

THE EFFECT OF THERMOWOOD HEAT TREATMENT ON SOME MECHANICAL PROPERTIES OF WILD CHERRY WOOD

Ayhan AYTİN¹, Süleyman KORKUT², Öner ÜNSAL³, Nusret AS³

¹Düzce University, Düzce Vocational School, Department of Material and Material Operation Technologies, 81010, Düzce, TURKEY

²Düzce University, Faculty of Forestry, Forest Industrial Engineering, 81620, Düzce, TURKEY

³İstanbul University, Faculty of Forestry, Forest Industrial Engineering, İstanbul, TURKEY
ayhanaytin@duzce.edu.tr

Abstract-This study aimed to determine the changes in some mechanical resistance values of wild cherry (*Cerasus avium* (L.) Monench) wood which was heat treated at different combinations of temperatures and durations using the thermowood method. The wild cherry (*Cerasus avium* (L.) Monench) wood was first thermowood heat treated at 190 and 212 °C for 1 and 2 h to obtain the test samples. Subsequently, static bending and elasticity modulus in static bending tests were applied to small-sized test specimens prepared as four thermowood-treated groups and a control group. Test results showed that the static bending resistance values decreased in all heat-treated groups when compared with the control samples, whereas the elasticity modulus in static bending increased for all groups.

Key Words: Wild cherry, thermowood, bending resistance, elasticity modulus

THERMOWOOD YÖNTEMİ İLE ISIL İŞLEMİN YABANI KİRAZ ODUNUNDA BAZI MEKANİK ÖZELLİKLER ÜZERİNE ETKİSİ

Ayhan AYTİN¹, Süleyman KORKUT², Öner ÜNSAL³, Nusret AS³

¹Düzce Üniversitesi, DMYO, Malz. ve Malz. İşleme Tek.Bölümü, 81000, Düzce, TÜRKİYE

²Düzce Üniversitesi, Orman Fakültesi, OEM Bölümü, 81000, Düzce, TÜRKİYE

³İstanbul Üniversitesi, Orman Fakültesi, OEM Bölümü, İstanbul, TÜRKİYE
ayhanaytin@duzce.edu.tr

Özet- Bu çalışmadaki amaç değişik sıcaklık ve sürelerde kombinasyonlar oluşturularak ThermoWood yöntemi ile ısıl işleme tabi tutulan Yabani Kiraz (*Cerasus avium*(L.) Monench) odununda bazı mekanik direnç değerlerinin değişimi belirlenmiştir. Deneme ağaçları ilk olarak 190°C ve 212°C sıcaklıklarda 1 ve 2 saat ısıl işleme tabi tutulmuş ve ThermoWood Yabani Kiraz (*Cerasus avium*(L.) Monench) elde edilmiştir. Daha sonra kontrol grubu(1) ve ThermoWood(4) olmak üzere hazırlanan küçük boyutlu test örneklerine statik eğilme ve statik eğilmede elastikiyet modülü testleri uygulanmıştır. *Bu makale, 4. Uluslararası Mobilya ve Dekorasyon Kongresi'nde sunulmuş ve İleri Teknoloji Bilimleri Dergisi'nde yayınlanmak üzere seçilmiştir.*

Test sonuçları ısıtma işlemi görmüş tüm gruplarda kontrol örneklerine göre; statik eğilme direnci değerinin azaldığını, buna karşılık statik eğilmede elastikiyet modülünde ise tüm gruplarda artış olduğunu ortaya koymuştur.

Anahtar Kelimeler- Yabani Kiraz, ThermoWood®, Eğilme Direnci, Elastikiyet Modülü

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Ağaç malzeme, yüzyıllardır insanların çeşitli gereksinimlerini karşılamak için kullanılmış oldukları yenilenebilir doğal bir hammaddedir. Literatürde insan gereksinimlerinin karşılanabilmesi amacı ile ağaç malzemeden üretilmiş yaklaşık 10.000 civarında ürün olduğu bildirilmektedir [1,2].

Çok geniş kullanım alanı bulunan ağaç malzeme bazı istenmeyen özelliklere sahip olup; boyutsal değişim, biyolojik degradasyon ve renk değişimi gibi istenmeyen özelliklerden dolayı kullanım ömrü azalmakta ve değeri düşmektedir. Günümüzde çeşitli yöntemler ile ağaç malzemenin istenmeyen özelliklerini iyileştirerek kullanım ömrünü uzatmak ve değerini artırmak mümkün olabilmektedir. Ağaç malzemenin istenmeyen özelliklerini ortadan kaldırarak kullanım ömrünü uzatmaya yönelik çalışmalardan biri de ısıtma işlemi tabii tutulmasıdır. Ağaç malzemeye ısıtma işlemi yapılması anlamına gelecek uygulamalara Vikingler zamanında bile rastlanılmakla beraber bilimsel manada çalışmalar son yüzyıl içerisinde gerçekleştirilmeye başlanmıştır. 1920'li yıllarda ABD'nde başlayan çalışmaların ardından ağaç malzemenin ısıtma işlemi üzerine bilimsel içerikli çalışmalar 1930'lu yıllarda Almanya'da devam etmiştir. Daha sonraki yıllarda çeşitli bilim adamları tarafından yapılan çalışmalar bulunmakla birlikte özellikle son otuz yılda Avrupa'da çeşitli araştırma gruplarının konuya verdikleri önem ve yaptıkları çalışmaların ardından çeşitli ısıtma yöntemleri geliştirilmiş, piyasalarda ısıtma işlemi görmüş ağaç malzeme yer almaya başlamıştır [2,3].

Isıtma işlemi, ağaç malzemede hücre çeperinin polimer bileşiklerinin kimyasal kompozisyonunda kalıcı değişimlerle sonuçlanan fiziksel bir işlemdir. Metodun temel fikri kimyasal reaksiyonların hızlandırıldığı yaklaşık 150°C'nin üzerindeki sıcaklıklarda ağaç malzemenin ısı ile muamele edilmesine dayanmaktadır.

Oduun yapısını bozmadan boyutsal stabiliteyi iyileştiren ve biyolojik bozunmaya karşı dayanıklılık sağlayan ısıtma işlemi, son zamanlarda çevre bilincinin artmasına paralel olarak çevreye zararlı maddelerin kullanımının azaltılmasına katkıda bulunmaktadır. İsveç'te 1990 yılından beri bu amaçlar için kullanılmakta olan çevreye zararlı 117 koruyucu madde yasaklanmış bulunmaktadır [4].

