki maksimum sapma	d≤40 mm	+ 2.0 / - 3.0	+ 2.0 / - 2.0	+ 1.5 / - 1.5
	d>40 mm	+ 3.0 / - 3.0	+ 2.5 / - 2.5	+ 2.0 / - 2.0
Hedef sonuç nemiyle(%) münferit nem değerleri arasındaki maksimum sapma	d≤40 mm	+ 4.0 / - sınırsız	+ 3.0 / - 3.0	+ 2.0 / - 2.0
	d>40 mm	+ 6.0 / - sınırsız	+ 4.0 / - 4.0	+ 3.0 / - 3.0
Dış	Parmak	ilk ölçüm	Orta (2)	hafif (1)

sertleşme	örnek testi	24 saat sonraki ölçüm	şiddetli (3)	orta (2)	hafif (1)
kollaps(kalınlık kaybı)		(örneklerin % 10 unda)	Max. 6 mm	Max. 3 mm	Max. 2 mm
çatlaklar	Yüzey çatlakları (her bir yüzeyde)		Max. derin. 5 mm	Max. Derin. 3 mm	Max. Derin. 2 mm
	İç çatlakları		Örneklerin % 10 unda	Örneklerin % 5 inde	Örneklerin % 2 sinde
	Uç çatlakları (örneklerin %90 ında)	d≤40 mm	Max. uzun. 200 mm	Max. uzun. 100 mm	Max. uzun. 50 mm
		d>40 mm	300 mm	200 mm	100 mm
Deformasyonlar			Ahşabın daralma ve daralma anizotropisinden ve irsel özelliklerinden kaynaklanan deformasyonlar kabul edilmektedir.		

2.2.2. Akustik Emisyon Ölçüm Yöntemi (Acoustic Emission Measuring Method)

Kereste kurutma prosesini kontrol etmek için akustik emisyon kaynağını tanımlamak son derece önemlidir. Kuruma sırasında oluşan AE'ler kerestelerin hızlı kuruyan yüzey tabakalarındaki çekme gerilmelerine karşılık nispeten daha nemli durumdaki iç kısımlarında buna karşılık oluşan basınç gerilmeleri nedeniyle oluşur. Bu emisyonların karakteristikleri incelenerek kaynağı tespit edilebilir ve bu sayede kurutma prosesi kontrol edilerek yönetilebilir. Kerestenin kuruması esnasında kereste yüzeylerindeki çekme gerilmelerinin neden olduğu deformasyon orantılı sınıra ulaşırken AE aktivitesi artar ve birikimli AE enerjisi ilk küçük çatlakların oluşması ile birlikte hızlı bir şekilde yükselir. Tecrübeler en büyük AE kaynağının orantılı sınır altında cereyan eden rutubet hareketleri ile ilgili yüzey çekme gerilmeleri, çatlak oluşumu ve odun sıcaklığındaki ani değişime bağlı termal gerilmeler olduğunu göstermiştir.

Akustik emisyon ekipmanı yukarıda teknik özellikleri ve çalışma prensibi verilen kurutma fırınına adapte edilmiştir. Bunun için ısıya dayanıklı piezoelektrik elektrotlar fırın içerisinde örnek keresteler üzerine yerleştirilmiş ve kereste içerisinde bu elektrotlar vasıtasıyla algılanan emisyon sinyalleri yine ısıya dayanıklı kablolar aracılığı ile akustik emisyon sinyal işleme boardına aktarılmıştır. Burada işlenen sinyaller cihaz yazılımı yardımıyla bilgisayarda analiz edilerek kurutma kusurlarının oluşumu bakımından AE emisyon karakteristikleri incelenmiştir. Şekil 4'de akustik emisyon ekipmanının kurutma fırınına adaptasyonu görülmektedir.



Şekil 4. AE ekipmanı ile kurutma fırını arasındaki bağlantı düzeni (Connection apparatus between AE equipment and drying kiln)

Yapılacak deneysel uygulamalarla kurutmanın seyri sırasında kerestelerin yaydığı akustik emisyonların incelenen parametreleri ışığında kurutma kusurlarının oluşum süreçleri tanımlanmış ve kurutma elde edilen verilere göre yönetilmiştir.

