

## Masif Ağaç Malzemenin Bükülmesi

Nusret As<sup>1\*</sup> Ümit Büyüksarı<sup>1</sup>

<sup>1</sup>İ.Ü.Orman Fakültesi, Orman Endüstri Mühendisliği Bölümü, Odun Mekaniği ve Teknolojisi Anabilim Dalı

Tel: 0 212 226 1100-25361, Fax: 0212 226 1113,

e-mail: [nusretas@istanbul.edu.tr](mailto:nusretas@istanbul.edu.tr)

### Kısa Özet

Ağaç malzemeye form verme işlemleri, ağaç işleri ve mobilya endüstrisinde uzun yıllardan beri uygulanmaktadır. Bükülmüş ağaç malzeme mobilya, kemerli kapı-pencere, tekne, gemi, tarım araçları, alet sapları, müzik aletleri, spor aletleri, fıçı ve sepet üretiminde kullanılmaktadır. Ağaç malzemenin bükülmesi esnasında konkav yüzeylerde basınç, konveks yüzeylerde ise çekme gerilmeleri oluşmaktadır. Genellikle yapraklı ağaç odunları, çoğu iğne yapraklı ağaç odunlarına göre masif halde bükmeye daha uygundur. Egzotik ağaç türleri genelde masif halde küçük yarıçaplara kadar bükülemezdir.

Ağaç malzemenin bükülmesi çok sayıda faktöre bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Bu faktörler; bükme yarıçapı, ağaç türü, rutubet miktarı, kalınlık, genişlik, buharlama süresi, lif açısı ve kusurlardır. Bükülecek ağaç malzeme, kusursuz ve düzgün lifli olmalıdır. Ağaç yaşı, büyüme hızı, toprak özellikleri gibi faktörler de kaliteli bükme için ikincil öneme sahiptir. Ağaç malzemenin bükülebilirliğini arttırmak için buharlama, suda kaynatma, ön basınç uygulama ve üre veya amonyakla muamele gibi çeşitli ön işlemler uygulanmaktadır.

Masif ağaç malzemenin bükülmesi ile ilgili yapılan çalışmalarda genelde ağaç türlerinin minimum bükülme yarıçapları tespit edilmiştir. Türkiye’de masif ağaç malzemenin bükülmesi ile ilgili yapılan bilimsel çalışmalar çok sınırlıdır ve genellikle derleme yayınlardır. Türkiye’de yetişen ağaç türlerinin bükülme yarıçapları ve bükülme sonrası mekanik özelliklerinin değişimi ile ilgili yapılmış çalışma da bulunmamaktadır.

**Anahtar Kelimeler:** Masif ağaç malzeme, bükme, bükme yarıçapı

## Bending of Solid Wood

### Abstract

Bending of wood as a well-known process has been used for many years. Curved wood parts are used in production of furniture, arched windows-doors, basket, barrel, boats and ships, tool handles, sporting goods, agricultural implements and musical instruments. When a piece of wood is bent, tension occurs in the outer side and compression in the inner side. Generally bending quality of hardwoods is better than that of softwoods and exotic wood species cannot be bent to small radii.

Bending of wood demonstrates variations depending on many factors such as radius of bending, species, moisture content, thickness and width of wood, steaming time, fiber direction and defects. Selected wood for bending must be defect-free and have straight fibers. Factors such as tree age, rate of growth, soil characteristics have secondary importance. In order to improve bending

qualities of wood, some pre-treatments such as steaming, immersion in boiling water, pre-compression application and impregnation with ammonia or urea are used.

Investigations connected with bending of solid wood generally have determined minimum bending radius of wood species. Studies regarding with bending of solid woods are very limited. Additionally there is lack of bending radius of wood species grown in Turkey and changes in mechanical properties of wood after bending.