Emprenye edilmiş kereste, PVC, alüminyum, çelik gibi diğer materyaller ile karşılaştırıldığında ısıtma işlemi uygulanmış ağaç malzeme büyük ölçüde çevresel fayda sağlamaktadır. Isıtma işlemi uygulaması boyunca kullanılan enerji miktarı ve oluşan CO₂ miktarı özellikle PVC, alüminyum, çelik gibi materyaller ile karşılaştırıldığında düşüktür[2,5].

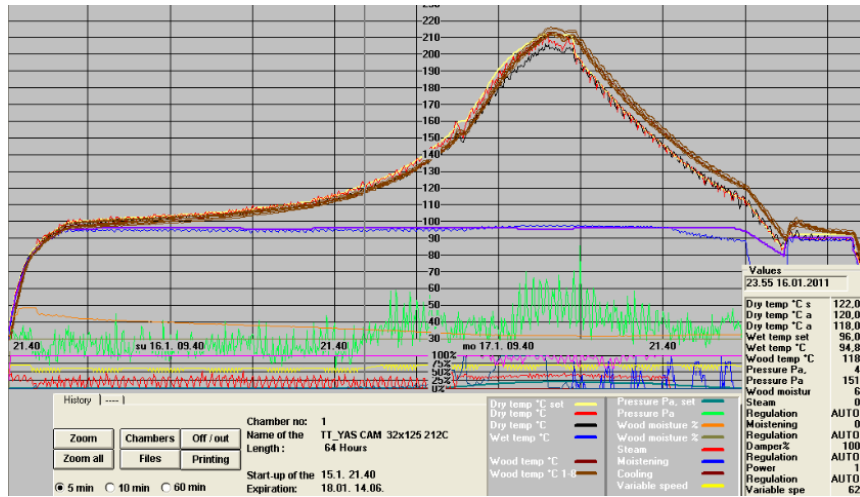
Avrupa'da son yıllarda geliştirilen ve Avrupa pazarında kabul gören ısıtma yöntemleri bulunmakla birlikte bu yöntemler içerisinde ticari amaçlar için en fazla kullanılan "ThermoWood" yöntemidir (Tablo 1). Finlandiya'da 1990'lı yılların başlarında kurulan bir fabrika ile başlayan ağaç malzemeye ısıtma işlemi çalışmaları neticesinde VTT tarafından geliştirilen ThermoWood yöntemi ile çalışan fabrika sayısı kısa zamanda artmış ve sekize yükselmiştir[3].

Tablo 1. Bazı ısıtım yöntemlerinin temel karakteristikleri[6]

Isıl işlem metodları	Ortam	Rutubet durumu	Sıcaklık (°C)	Uygulama	Ülke
Thermo Wood	Buhar	Taze veya hava kuru ağaç	150-240	1.Sıcaklık artışı 2.Isıl işlem 3.Soğutma ve kondisyonlama	Finlandiya
Plato Wood	Buhar ve hava	Taze veya hava kuru ağaç	170-190	1.Ön kurutma 2.Hidrotermoliz 3.Kurutma 4.Isıl işlem 5.Denkleştirme ve soğutma	Hollanda
Oil Heat treatment	Sıcak yağ	Hava kuru veya yaklaşık % 6	180-220	1.Isıtma ve kurutma 2.Isıl İşlem 3.Soğutma	Almanya
Retification	N ₂	Hava kuru	200-240	1 basamak	Fransa
Bois Perdure	Buhar	Taze ağaç	200-240	1 basamak	Fransa

Günümüzde bu yöntemler içerisinde ticari amaçlar için en fazla kullanılan “ThermoWood” yöntemidir. ThermoWood yönteminde hem taze hem de hava kuru rutubete sahip ağaç malzemelere ısıtım işlem uygulanabilmektedir(Şekil 1).

Taze haldeki ağaç malzemenin ısıtım işleminde öncelikle bir kurutma safhası uygulanır ve fırın sıcaklığı hızla 100°C’ye yükseltilir. Taze halde ve 25 mm kalınlığındaki Sarıçam (Pinus sylvestris) kerestelerinin yüksek sıcaklıkta kurutulmasında olduğu gibi yaklaşık 25-30 saatlik bir sürede kurutma gerçekleştirilir. Yüksek sıcaklıkta kurutmanın ardından 6-8 saatlik bir sürede sıcaklık sürekli artırılarak esas ısıtım işlem sıcaklığına ulaşılır. Esas ısıtım işlem sıcaklığında 0,5-4 saat arasında bir sürede ısıtım işlem gerçekleştirilir ve soğutma-kondisyonlama işlemine geçilir. Soğutma ve kondisyonlama işlemi 24-36 saat arasında bir sürede tamamlanır ve ısıtım işlem programı bitirilir[6].



Şekil 1. Taze halde Sarıçam kerestesinde ısıtma işlemi(Heat treatment on fresh scotch pine)[2].

ThermoWood yönteminde ısıtma işlemi uygulaması üç safhada gerçekleştirilir;

Fırın sıcaklığının artırılması ve yüksek sıcaklıkta kuruma safhası: Fırın sıcaklığı ısı ve buhar kullanılarak hızlı bir şekilde önce 100°C'ye, ardından daha yavaş bir artışla yüksek sıcaklıkta kurutmayı gerçekleştirmek üzere 130°C'ye kadar çıkarılır. Yaklaşık olarak 14-30 saat arasında değişen bu safhada ağaç malzemenin rutubeti yaklaşık olarak sifira kadar düşürülür.

Isıtma İşlem safhası: Yüksek sıcaklık safhasının bitiminde yaklaşık olarak 6-8 saatlik bir zamanda fırın içerisindeki sıcaklık hedeflenen ısıtma işlem sıcaklığı olan 185°C ve 215°C'ye kadar yükseltilir. Ulaşılan ısıtma işlem sıcaklığında uygulamanın yapılma amacına bağlı olarak 0,4 saat ile 4 saat süre ısıtma işlemi devam edilir. Ağaç malzemenin yüksek ısıda zarar görmesini önlemek amacıyla ısıtma fırın içerisinde buhar gönderilir.