İlk kurutma ile birlikte toplam 4 kurutma uygulaması yapılmıştır. Önce pratikte uygulanan şiddetli diyebileceğimiz kurutma programı rutin olarak gerçekleştirilmiş, bu süreçte kurutmanın herhangi bir aşamasında kurutma şartlarına müdahale edilmemiştir. Bu kurutma sonunda sonuç kalite kontrolleri yapılarak kurutmanın kalitesi ortaya konmuştur. Ortaya çıkan kaliteye göre

kurutma şartları (kurutma meyli ve sıcaklık değerleri) yumuşatılarak veya şiddetlendirilerek oluşturulan yeni kurutma programı uygulanırken ses dalgası verileri de düzenli olarak alınmıştır. Bu programın uygulanışıyla birlikte dinamik değerlendirme mantığıyla kurutma işlerken ara kalite kontroller yapılarak duruma göre kurutma şartlarının değiştirilmesiyle kurutma yönlendirilmiş ve nihayetinde kalite ve süre anlamında net bir sonuca varana kadar yapılan ilave kurutmalarla, sonuçta o ağaç türünün o kalınlığı için, kurutma kalitesinin korunduğu, süre ve giderlerin minimum olduğu kurutma programına ve aynı zamanda bunu işaret eden akustik emisyon eşik değerine ulaşılmaya çalışılmıştır. Bu çalışma süreci sonucunda Sarıçam kerestesinin 10 cm kalınlığı için ideal kurutma sonuçlarını veren akustik emisyon eşik değerleri belirlenmiştir.



Şekil 5. Akustik Emisyon Uygulama Ekipmanı Ve Kurutma Fırınına Adaptasyonu
(Acoustic emission equipment and connection apparatus to drying kiln)

3. BULGULAR (FINDINGS)

Toplam 4 kurutma denemesinden, kontrol amaçlı ilk kurutmada şiddetli diye niteleyebileceğimiz aşağıdaki kurutma programı uygulanmıştır (Şekil 6). Kurutmada başlangıç nemi ortalama %64, sonuç nemi %15 ve ortaya çıkan toplam kurutma süresi 14 gün olarak gerçekleşmiştir. Kurutma sonunda ortaya çıkan derin çatlaklar ve deformasyonlar nedeniyle, sonraki kurutma denemelerinde kurutma şartları kısmen yumuşatılmış, devam eden kurutma sürecinde, aynı zamanda AE ölçümler alınmıştır. Yapılan ikinci ve üçüncü kurutma denemelerinde edinilen kalite ve AE verileri ışığında rehabilite edilen kurutma şartları dördüncü kurutma uygulamasında realize edilmiş ve nihayetinde ideal diyebileceğimiz kurutma programı ve bu programa ait AE verileri belirlenmiştir (Şekil 7). Bu kurutma uygulamasında; % 50- 15 nem aralığında, EDG-1992 ön gördüğü Q kalite düzeyi yakalanarak, kurutma süresi 10 gün olarak gerçekleşmiştir. Bu süreçte elde edilen AE verileri Şekil 8'de sunulmaktadır. 4 adet AE sensöründen alınan vuruş sayısı ve ses şiddeti verileri yorumlandığında, en çok gerçekleştiği sensörde 8000 e kadar vuruş ve 50-60 dB arasında biriken ve kurutmanın bütününe bakıldığında

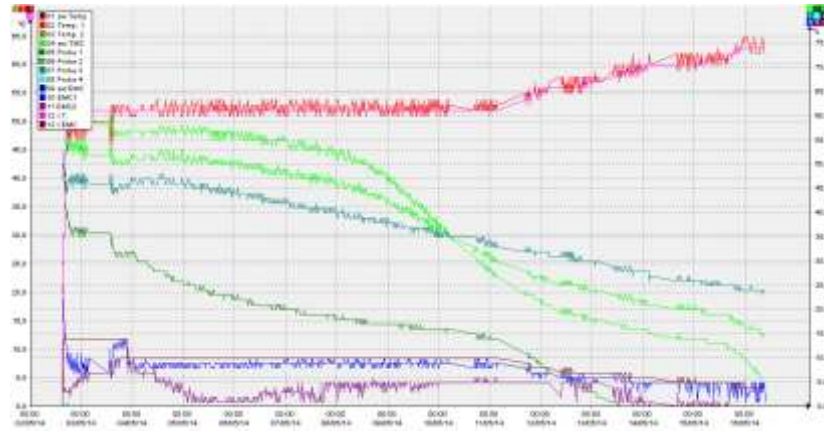
80 dB yi geçmeyen ses şiddetlerinde hem koruyucu ve hem de uzun olmayan kurutma süresi ve dolayısıyla makul kurutma giderleriyle Sarıçam kerestesinin kurutulabileceği belirlenmiştir.