**Keywords:** Solid wood, bending, bending radius

## 1. Genel Bilgiler

Ağaç malzemeye form verme işlemleri, ağaç işleri ve mobilya endüstrisinde uzun yıllardan beri uygulanmaktadır. Özellikle mobilya, kemerli kapı-pencere, tekne, gemi, tarım araçları, alet sapları, müzik aletleri, spor aletleri, fıçı ve sepet üretiminde form verilmiş ağaç malzemeye ihtiyaç duyulmaktadır. Ağaç malzemeye eğri kesme, kertme (çürütme), laminasyon ve bükme yöntemleri kullanılarak form verilebilmektedir (As ve Şenay, 1997). Yüksek direnç gerektirmeyen eğri formlarda ve az kavisli imalatlarda kesme yöntemi uygulanabilmektedir. Fakat direnç özelliklerinin ön planda olduğu kullanım yerlerinde bu yöntemin kullanılması sakıncalıdır ve fire oranı fazladır. Laminasyon tekniğinde ise kullanılacak ağaç türünün bükülme özelliği ne kadar iyi olursa, o nispette kalın kat kullanılması mümkün olmakta, bu da gerek işçilik gerekse tutkal maliyeti açısından önemli bir avantaj sağlamaktadır.

Bir kalıp içerisinde masif odunun bükülmesi veya kalıplanması aşağıdaki avantajları sunmaktadır (Kollman ve Cote, 1968).

1. Atık nedeniyle herhangi bir odun kaybı yoktur.
2. Şekil verme, ahşap işleme makineleri kullanan yöntemlere göre daha basit ve kolaydır.
3. Bükme makinesinin yatırım maliyeti oldukça düşüktür.
4. Bükme esnasında enerji tüketimi azdır.
5. Bükülmüş parçanın direnç ve elastikiyet modülü eğri kesme ile elde edilenlerden daha yüksektir.
6. Uygun bir şekilde bükülmüş parçaların yüzeyleri, kesilerek elde edilenlerden daha düzgündür.
7. Sandalye parçaları, şemsiye, fıçı tahtaları, ahşap halkalar, baston ve değişik spor aletleri üretiminde bükme tek ekonomik yöntemdir.

Ağaç malzemenin bükülmesi esnasında konkav yüzeylerdeki hücreler basınç, konveks yüzeylerdeki hücreler ise çekme gerilmelerine maruz kalmaktadır. Kırılma genelde çekme etkisinin olduğu konveks yüzeyde meydana gelmektedir. Maksimum gerilmeler doğal olarak bükülen parçanın en iç ve dış yüzeyinde meydana gelmektedir.

### 1.1. Bükme endüstrisinde kullanılan ağaç türleri

Bükülme kalitesine göre ağaç türlerinin sıralanmasıyla ilgili mevcut bilgiler yetersizdir. Genellikle yapraklı ağaç odunları, çoğu iğne yapraklı ağaç odunlarına göre masif halde bükmeye daha uygundur. Buna sebep olarak iğne yapraklı ağaçlarda ilkbahar ve yaz odunu tabakalarında mekanik özelliklerin ani bir şekilde değişmesi gösterilmektedir (Berkel, 1963). Bu nedenle bükme işleminde iğne yapraklı ağaçların (Porsuk ve Alaska Sediri hariç) kullanımı azdır. Douglas göknarı, Güney sarıçamı, Sekoya, Kuzey ve Atlantik beyaz sediri gemi ve tekne yapımında kullanılan orta derecede bükülme özelliğine sahip ağaç türleridir. Egzotik ağaç türlerinin de bükülme kalibiyeti daha azdır. Bunun nedeni kısa liflere sahip olması ve kusurların bulunmasıdır (Ahmad Shakri ve ark., 2004). Metal destek şeridi kullanılarak bazı egzotik ağaç türlerinin (Rubberwood gibi) düşük yarıçaplara kadar bükülebildiği tespit edilmiştir (Ahmad Shakri ve ark., 2004).

Amerikan Orman Ürünleri Laboratuvarı (Forest Products Laboratory) bükme kalitesine göre ağaç türlerini şu şekilde sıralamaktadır: Amerikan Çitlenbiği, Beyaz Meşe, Kırmızı Meşe, Kestane, Manolya, Carya Alba, Kara Ceviz, Hickory, Kayın, Amerikan Karaağacı, Söğüt, Huş, Akasya, Dişbudak, Sığla, Yumuşak Akçaağaç, Kavak, Sert Akçaağaç, Maun, Amerikan Çınar Yapraklı Akçaağacı, İhlamur, Kiraz ve Fındık (Stevens ve Turner, 1970; As ve Şenay, 1997).