Soğutma ve kondisyonlama safhası: Su spreyi sistemi kullanılarak ağaç malzemenin sıcaklığı 50°C ile 60°C'ye kadar düşürülür. Bu işlem ağaç malzemenin rutubeti %4-6'ya ulaşıncaya kadar devam edilir. Soğutma ve kondisyonlama safhası ısıtma işlem yapılan ağaç malzemenin kalınlık ve genişliğine bağlı olarak yaklaşık olarak 24 saat ile 30 saat arasında değişmektedir.

Genel olarak ThermoWood'da toplam işlem süresi yaklaşık olarak 50 saat ile 80 saat arasında değişmektedir[2].

Isıtma işlemi uygulaması odunun moleküler yapısının modifiye edilmesine yol açtığından performansını arttırmaktadır. Isıtma işlemi mantar ve böceklerle karşı biyolojik dayanıklılık, düşük nem rutubet içeriği, daralma ve genişlemedeki azalmaya bağlı olarak artan boyutsal stabilite, artan termal izalasyon kabiliyeti, boya adhezyonu, dış hava şartlarına dayanıklılıkta artma, dekoratif renk çeşitliliği ve kullanım süresinde uzama gibi pozitif sonuçlara sebep olmaktadır[7,8].

Öte yandan ekseriyetle mekanik özelliklere ait direnç değerlerinde düşüşler görüldüğünden yapı elemanı olarak kullanımında emniyet tedbirlerinin dikkate alınması gerekmektedir. Mekanik özelliklere ait direnç değerlerinde meydana gelen düşüşler ısıtma işlemi görmüş ağaç malzemenin özellikle yapı elemanı olarak kullanımında önem arz etmekte olup statik eğilme ve statik eğilmede elastikiyet modülü değerlerinin bilinmesi ve alınacak emniyet tedbirlerinin belirlenmesinde etkili olmaktadır.

Eğilme testinde örnekler kırılma meydana gelinceye kadar birkaç dakika boyunca artan bir kuvvet ile yüklenir. Eğilme süresince örneğin üst yüzeyinde basınç gerilmeleri, alt yüzeyinde çekme gerilmeleri ve orta bölgesinde makaslama gerilmelerinin kombinasyonu olan iç gerilmeler meydana gelir. Isıtma işlemi uygulamasından sonra çekme direncinde azalma ve makaslama direncinde daha fazla azalma olmasına rağmen eğilme direncinde önemsiz bir azalma meydana gelmektedir. Bu nedenle eğilme direnci üzerine bireysel primer gerilme tipinin etkisi sınırlıdır.

Eğilme direncindeki ilk kayıplardan ısıtma işlemi süresince lignin ve selülozun bozunması veya depolimerizasyonu değil hemiselülozun modifikasyonu ve/veya bozunması öncelikli olarak sorumlu tutulmaktadır. Eğilme direncindeki azalma ile hemiselüloz bozunması arasında ilişki vardır. Hemiselüloz içeriği ve yapısındaki değişimler hemiselülozun thermo-kimyasal olarak odunun en hassas bileşeni olması nedeniyle eğilme direncindeki ilk kayıplarından öncelikli olarak sorumludur. Isıtma işlemi sıcaklığı ve süresi arttıkça eğilme direncindeki azalma artmaktadır. Bunu uygulanan yüksek ısıtma işlemi sıcaklığı ve uzun ısıtma işlemi süresi neticesinde hemiselülozdaki bozunma miktarının artması doğrulamaktadır[2]. LeVan ve ark., (1990) yük paylaşım kapasitesinin bozulmasına sebep olan lignin hemiselüloz matriksi içerisindeki hemiselüloz yan zincirlerinin kırılmasını direnç kayıplarından sorumlu tutmuşlardır. Başlangıçta gözlemlenen

direnç kayıplarının diğeri bir sebebi olarak, hemiselülozün bozulması anlamına gelen hemiselülozün polimerizasyon derecesindeki azalma gösterilmektedir. Bu durumda hemiselüloz önceden varsayılandan daha fazla odun liflerinin direncine direkt olarak katkı sağlamaktadır. Kısa polimerizasyon derecesi ve amorf selüloz mikrofibrilleri etrafına yerleşmiş bir polimerin odun liflerinin direnci üzerine katkı bulunacağı daha çok hipotetiktir. Selüloz ve lignin direnç kayıpları %30-40'a ulaşıncaya kadar bu polimerlerin ne depolimerizasyonu ne de bozunma ürünleri gözlemlenmediği için etkili değildir. Ancak selüloz ve/veya ligninin moleküler yapısının yeniden düzenlenme olasılığı ve bunun direnç özellikleri üzerine etkileri dikkate alınmamıştır (örneğin selülozün kristalleşme ve/veya yeniden yönlendirilmesi ve ligninin polikondenzasyon reaksiyonları). Bunun yanında eğilme direnci odunun çekme, basınç ve makaslama gibi primer iç gerilmelerinin kombinasyonudur. Hemiselüloz bozunduğu zaman bu primer gerilmelerin nasıl bir etki yaptığı daha tanımlanmamıştır. Bu nedenle eğilme direncini neyin etkilediği kesin olarak açıklanamamıştır. Çeşitli sıcaklık-nem şartlarında daha titiz mekanik testlere ve daha detaylı kimyasal analizlere ihtiyaç bulunmaktadır[9].

Isıl işlem uygulanmış örneğin eğilme testi süresince ani kırılması dikkate değerdir. Isıl işlem uygulanmamış örnekte ise kademeli kırılma söz konusudur. Isıl işlem uygulanmış örneklerde toplam tüketilen enerji ısıl işlem uygulanmamış örneklere göre daha düşüktür. Isıl işlem uygulanmış odun kırıldıktan sonra dış kuvvetlere ısıl işlem uygulanmamış oduna göre daha az karşı koyabilir. Liflere dik yönde kırılan hücre çeperleri, özellikle odunu daha kırılğan yapan amorf selülozün kristalleşmesi ve/veya karbonhidratların bozunması gibi odun ana bileşenlerindeki değişimler bu olayın sebeplerinden olmasına rağmen bu olgunun ana sebebidir [10].