Descriptions	
Remark	
Order	
Quantity	
Species	Pitch pine -
Phase 1	
Degrees / Hour	14
EMC during heating phase	14
Phase 2	
Core heating time	11
Phase 3	
Drying Gradient 1	29
Drying Gradient 2	35
Drying Temperature 1	52
Drying Temperature 2	63
Phase 4	
Conditioning Time	11
Conditioning EMC	10
Phase 5	
Timber Final Moisture	12
Fans cut off temperature	40
Various	
Fans Inversion Time	3
Timber Group	3
Timber Thickness	15
Status	
Current drying phase	Heating
On/Off	On
Stop	No
Wood probes	
TMC probe 1	Off
TMC probe 2	On
TMC probe 3	On
TMC probe 4	Off

(1)

#	Time	Status	avr.T.	T.1	T.2	avr.TMC	Probe 1	Probe 2	Probe 3	Probe 4	avr.EMC	EMC1	EMC2	L.T.	L.EMC	Phase	Flaps Fly	Heating relay	Spray Fly	Fans Fly
00901	02/05/14 14:00:14	No alarms.	20	20	0	64	50	75	53	0	0	22	0	0	0	Heating	OFF	OFF	OFF	OFF
00936	03/05/14 00:04:34	Alarm durumundaki aygıt	50	50	0	53	35	60	46	0	5	7	5	52	14	Core Heating	OFF	OFF	On	On
00994	04/05/14 00:08:53	Hiçbir alarm yok.	51	51	0	52	32	57	47	0	0	10	0	52	10	Drying	OFF	On	OFF	On
00590	05/05/14 00:09:58	Hiçbir alarm yok.	51	51	0	51	25	57	46	0	2	0	2	52	10	Drying	OFF	OFF	On	On
00286	06/05/14 00:11:30	Hiçbir alarm yok.	54	54	0	49	22	55	43	0	1	0	1	52	10	Drying	OFF	OFF	OFF	On
00382	07/05/14 00:13:03	Hiçbir alarm yok.	51	51	0	49	30	53	43	0	-2	0	2	52	10	Drying	OFF	On	OFF	On
00470	08/05/14 00:14:34	Hiçbir alarm yok.	54	54	0	45	18	51	39	0	-3	0	3	52	10	Drying	OFF	OFF	OFF	On
00573	09/05/14 00:02:05	Hiçbir alarm yok.	51	51	0	42	17	47	36	0	5	0	5	52	10	Drying	OFF	OFF	On	On
00660	10/05/14 00:02:34	Hiçbir alarm yok.	52	52	0	37	16	38	36	0	5	0	5	52	10	Drying	OFF	OFF	OFF	On
00720	11/05/14 00:08:21	No alarms.	53	53	0	31	14	28	54	0	5	0	5	52	10	Drying	OFF	OFF	On	On
00765	12/05/14 00:11:40	No alarms.	55	55	0	27	0	22	32	0	-5	7	5	53	8	Drying	OFF	On	OFF	On
00839	13/05/14 00:03:50	No alarms.	58	58	0	24	3	18	30	0	5	5	5	57	7	Drying	OFF	OFF	On	On
00811	14/05/14 00:03:23	Hiçbir alarm yok.	58	58	0	22	0	16	28	0	1	5	1	59	6	Drying	OFF	On	OFF	On
00950	15/05/14 00:14:51	No alarms.	59	59	0	21	0	14	26	0	1	5	1	60	6	Drying	OFF	On	OFF	On
01134	16/05/14 00:00:35	No alarms.	60	60	0	18	0	0	24	0	0	0	0	63	4	Drying	OFF	OFF	On	On

(2)



(3)

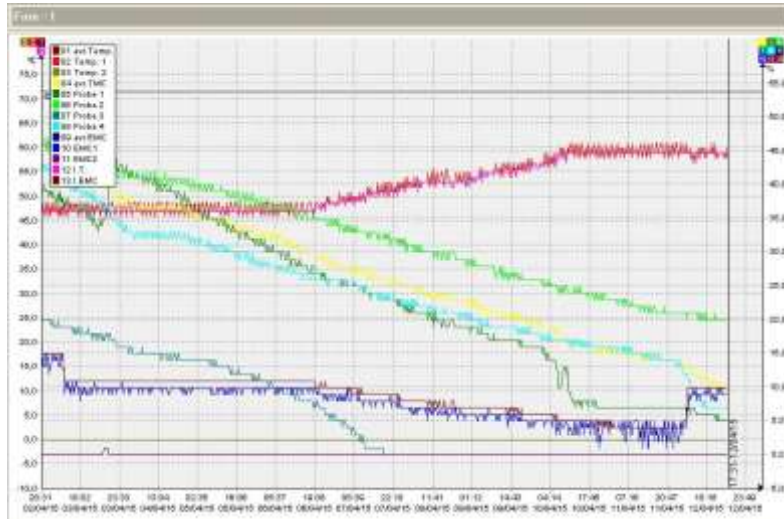
Şekil 6. İlk kurutma uygulamasında esas alınan kurutma programı [1], ölçüm geçmişi [2] ve ortaya çıkan grafik [3] (Data for first drying; Drying schedule [1], Measure history [2] and Graph [3])