Bükme mobilya üretiminde, arz miktarının yeterli bulunması ve iyi direnç özelliklerine sahip olması ve genellikle mobilya üretiminde çok kullanılması nedeniyle çoğunlukla kayın ve meşe kullanılmaktadır. Bununla birlikte spor malzemeleri üreticileri bükülme özelliklerinin iyi olması yanı sıra dinamik eğilme direnci ve dinamik sertliğinin de yüksek olması nedeniyle genellikle hokey ve

lakros (lacross) sopası üretiminde Dişbudak ve Hickory türlerini kullanmaktadırlar. Tablo 1'de bazı farklı ağaç türlerinin destek şeritli ve destek şeritsiz minimum bükme yarıçapları, FPL'de (Forest Products Laboratory) yapılan test sonuçlarına dayanılarak verilmiştir. Tablo 1, bükme esnasında ahşap parçaların % 5' inden daha fazlasının kırılmadan bükülebildiği minimum bükme yarıçaplarını göstermektedir (Stevens ve Turner, 1970). Tablodaki bu değerler, iyi kalitede, 25.4 mm kalınlığında ve atmosfer basıncında buharlanmış, hava kurusu malzeme için belirlenmiş verilerdir.

Tablo 1, bükme yarıçapının küçülmesini sağlayan destek şeritlerinin etkisini açık bir şekilde gösterdiği gibi; Karaağaç, Dişbudak, Meşe, Hickory, Yalancı Akasya ve Kayın odunlarının maun, tik ve ladin odunları ile karşılaştırıldığında üstün bükülme özelliklerine sahip olduğunu da göstermektedir. Dişbudak, Kayın ve Meşe genel

olarak mükemmel bir bükme odunu olarak bilinmesine rağmen bükülme özellikleri arasında önemli bir fark yoktur (Stevens ve Turner, 1970).

Dişbudak şüphesiz mükemmel bir bükme odunu olmasına karşın basınç tarafında bulunan ve burkulma ile basınç kırılmalarına neden olan nokta budaklara karşı hassasiyet gösterir. Ayrıca konveks tarafta lif açısı varsa bu yüzeyde kullanılan metal şerit çıkarıldığında lif kalkması meydana gelebilir. Diğer taraftan, Karaağaç, diğer türlerden istisnai olarak çok iyi bükülme kalitesine sahiptir ve aynı zamanda doğal olarak her odunda bulunan ve bükülme özelliklerini olumsuz etkileyen odun kusurlarına karşı belirgin ölçüde tolerans göstermektedir (Stevens ve Turner, 1970).

Tablo 1. Bazı ağaç türlerinin destek şeritli ve destek şeritsiz minimum bükme yarıçapları