Odunun elastik özellikleri üzerine ısıl işlem uygulamasının etkileri eğilme testi süresince elastikiyet modülündeki artmaya rağmen oldukça sınırlıdır. Hemiselülozün bozunması, lignin hemiselüloz matriksinin yük paylaşım kapasitesinin bozulması ve kristalimsi selüloz molekülündeki nispi artma elastikiyet modülünün artmasına katkıda bulunur. Ayrıca lignin bağının çapraz bağlanmasındaki artma orta lamelin direnç karakteristiklerini ve selüloz mikrofibril/fibrilleri etrafındaki rijit yapıyı iyileştirdiği için elastikiyet modülünü büyük olasılıkla etkilemektedir.

Elastikiyet modülündeki az miktarda fakat dikkate değer artma, muhtemelen lignin hemiselüloz matriksinin yük paylaşım kapasitesindeki bozulma ve hemiselülozün modifikasyonu ve/veya bozunmasına rağmen kristalimsi selülozün nispi miktarındaki artma sebebiyle olmaktadır. Bundan başka ısıl işlem uygulanmış odun ısıl işlem uygulanmamış oduna nazaran hücre çeperinde daha az bağlı su içermesi sonucu daha az higroskopik olması ve bu durumun odunu daha az esnek yapmasından dolayı elastikiyet modülünü etkilemektedir[11].

Isıl işlem uygulanan odunun direnç özelliklerini etkileyen diğeri bir olgu odunun thermo-plastik davranışdır. Belli sıcaklıkların üzerinde hemiselülozün (127-235°C), ligninin (167-217°C) ve selülozün (231-253°C) fiziksel karakteristikleri plastik safhaya geçer. Odunun termal yumuşaması, buharlamada suyun bir plastikleştirici olarak hareket etmesi ile yumuşama noktasının (180°C) azalmasına rağmen 200°C'nin üzerinde bir bütün olarak meydana gelir. Lignin ve hemiselülozün termal davranışı selüloz ile moleküller arası ikincil bağlar sebebiyle etkileşimler tarafından sınırlandırıldığı görülür. Isıl işlem süresince hemiselülozün bozunması ikincil bağları etkilediğinden lignin ve hemiselülozün kalıcı plastikleşmesine yol açar. Soğutma safhasında ise bu bileşenler tekrar rijit olur ve moleküler polimer yapı değişebilir. Bu durum direnç özelliklerini etkileyen odunun ana bileşenleri arasındaki etkileşimi etkilemektedir.

Elastikiyet modülü yapı için çok kritik bir parametredir ve yüksek rijitlik belirli bir yük için daha düşük bir sapma ile sonuçlanır. Isıl işlem elastikiyet modülü bağlamında yapı uygulamaları için düşük bir potansiyel olarak görülmemektedir. Ancak konstrüksiyonda oluşan gerilemeler ve ısıl işlem uygulanmış kereste kullanılacağı zaman farklı direnç özellikleri üzerine ısıl işlemin etkileri orantılı olmadığı için bazı pratik sonuçlar dikkatlice düşünülmelidir. Isıl işlem

uygulanmış kereste bu nedenle konstrüksiyon üzerine uygulanan gerilmelere farklı tepkiler verebilir. Isıl işlem uygulaması konstrüksiyon için materyali kısıtlayabilir veya onaylayabilir[9].

Bu noktadan hareketle çalışmamızda, ThermoWood yöntemi ile ısıl işlem uygulanmış Yabani Kiraz(*Cerasus avium*(L.) Monench) odununda mekanik özelliklerden statik eğilme direnci ile statik eğilmede elastikiyet modülü araştırılmıştır.

2. YÖNTEM (METHOD)

2.1. Materyal (Material)

Düzce Orman İşletme Müdürlüğü Odayeri İşletme Şefliği sahası 17 no'lu bölmesinden beş (5) adet Yabani Kiraz (*Cerasus avium* (L.) Monench) ağacı temin edilmiştir. Odayeri İşletme Şefliği'nin Yabani Kiraz (*Cerasus avium* (L.) Monench) ağaçlarının alındığı 17 no'lu bölme kayın ve gürgen ağaçlarının egemen olduğu 800 metre rakım, %50-60 eğim ve kuzey baki özelliklerine sahiptir.

2.2. Isıl işlem ve deney örneklerin hazırlanması (Preparation of test samples and heat treatment)

Ağaçların seçiminde TS 4176/1984'e[12] göre hareket edilmiş olup, alınan gövdeler keskin kesiş yöntemi ile 60 mm kalınlığında kalasalara biçilmiştir[13]. Daha sonra kalaslar klasik kurutma yöntemi ile ortalama %12 sonuç rutubetine kadar kurutulmuş, ThermoWood yapılarına kadar $20\pm 2^{\circ}\text{C}$ ve $\%65\pm 5$ bağıl neme ayarlanabilen iklimlendirme odasında bekletilmiştir. ThermoWood işlemi Nova Orman Ürünleri San. Tic. A.Ş.'nin Gerede/Bolu fabrikasında hava kuru haldeki ağaç malzemelerle birlikte yapılmıştır. ThermoWood yöntemi ile ısıl işlem uygulamasında işletmenin üretim programına uygun olarak 190°C ve 212°C sıcaklıklarda 1 ve 2 saat süre ısıl işlem yapılarak dört(4), kontrol örnekleri(K) ile birlikte toplamda beş(5) farklı varyasyon oluşturulmuştur(Tablo 2).

Tablo 2. Test varyasyonları(Test variations)

Örnek özellikleri		Kısaltma	
Kontrol		K	
Isıl işlem grupları	190°C	1 saat	TW ₁
		2 saat	TW ₂
	212°C	1 saat	TW ₃
		2 saat	TW ₄

Çalışma kapsamında kullanılacak olan test örnekleri TS CEN/TS 15679'e[14] göre hazırlandıktan sonra $20\pm 2^{\circ}\text{C}$ sıcaklık ve $\%65\pm 5$ bağıl neme sahip iklimlendirme odasında değişmez ağırlığa gelinceye kadar 2 ay bekletilmiş ve deneysel çalışmalara geçilmiştir.

Eğilme direnci deneylerinde TS 2474/1976[15] ve statik eğilmede elastikiyet modülü deneylerinde TS 2478/1976[16] esaslarına uyulmuştur. Her iki deney için $20\times 20\times 360$ mm boyutlarında hazırlanan örnekler kullanılmıştır. Her bir varyasyon için 32 adet olmak üzere toplam 160 adet deney örneği hazırlanmıştır. Hazırlanan deney örnekleri $20\pm 2^{\circ}\text{C}$ ve $\% 65\pm 5$ bağıl neme sahip klima odasında 2 ay bekletildikten sonra eğilme direnci deneyi yapılmıştır.