İT	
Tarih: Pith yuva-	
1. Periyot	
Deneme / Saat	11
Deneme yapıldığı tarihte Denge Hava	25
2. Periyot	
Denkletme kadar ısıtma süresi	14
3. Periyot	
Fırınca Mevs 1	2,8
Fırınca Mevs 2	3,2
Fırınca Soğutma 1	47
Fırınca Soğutma 2	53
4. Periyot	
Denkletme süresi	14
Denkletme Denge Hava	28
5. Periyot	
Fırında Hava Puhubud	32
Fırında Isıyatma (soğutma)	48
Çeyrek	
Fırında Isı / Hava Çeyrek	3
Fırında Soğutma	3
Deneme / Saat	45 ** Isıtma yapıldığı **
Deneme	
Güncel fırınca periyodu	2. Periyot fırınca ısıtma süresi
Açık Kapak	Açık
Dur	İvrit
Kontrol İşlemleri	
III Düşürme 1	İvrit
III Düşürme 2	İvrit
III Düşürme 3	İvrit
III Düşürme 4	Açık
Kontrol Kaldırma	
Kontrol Kaldırma	

(1)

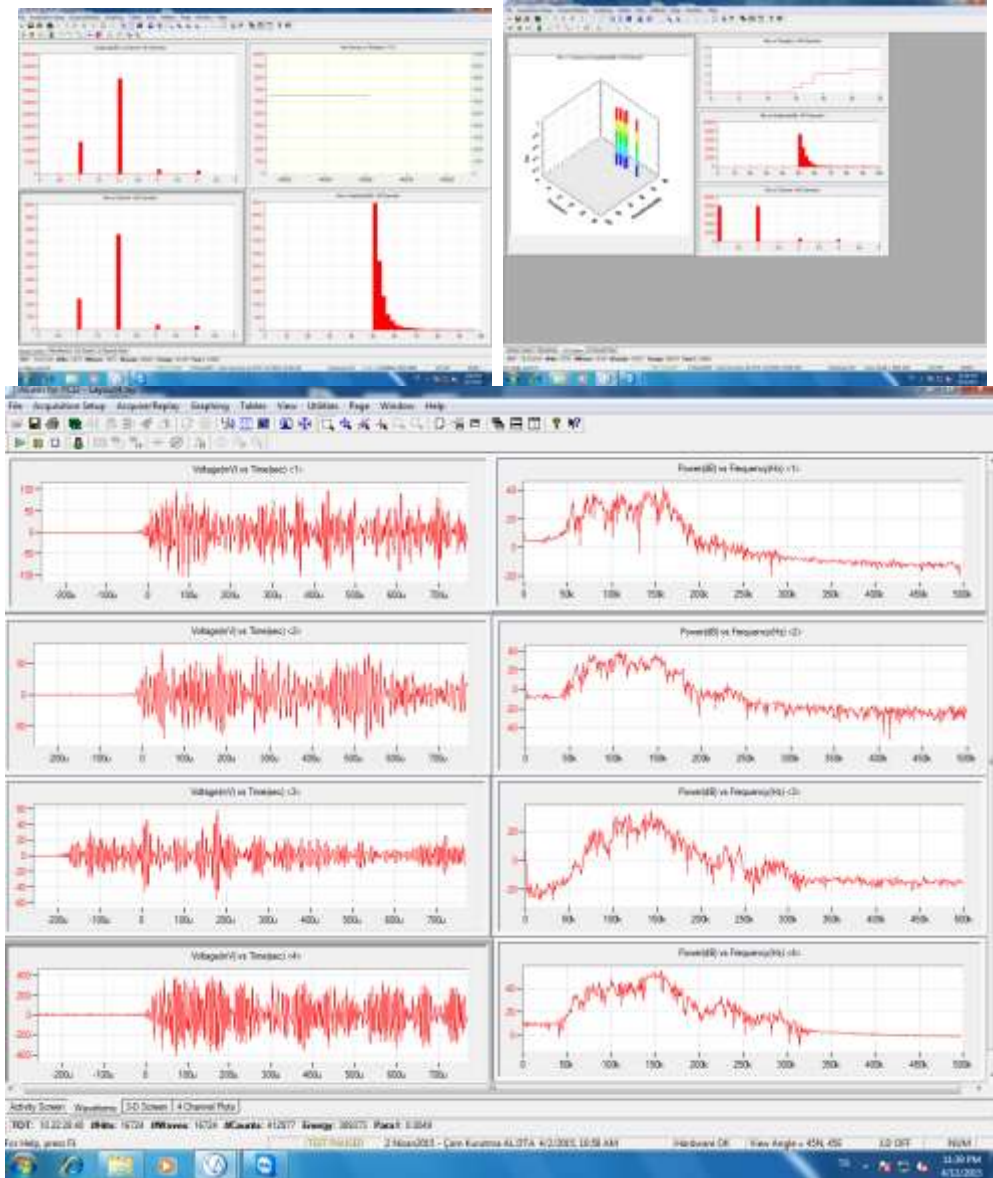
#	Zaman	Durum	ort. S.	S.1	S.2	ort.DH	Düşürme 1	Düşürme 2	Düşürme 3	Düşürme 4	ort.DH	Denge Hava 1	Denge Hava 2	I.S.	LDH	Periyot
8881	02.04.15 10:50:39	High air temp yok.	28	28	8	50	39	48	32	50	0	5	8	18	15	Isıtma
8884	03.04.15 00:13:56	High air temp yok.	46	46	8	43	39	47	20	43	0	14	8	47	15	Denkletme kadar ısıtma
8885	04.04.15 00:14:34	High air temp yok.	47	47	8	38	43	42	16	34	0	11	8	47	11	Fırınca
8886	05.04.15 00:00:12	High air temp yok.	48	48	8	35	37	40	14	32	0	9	8	47	11	Fırınca
8887	06.04.15 00:00:50	High air temp yok.	46	46	8	33	32	38	11	29	0	28	8	47	11	Fırınca