Ticari Adı	Botanik Adı	Çelik Şeritle Desteklenmiş Minimum Bükme Yarıçapı (mm)	Çelik Şeritle Desteklenmemiş Minimum Bükme Yarıçapı (mm)
Yalancı Akasya	<i>Robinia pseudoacacia</i>	38	38
Afromosia	<i>Pericopsis elata</i>	360	740
Afzelia	<i>Afzelia quanzensis</i>	230	360
Kızılağaç	<i>Alnus glutinosa</i>	360	460
Dişbudak, Amerikan	<i>Fraxinus spp.</i>	110	330
Dişbudak, Avrupa	<i>Fraxinus excelsior</i>	64	300
Kayın, Avrupa (Romanya)	<i>Fagus sylvatica</i>	41	410
Kayın, Avrupa	<i>Fagus sylvatica</i>	38	330
Huş	<i>Betula alleghaniensis</i>	76	430
Kestane	<i>Castanea sativa</i>	150	380
Douglas göknarı	<i>Pseudotsuga menziesii</i>	460	840
Karaağaç, İngiliz	<i>Ulmus procera</i>	38	340
Karaağaç, Rock	<i>Ulmus thomasi</i>	38	360
Karaağaç, White	<i>Ulmus americana</i>	43	340
Karaağaç, Wych	<i>Ulmus glabra</i>	43	320
Hickory	<i>Carya sp.</i>	46	380
Gürgen	<i>Carpinus betulus</i>	100	420
Meşe, Amerikan Beyaz	<i>Quercus spp.</i>	13	330
Meşe, Avrupa	<i>Quercus robur</i>	51	330
Meşe, Japon	<i>Quercus spp.</i>	38	320
Meşe, Kırmızı	<i>Quercus rubra</i>	25	290
Meşe, Türk	<i>Quercus cerris</i>	89	280
Ladin, Avrupa	<i>Picea abies</i>	940	740
Ladin, Sitka	<i>Picea sitchensis</i>	910	810
Teak (burma)	<i>Tectona grandis</i>	460	890
Teak (Batı Nijerya)	<i>Tectona grandis</i>	250	660
Teak (Kuzey Nijerya)	<i>Tectona grandis</i>	460	890
Porsuk	<i>Taxus baccata</i>	220	420

## 1.2. Bükme kalitesini etkileyen faktörler

Bükülmeye uygun ağaç türünün seçiminde, bükme sonrası malzemenin direnç özellikleri, bükülme özellikleri, malzemenin mevcudiyeti gibi

faktörler dikkate alınmaktadır. Bükülecek ağaç malzeme, kusursuz ve düzgün lifli olmalıdır. Ağaç yaşı, büyüme hızı, toprak özellikleri gibi faktörler de kaliteli bükme için ikincil öneme sahiptir. Çok yaşlı ağaçlar, mantar tahribatına uğramış ağaçlar

ile çok hızlı veya çok yavaş büyümüş ağaçlar bükme için uygun değildir. Yıllık halkalara paralel uzunlamasına çatlaklar, bükme işlemi esnasında oluşan makaslama gerilmelerinden dolayı kırılmalara neden olurlar. Öz, benzer özellik gösterir. Yıllık halkalara dik çatlaklar, bükülen malzemenin basınç gerilmelerinin olduğu iç bükey kısımda olması durumunda kırılmalara neden olmaktadır. Dış bükey kısımda olması durumunda ise aynı oranda etkili olmamaktadır (Stevens ve Turner, 1970).

Ağaç malzemenin bükülmesi çok sayıda faktöre bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Bu faktörler; bükme yarıçapı, ağaç türü, rutubet miktarı, kalınlık, genişlik, buharlama süresi ve lif açısıdır (Niemi ve Brown, 1995).

Bükülecek ağaç malzemenin kırılmadan minimum bükme yarıçapına kadar bükülmesi üzerine rutubet miktarının etkisi ile ilgili yapılan çalışmalar birçok ağaç türünden elde edilen odunların taze halde iken bükülebildiğini göstermiştir. Bununla birlikte, Karaağaç, Kestane ve Meşe gibi ağaç türleri taze halde iken küçük bir bükme yarıçapına kadar bükülürse, suyla dolu hücre çeperleri içerisinde oluşan hidrolik basınçların bir sonucu olarak materyalde kırılma meydana gelebilmektedir. Hava kurusu halde bükme, yüzey çatlakları oluşturması, kuru odunun rutubetli ortamda buharlanmasının odunun bükülmeden önce şeklini değiştirmesine neden olması ve elle bükme işlemi zorlaştırması gibi nedenlerle sakıncalıdır. Çok kuru haldeki bükme işlemi odunun iç bükey yüzeyleri üzerinde burkulmaya ve potlaşmaya neden olmaktadır. Stevens ve Turner (1970) % 25, Kollman ve Cote (1968) % 17-25, Jorgensen (1965) % 12-20 rutubet miktarlarının ağaç malzemenin bükülmesi için daha uygun olduğunu belirtmektedirler.