Üniversal test makinesinin yükleme mekanizmasının hızı, kırılmanın yükleme anından itibaren 1,5-2 dakika içinde meydana gelmesini sağlayacak şekilde ayarlanmıştır. Dayanak noktaları açıklığı 300 mm olacak şekilde yerleştirilen örneklere, yıllık halkalara teğet yönde ve dayanak açıklığının orta kısmından kırılma işlemi gerçekleştirinceye kadar yük uygulanmıştır. Deneyler

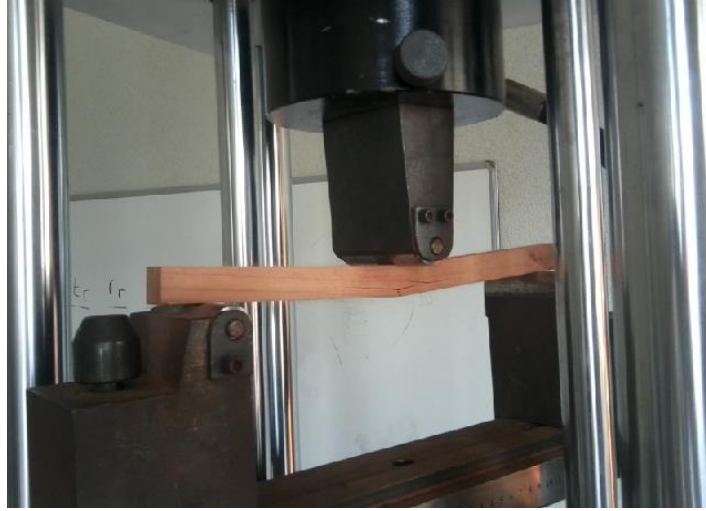
yapılmadan önce örnekler $\pm 0,01$ mm duyarlılığa sahip olan dijital bir kumpasla genişliği ve kalınlığı ölçülmüştür. Eğilme direncinin hesaplanmasında;

$$\sigma_B = \frac{3}{2} \times \frac{P_{\max} \times l}{b \times h^2} \text{ (N/mm}^2\text{)} \quad (1)$$

eşitliğinden yararlanılmıştır[15]. Burada;

- σ_B : Eğilme direnci, (N/mm²)
 P_{\max} : Kırılma anında ölçülen maksimum kuvvet (N)
 L : Dayanaklar arası açıklık, (mm)
 b : Örnek genişliği, (mm)
 h : Örnek yüksekliği, (mm)

Üniversal test makinesinde yapılan eğilme direnci deneyi Şekil 2’de verilmiştir.



Şekil 2. Eğilme direnci deneyi(Bending resistance test)[2]

Eğilme direnci deneyinin ardından rutubet değerleri TS 2471/1976’e[17] göre belirlenmiştir. Rutubetleri % 12’den farklı olan KÖ için, eğilme direnci değerlerinin % 12’ye ayarlanmasında (2) nolu eşitlikten yararlanılmıştır.

$$\sigma_{B12} = \sigma_R [1 + \alpha(R - 12)] \text{ (N/mm}^2\text{)} \quad (2)$$

Eşitlikte;

- σ_{B12} : Hava kurusu rutubette eğilme direnci, (N/mm²)
 R : Rutubet, (%)
 σ_R : R rutubetinde eğilme direnci, (N/mm²)
 α : Düzeltme faktörü, (0.04)

Eğilmede elastikiyet modülünün hesaplanmasında;

$$E = \frac{\Delta P \times L^3}{4 \times f \times b \times h^3} \text{ (N/mm}^2\text{)} \quad (3)$$

eşitliğinden yararlanılmıştır[16]. Burada;

- E : Eğilmede elastikiyet modülü, (N/mm²)
 ΔP : Elastikiyet bölgesindeki iki yükleme arasındaki fark, (N)
 f : Sehim miktarı, (mm)

- b : Radyal ölçü, (mm)
h : Teğet ölçü, (mm)
L : Mesnet açıklığı, (300 mm)

Eğilmede elastikiyet modülü deneyinin ardından rutubet değerleri TS 2471/1976'e göre belirlenmiştir[17]. Rutubetleri % 12'den farklı olan KÖ için, eğilmede elastikiyet modülü değerlerinin % 12'ye ayarlanmasında (4) nolu eşitlikten yararlanılmıştır.

$$E_{12} = E_R [1 - \alpha(12 - R)] \quad (\text{N/mm}^2) \quad (4)$$

Eşitlikte;

- E_{12} : Hava kurusu rutubette elastikiyet modülü, (N/mm²)
R : Rutubet, (%)
 E_R : R rutubetinde elastikiyet modülü, (N/mm²)
 α : Düzeltme faktörü, (0,02)

Başlangıç değerleri ile son değerler arasındaki değişim oranlarının hesaplanmasında aşağıdaki formülden yararlanılmıştır[2];

$$D_o = \frac{K_{\ddot{o}} - S_{\ddot{o}}}{K_{\ddot{o}}} \times 100 \quad (\% \text{ değişim}) \quad (5)$$

D_o : Değişim oranı (%), $K_{\ddot{o}}$: Kontrol ölçümü değeri, $S_{\ddot{o}}$:Son ölçüm değeri

Yapılan çalışmada verilerin istatistiksel olarak değerlendirilmesi için SPSS paket programından faydalanılmıştır. Çalışmada faktörlerin elde edilen sonuçlar üzerinde anlamlı olup olmadığı belirleyebilmek için varyans analizine, anlamlı bulunan faktörler üzerinde farklılığın boyutunu belirleyebilmek için de Duncan testine başvurulmuştur.

3. BULGULAR (FINDINGS)

3.1 Eğilme Direnci(Bending Resistance)

Isıl işlem sonrasında İİGTÖ ile KÖ eğilme direnci değerlerine ilişkin istatistik veriler Tablo 3'de, Basit Varyans Analizi(BVA) Tablo 4'de verilmiştir.

Tablo 3. Eğilme direncine ilişkin istatistikler.