8888	07.04.15 00:01:28	High air temp yok.	48	48	8	29	26	35	5	26	0	9	8	48	10	Fırınca
8889	08.04.15 00:00:11	High air temp yok.	51	51	8	26	23	31	0	23	0	8	8	51	9	Fırınca
8890	09.04.15 00:00:50	High air temp yok.	54	54	8	23	19	29	0	20	0	9	8	53	7	Fırınca
8891	10.04.15 00:07:31	High air temp yok.	57	57	8	19	16	24	0	18	0	5	8	57	6	Fırınca
8892	11.04.15 00:08:19	High air temp yok.	68	68	8	15	7	23	0	16	0	4	8	50	4	Fırınca
8893	12.04.15 00:04:10	High air temp yok.	58	58	8	14	7	21	0	14	0	2	8	59	4	Kurutma
8894	12.04.15 16:05:25	High air temp yok.	59	59	8	10	5	20	0	7	0	9	8	59	10	Denkletme
8895	12.04.15 16:20:26	High air temp yok.	68	68	8	10	5	20	0	7	0	8	8	59	10	Denkletme
8896	12.04.15 16:35:26	High air temp yok.	58	58	8	10	5	20	0	7	0	9	8	59	10	Denkletme
8897	12.04.15 16:50:27	High air temp yok.	68	68	8	10	5	20	0	7	0	8	8	59	10	Denkletme
8898	12.04.15 17:05:27	High air temp yok.	58	58	8	10	5	20	0	7	0	9	8	59	10	Denkletme

(2)



(3)

Şekil 7. Son kurutma denemesinde uygulanan kurutma programı [1], ölçüm geçmişi [2] ve ortaya çıkan grafik [3] (Data for last drying; Drying schedule [1], Measure history [2] and Graph [3])



Şekil 8. Son Kurutma Denemesinde 4 Sensörden Alınan AE Verilerine Ait Görseller (AE graphs from 4 transducers for last drying)