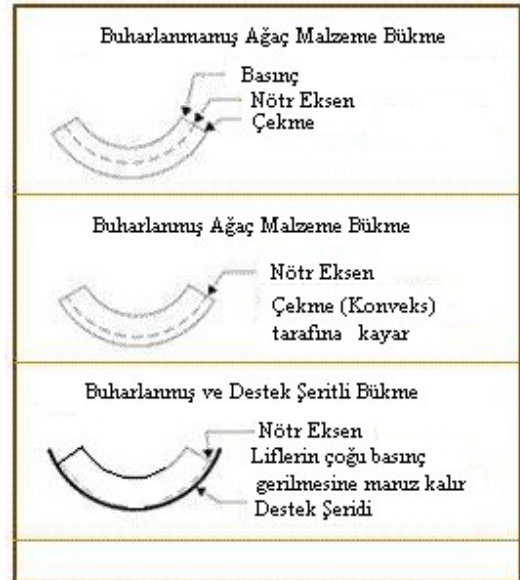
Bükme yüzeyine göre yıllık halkaların yönü hafif bükmelerde önemli olmazken, fazla bükmelerde pratik bir öneme sahiptir. Bu gibi ahşap parçalarda yıllık halkalar bükme kalıbına paralel olacak şekilde kesilmelidirler. Geniş yüzey doğrultusunda bükülen parçalar dar olan kenar doğrultusunda bükülen parçalara göre daha az kırılma göstermektedirler (As ve Şenay, 1997).

### 1.3. Ağaç malzemenin plastikleştirilmesi

Ağaç malzemenin bükülebilirliğini arttırmak için buharlama, suda kaynatma, üre ile muamele, amonyakla muamele, ön basınç uygulama gibi çeşitli ön işlemler uygulanmaktadır. Buharlama işlemi ağaç malzemeyi bükmeden önce yumuşatmak, daha kolay ve daha küçük yarıçaplara kadar kırılmadan bükülebilmek için uygulanan bir ön

işlemdir. Normal basınç ve 100 °C sıcaklığa sahip buhar kullanılmaktadır. Buhar basıncının artırılması bükme esnasında kırılan parçaların artmasına neden olabileceğinden buhar basıncının 2 atmosferi geçmemesine dikkat edilmelidir (As ve Şenay, 1997). Bükmede buharlama sürelerinin uygulamacılar arasında değişmesine rağmen en yaygın olarak rutubetli ahşap malzeme için her inç kalınlık için 30 dakika ve kuru ağaç malzeme için her inç kalınlık için 1 saattir (Peck, 1957; Wangaard, 1952). Lemoine ve Koch (1971) bir inç kalınlığındaki Çam (*Southern pine*) türünden hazırlanan masif ağaç malzemeyi bükme için 20 dakika buharlamanın yeterli olduğunu belirtmektedir.

Birçok ağaç türü doğal durumda iken küçük bükülme yarıçaplarına kadar kırılmadan bükülemez. Ağaç türleri buharlama veya kaynatma ile yarı plastik hale getirilebilir ve bükülebilirlikleri artırılabilir. Bükülme yarıçapı, ahşabın maksimum karşı koyabileceği çekme gerilmelerine ve konveks yüzeylerdeki liflerin gösterebileceği deformasyona bağlıdır. Şekil 1'de buharlanmış, buharlanmamış ve destek şeritli bükme kullanılmış bükmelerde basınç ve çekme gerilmeleri arasında oluşan nötr eksenin değişimi gösterilmiştir.



Şekil 1. Buharlanmamış, buharlanmış ve destek şeritli bükmelerde nötr eksenin değişimi (Rice ve Lucas, 2003)

Yumuşatılmamış ağaç malzemede nötr eksen konkav ve konveks yüzeyler arasında ahşabın orta yerine yakındır. Plastikleştirilmiş ağaç malzemede ise nötr eksen bükme esnasında konveks yüzeye doğru kaymaktadır. Böylece basınç etkisinde kalan odun zonu artarken çekme etkisindeki odun oranı azalır. Destek şeritli bükmelerde ise basınç etkisindeki odun kısmı daha da artmaktadır (Rice ve Lucas, 2003). Ayrıca, plastikleştirilmiş ağaç malzeme özellikle bükülmüş halde kurutulduğunda şeklini daha iyi muhafaza etmektedir (Stevens ve Turner, 1970).