T	Z	\bar{X} (N/mm ²)	SS	ED	EY	R
KÖ	-	95.39	10.93	75.21	112.9	11.03
190	1	86.61	15.17	39.15	108.8	7.32
190	2	82.58	16.10	52.03	115.3	6.82
212	1	67.25	11.31	44.72	86.9	5,39
212	2	66.64	13.95	35.64	96.5	4,98

T : Isıl işlem sıcaklığı(°C), Z: Süre(Saat), \bar{X} : Aritmetik ortalama, SS: Standart sapma, ED: En küçük değer, EY: En yüksek değer, R: Deney anı rutubet miktarı (%), Örnek Sayısı: 32.

Tablo 4. Eğilme direnci BVA sonuçları.

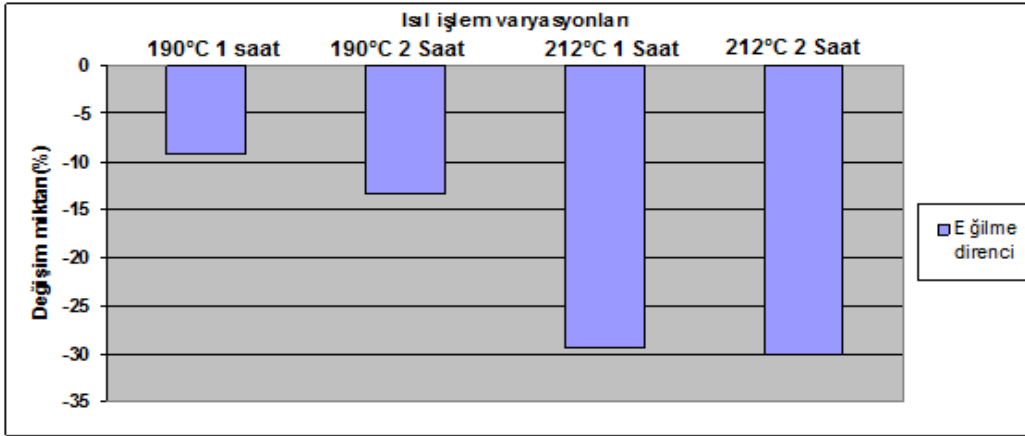
Eğilme direnci BVA	Kareler toplamı	Serbestlik derecesi	Kareler ortalaması	F hesap	P değeri*
Gruplar içi	20084.305	4	5021.076	26.944	0.000
Gruplar arası	28884.769	155	186.353		

Toplam	48969.073	159			
---------------	-----------	-----	--	--	--

*) $P \leq 0.05$

Yabani Kiraz odununda eğilme direnci değerlerine ilişkin olarak elde edilen BVA sonuçlarına göre farklı sıcaklık ve sürelerde İİGTÖ ile KÖ eğilme dirençleri arasındaki farklılıkların istatistiksel olarak ($P \leq 0.05$) düzeyinde anlamlı bulunduğu belirlenmiştir.

ThermoWood yöntemi ile ısıtılmış Yabani Kiraz odununda eğilme direnci İİGTÖ'ne göre tüm İİGTÖ'nin tümünde azalmıştır. Sıcaklık artışı ile birlikte eğilme direncinde Şekil 3'de görüldüğü önemli oranda azalma meydana geldiği, en yüksek azalma miktarı 212°C sıcaklık ve 2 saat İİGTÖ'nde %30 düzeyinde olduğu görülmektedir. Eğilme direncindeki azalma üzerine ısıtılmış süresinden daha ziyade sıcaklığın etkili olduğu yine Şekil 3'e göre söylenebilir.



Şekil 3. Yüzde olarak eğilme direnci değişimi(Change of bending resistance as percentage)[2].

ThermoWood metodu ile ısıtılmış çam örneklerinde eğilme direncinde sıcaklığın artışı ile birlikte eğilme direncinin azaldığı, 220°C üzerinde eğilme direncinde önemli kayıplar olduğu belirlenmiştir[3].

Poncsak ve diğ. (2011), çalışmalarında Canadian Jack pine (*Pinus banksiana*) ısıtılmış sonrası eğilme direncinin azaldığını ifade belirtmişlerdir[18]. Sefil (2010) çalışmasında eğilme direncinin sıcaklığın artması ile birlikte azaldığını tespit etmiştir[19]. Özçifçi ve diğ. (2009), 150, 170 ve 190 °C sıcaklıklarda 4, 6 ve 8 saat süreyle ısıtılmış uyguladıkları sarıçam odununda araştırdıkları mekanik dirençler arasında ısıtılmış uygulamasından en fazla eğilme direncinin etkilendiği belirlemişlerdir[20]. Bekhta ve Niemz (2005), ısıtılmış sonrası ladin odununda eğilme direncinin yaklaşık %44-50 oranında azaldığını bulmuşlardır[21].

Isıtılmış sonrası eğilme direncindeki kayıplar %30-40'a ulaşmaya kadar selüloz ve lignin yapılarında herhangi bir depolimerizasyon veya bozunma görünmemesi ancak hemiselülozda meydana gelen bozunmalar eğilme direncinin azalmasına öncelikli olarak gösterilen sebeptir. Isıtılmış ile birlikte hemiselülozun bozunması, lignin-hemiselüloz matriksi içerisindeki yan zincirlerin kırılması ve hemiselülozun polimerizasyon derecesindeki azalma şeklinde açıklanmaktadır. Isıtılmış sıcaklığı ve süresindeki artışa bağlı olarak hemiselüloz bozunması da artmaktadır[5]. Yıldız (2002), kimyasal özelliklerden ısıtılmış işlemde en fazla zarar gören hücre çeperi bileşeninin hemiselüloz olduğunu belirtmektedirler[22]. Tozluoğlu ve diğ. (2013) yabani kiraz odununun bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri üzerine ısıtılmış işlemi (ThermoWood methodu) etkisini araştırdıkları çalışmalarında; KÖ'nde % 22.4±0.49 olan xylan miktarının 212°C sıcaklık, 1.5 ve 2.5 saat İİGTÖ'nde sırası ile 16.6±0.07 ve 15.8±0.95 olduğunu belirlemişlerdir[23].

Isıl işlem ile birlikte eğilme direncindeki önemli sayılabilecek azalmanın hemiselülozların bozunmasından ileri geldiği söylenebilir. Çünkü düşük sıcaklık ve sürelerdeki ısıl işlem uygulamalarında hemiselüloz bozunması ile birlikte eğilme direncinde de önemli kayıplar ortaya çıkmaya başlamaktadır. Sonuç olarak başta hemiselülozlar olmak üzere hücre çeper bileşenlerinden kaynaklanan ağırlık kayıplarının eğilme direnci üzerinde negatif yönlü etkisi olduğu kanatına varılabilir.