4. SONUÇ VE TARTIŞMA (CONCLUSION AND DISCUSSION)

Daha öncede ifade edildiği gibi, bir ağaç türünün belli bir kalınlığına ait kurutma süresini belirleyen en önemli faktörler, o ağaç türünün ırsel özellikleri kadar, başlangıç ve hedef sonuç rutubetleriyle beraber uygulanan kurutma şartlarıdır. Bu noktada, 10 cm kalınlığında Sarıçam kerestesinin kurutulmasında kontrol kurutmasında, %64-%15 nem aralığında şiddetli diyebileceğimiz kurutma uygulamasında süre 12 gün olarak gerçekleşmiş, buna karşın %50-15 aralığında gerçekleşen son kurutmada süre 10 gün olarak gerçekleşmiştir. Bu iki kurutma karşılaştırıldığında, ilk kurutmada, %30 nemim üstünde 2.9 kurutma meyli ve 52 C sıcaklık, altında ise 3.5 kurutma meyli ve 63 C sıcaklık uygulanmışken, son kurutmada %30 nemim üstünde 2.6 kurutma meyli ve 47 C sıcaklık, altında ise 3.2 kurutma meyli ve 59 C sıcaklık uygulanmıştır. Buna göre, her ne kadar daha koruyucu kurutma şartları uygulandığı halde daha kısa kurutma sürelerine ulaşılmış gibi görünse de, ilk kurutma prosesinde %50-15 nem aralığında

ulaşılan yaklaşık 8 günlük süreye karşı son kurutmada ulaşılan 10 günlük kurutma süresinin anlamlı bir sonuç olduğu söylenebilir. Ortaya çıkan süreleri, literatür verileriyle karşılaştıracak olursak; VANICEK firmasının ortaya koyduğu çizelgelerde (Tablo 2 ve 3), aynı kurutma şartları için ortaya çıkan koruyucu kurutma süresi 15.5 gün olarak hesaplanmaktadır. Bu noktada kurutma kusuru oluşturmadan ulaşılan 10 günlük kurutma süresi ile 5.5 günlük bir tasarruf elde edilebileceği, dolayısıyla kurutma ekonomisi açısından bakıldığında, koruyucu bir kurutmaya göre %35 civarında süre ve dolayısıyla gider tasarrufuyla kusurların minimize edildiği kurutmalar yapmanın mümkün olabileceği rahatlıkla söylenebilir. Ortaya çıkan bu sonucu endüstriyel kurutma uygulamalarına adapte edecek olursak, bir çok faktörün kurutma giderlerini etkilediği bilinmekle birlikte, ortalama 100 m³ kapasiteli bir konvansiyonel fırında her m³ kereste için, günlük giderin 100 Usd ile 100 Euro arasında değiştiği bilindiğine göre, %35'e varan süre tasarrufuyla, 10cm kalınlığında 1 m³ Sarıçam kerestesini kurutmada minimum 5.5 Usd kazanç sağlanabileceği ifade edilebilir.

5. KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1]. Kantay, R., 1993. Kereste Kurutma ve Buharlama, Ormancılık Eğitim ve Kültür Vakfı, Yayın no: 6
- [2]. Cividini, R., 1983. Why and how wood dries ?, UNIDO Technical course on criteria for the selection of woodworking machines.
- [3]. ASTM E 1316, 2002, Standard Terminology for NDT.
- [4]. EN 1330-9, 2000. Terms Used in AE Testing.
- [5]. Bucur V., 2006. Acoustics of wood. Springer, Heidelberg
- [6]. Kawamoto S., Williams R.S. 2002. Acoustic emission and acousto-ultrasonic techniques for wood and wood-based composites: a review- General Technical Report FPL-GTR-134. Madison, WI.
- [7]. Drouillard T.F., 1990. "Anecdotal history of acoustic emission from wood". J Acoust Emission 9(3):155-176.
- [8]. Ono K., 1997. Acoustic emission. Crocker MJ (ed) Encyclopedia of acoustics, Wiley, New York, NY Chapter 68: 797-809.
- [9]. Beall F.C., 2002a. Acoustic emission and acousto-ultrasonics. Nondestructive Testing
- [10]. Bucur V., 2011. Delamination in Wood, Wood Products and Wood-Based Composites,
- [11]. Beall F.C., 2002b. "Overview of the use of ultrasonic technologies in research on wood properties". J Wood Sci and Technol 36(3):197-212.
- [12]. Tuncel S., 2008. Tahribatsız muayene teknolojilerinde son gelişmeler: Akustik emisyon. 3rd Int. Non-Destructive Testing Symposium and Exhibition, Istanbul, Turkey.
- [13]. ASTM E750-10. Standard practice for characterizing acoustic emission instrumentation.
- [14]. EDG, 1992. European Drying Group, Recommendation on Assessment of Drying Quality of Timber