3.2 Elastikiyet Modülü (Modulus of Elasticity)

Isıl işlem sonrasında İİGTÖ ile KÖ eğilmede elastikiyet modülüne ilişkin istatistikler Tablo 5’de verilmiştir.

Tablo 5. Eğilmede elastikiyet modülüne ilişkin istatistikler.

T	Z	\bar{X} (N/mm ²)	SS	ED	EY	R
KÖ	-	12793.8	1213.9	9972.9	15593.5	11.43
190	1	13795.7	1317.4	10755.0	16136.9	7.32
190	2	14160.5	1316.3	11956.3	16958.0	6.82
212	1	13580.6	1390.2	11828.7	17841.4	5,39
212	2	13054.7	877.3	11450.7	14923.7	4,98

Eğilmede elastikiyet modülü ortalama değerlerine ilişkin BVA sonuçları Tablo 6’de verilmiştir.

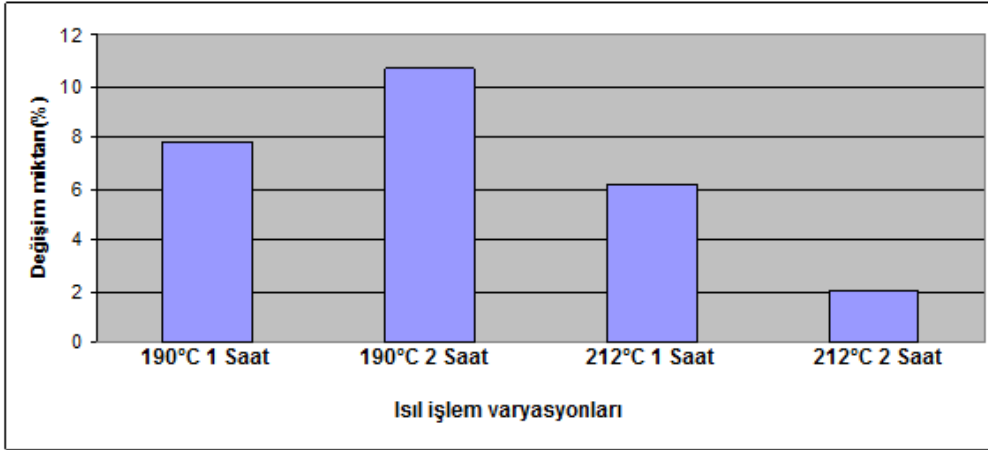
Çizelge 3.80. Eğilmede elastikiyet modülü BVA sonuçları.

Elastikiyet modülü BVA	Kareler toplamı	Serbestlik derecesi	Kareler ortalaması	F hesap	P değeri*
Gruplar içi	39187994	4	9796998.5	6.408	0.000
Gruplar arası	2.4E+008	155	1528822.8		
Toplam	2.8E+008	159			

*) $P \leq 0.05$

Yabani Kiraz odununda eğilmede elastikiyet modülü değerine ilişkin olarak elde edilen BVA sonuçlarına göre farklı sıcaklık ve sürelerde İİGTÖ ile KÖ eğilmede elastikiyet modülü değerleri arasındaki farklılıkların istatistiksel olarak ($P \leq 0.05$) düzeyinde anlamlı bulunduğu belirlenmiştir.

ThermoWood yöntemi ile ısıl işlem uygulanmış Yabani Kiraz odununda eğilmede elastikiyet modülü İİGKÖ’ne göre İİGTÖ’nin tümünde artmıştır. En yüksek artış 190°C 2 saat İİGTÖ’nde %11 olarak belirlenmiş, ısıl işlem sıcaklık ve süresinin artırılması ile elastikiyet modülündeki artış azalmaya başlamıştır. 212°C sıcaklık ve 2 saat varyasyonunda KÖ’ne göre sadece %2’lik farkın sözkonusu olduğu görülmektedir. Elde edilen sonuçlara göre elastikiyet modülü değişimi üzerinde hem sıcaklığın hem de ısıl işlem süresinin etkili olduğu anlaşılmaktadır (Şekil 4).



Şekil 4. Yüzde olarak elastikiyet modülü değişimi(Change of modulus elasticity as percentage)[2].

ThermoWood yöntemi ile ısıl işlem uygulamış oldukları çalışmalarında Çaliova (2011) 190, 205 ve 212°C sıcaklık ve 2 saat sürede kızılğaç ve ladin odunlarında[24], Sefil (2010) 170, 180, 190,200 ve 210°C sıcaklık ve 2 saat sürede göknar ve kayın odunlarında benzer sonuçları elde ettiklerini belirtmektedirler[19]. Sefil, çalışmasında elastikiyet modülündeki küçük fakat fark edilebilir artışın hemiselülozların degradasyonuna rağmen ısıl işlem sonrası kristal selülozun nisbi miktarındaki artıştan kaynaklanmış olabileceğini ifade etmekte olup ayrıca ısıl işlem görmüş odunun kontrolden daha az higroskopik olduğu için (çünkü hücre çeperleri daha az bağlı su içerir) elastikiyet modülününün bundan etkilenebileceğini belirtir[19].

Sefil (2010), ThermoWood, Dubey (2010) oil treatment metodu ısıl işlem uyguladıkları ağaç örneklerinde elastikiyet modülünün ya hiç değişmediğini ya da çok az bir miktar arttığını, Horvath ve diğ. (2012), çalışmalarında elastikiyet modülünün %25'e kadar arttığını bildirmektedir[19,25,26]. Shi ve diğ. (2007), 200°C ve üzeri sıcaklıklarda ısıl işlem uyguladıkları çam ve ladinde elastikiyet modülünün %4 ile %28 kadar azalmasına karşılık kavak ve huşta arttığını bulmuşlardır[27].

4. SONUÇ VE TARTIŞMA (CONCLUSION AND DISCUSSION)

Isıl işlem eğilme direncinin azalmasına sebep olmuş, sıcaklık arttıkça ve süre uzadıkça eğilme direncindeki azalma miktarı artmıştır. Eğilme direncinde %30'lara varan azalma tespit edilmiş, eğilme miktarı üzerine ısıl işlem sıcaklığı süreden daha etkili olmuştur.

Eğilmede elastikiyet modülünde ısıl işlem ile birlikte artış gözlenmiş, sıcaklık ve süre artışı ile birlikte gözlenen artışlarda azalma belirlenmiştir. 190°C sıcaklık ve 2 saat varyasyonunda yaklaşık %10 artan elastikiyet modülü değeri, 212°C sıcaklık ve 2 saat varyasyonunda sadece % 2 kadar artmıştır. Eğilmede elastikiyet modülündeki değişim, özellikle 200°C'nin üzerindeki sıcaklıklarda ısıl işlem görmüş ağaç malzemenin daha rijit yapıya sahip olduğunu göstermektedir.

İlave bilgi: Bu çalışma “Yabani Kiraz (*Cerasus* (L.) Monench) Odununun Fiziksel, Mekanik ve Teknolojik Özellikleri Üzerine Yüksek Sıcaklık Uygulamasının Etkisi” isimli doktora çalışmasından türetilmiştir.

5. KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1]. Bozkurt Y., Erdin N., *Ağaç Teknolojisi Ders Kitabı*, İ.Ü. Basımevi ve Film Merkezi, (1997).
- [2]. Aytin A., "Effect of High Temperature Treatment on Physical, Mechanic and Technologic Properties of Wild Cherry(*Cerasus avium* (L.) Monench)", *Doctoral Thesis*, University of Duzce, (2013).
- [3]. Anonim, <http://www.thermowood.fi> (Erişim Tarihi: 28 Haziran 2010).
- [4]- Johansson D., Strengh and colour response of solid wood to heat treatment, *Licentiate Thesis*, Luleå Teknoloji Üniversitesi, Department of Skellefteå Campus, Sweden, (2005).
- [5]. Korkut S., Kocae D., Isıl işlemin odun özellikleri üzerine etkisi, *Düzce Üniversitesi Ormanlık Dergisi*, 5 (2) (2009) 11-34.
- [6]. Anonim, http://www.forestry.toronto.edu/treated_wood/thermalmod (Erişim Tarihi: 29 Nisan 2013a).
- [7]. Enjily V., Jones D., The potential for modified materials in the panel products industry, *Wood Resources and Panel Properties Conference*, Valencia-Spain, (2006) E44/E49.
- [8]. Wikberg H., Advanced solid state nmr spectroscopic techniques in the study of thermally modified wood, *Academic Dissertation*, Helsinki Üniversitesi, Helsinki- Finland, (2004).
- [9]. Boonstra MJ., A two-stage thermal modification of wood, *Ph.D. dissertation in cosupervision*, Ghent University and Université Henry Poincaré, Nancy-Fransa, (2008).
- [10]. Hill C., Wood modification: chemical, thermal and other processes, wiley series in renewable resources, John Wiley & Sons Inc., (2006).
- [11]. Kocae D, Poncsak S, Boluk Y., Effect of thermal treatment on the chemical composition and mechanical properties of birch and aspen, *BioResources* 3 (2) (2008) 517-537.
- [12]. TS 4176, Odunun fiziksel ve mekaniksel özelliklerinin tayini için homojen mescerelerden numune ağacı ve laboratuvar numunesi alınması, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara, (1984).
- [13]. TS 2470, Odunda fiziksel ve mekaniksel deneyler için numune alma metotları ve genel özellikler, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara, (1976).
- [14]. TS CEN/TS 15679, Isıl işleme şekil verilmiş kereste-terimler ve karakteristikler, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara, (2010).
- [15]. TS 2474, Odunda statik eğilme dayanımının tayini, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara, (1976).
- [16]. TS 2478, Odunun statik eğilmede elastikiyet modülünün tayini, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara, (1976).
- [17]. TS 2471, Odunda, fiziksel ve mekaniksel deneyler için rutubet miktarı tayini, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara, (1976).
- [18]. Poncsak S., Kocae D., Younsi R., Improvement of the heat treatment of Jack pine (*Pinus banksiana*) using ThermoWood technology, *Eur. J. Wood Prod.*, 69 (2011) 281–286.
- [19]. Sefil Y., Thermowood yöntemiyle ısıtılmış işlem uygulanmış göknar ve kayın odunlarının fiziksel ve mekanik özellikleri, *Yüksek Lisans Tezi*, Karabük Üniversitesi, (2010).
- [20]. Özçiftçi A., Altun S., Yapıcı F., Isıl işlem uygulamasının ağaç malzemenin teknolojik özellikleri üzerine etkisi, *5.Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu*, Karabük, (2009).
- [21]. Bekhta P., Niemz P., Effect of high temperature on the change in color, dimensional stability and mechanical properties of spruce wood, *Holzforschung*, 57(5) (2005) 539–546.
- [22]. Yıldız Sibel., Isıl işlem uygulanan doğu kayını ve doğu ladini odunlarının fiziksel, mekanik, teknolojik ve kimyasal özellikleri, *Doktora Tezi*, Karadeniz Teknik Üniversitesi, (2002).
- [23]. Tozluoğlu A., Korkut S., Çöpür ., Aytin A., Yabani Kiraz odununun bazı fiziksel ve kimyasal özellikleri üzerine ısıtılmış işlemin (ThermoWood Methodu) etkisi, *II.Ulusal Mobilya Kongresi*, Denizli-Türkiye, (2013).
- [24]. Çalıova Z., Kızılağaç ve doğu ladini odunlarının bazı fiziksel ve mekanik özellikleri üzerine ısıtılmış işlemin etkisi, *Yüksek Lisans Tezi*, Karabük Üniversitesi, (2011).

- [25]. Dubey M.K., Improvements in stability, durability and mechanical properties of radiata pine wood after heat-treatment in a vegetable oil, *Forestry at the University of Canterbury*, New Zealand, (2010).
- [26]. Horvath N., Csupor K., Molnar S., Nemeth R., Chemical-free wood preservation – the effect of dry thermal treatment on wood properties with special emphasis on wood resistance to fungal decay, *International Scientific Conference*, Sopron-Hungary (2012).
- [27]. Shi, J. L., Kocaefe, D. and Zhang, J., “Mechanical behaviour of québec wood species heat-treated using thermowood process”, *Holz als Roh-und Werkstoff*, 65 (4) (2007) 255-259.