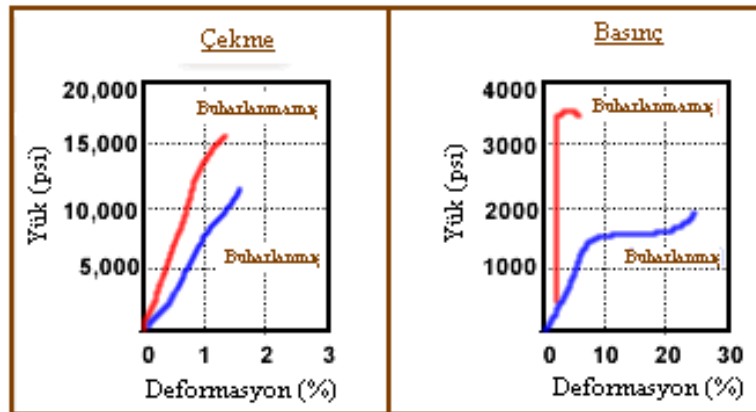
Peck (1957) Beyaz Meşe’de buhar basıncının ve buharlama süresinin bükmenin başarısına olan etkisini incelemiştir. Bükülen örnekler 1 inç kalınlık, 2 inç genişlik ve % 25 rutubete sahiptir. Elde edilen sonuçlar, buhar basıncının artmasının bükmenin başarısına olan olumsuz etkisini göstermiştir. Basıncın artması kırılmalara neden olan zayıf kısımların oluşmasına neden olmaktadır. Basınç 0 (sıfır) iken buharlama süresinin artmasının etkisi olmamıştır. Elde edilen sonuçlar Tablo 2’de gösterilmiştir (Peck, 1957).

Tablo 2. Meşe odununun bükülme başarısına buharlama basıncı ve süresinin etkisi

Basınç (psi)	Süre (Dakika)	Başarılı Bükme (Adet)	Başarısız Bükme (Adet)
0	20	37	3
0	40	38	2
0	60	37	3
17.5	20	33	7
35	10	24	16

35	20	25	15
----	----	----	----

Plastikleştirilmemiş ağaç malzeme kalınlığının 60 katı yarıçapa kadar bükülebilmektedir. Plastikleştirilmiş ağaç malzemede bu değer kalınlığın 30 katına kadar düşmektedir. Fakat kalınlığın 30 katından daha küçük bir yarıçaplı bükmelerde kırılmalar meydana gelmektedir. Bunun sebebi, bükülen malzemenin konveks yüzeyinde çekme gerilmesi meydana gelmesi ve bu etki ile maksimum çekme direncinin aşılmasıdır. Pratikte konveks tarafta çekme etkisi sonucu liflerde oluşan uzama şeklindeki maksimum deformasyon (liflere paralel) % 0.35 ve % 0.50 arasındadır. Bükülen parçaların konkav yüzeylerinde basınç etkisi ile meydana gelen liflerdeki kısalma şeklindeki maksimum deformasyon ise daha fazla olup yaklaşık % 30’dur (Berkel, 1963). Şekil 2’de Dişbudak odununda çekme ve basınç deneylerinde yük-deformasyon eğrisine buharlamanın etkisi gösterilmektedir. Günümüzde de kullanılan destek şeritli bükme donanımları ve makineleri ile bu değer daha da aşağılara düşmektedir (Hortaç, 1988).



Şekil 2. Dişbudak Odununda Yük-Deformasyon Eğrisine Buharlamamanın Etkisi

#### 1.4. Bükme işlemi ve bükme yarıçapı

Bükmede başarı elde edebilmek için yumuşatma işleminden sonra fazla zaman

kaybetmeden hemen bükme işlemine geçilmelidir. Ağaç malzemenin bükülmesi elle, basit aparatlar yardımıyla veya bükme makineleri ile yapılabilmektedir. Elle bükme, parçaya şekil vermek üzere levye gibi basit aletlerle insan gücü kullanılarak

yapılan bükmedir. Enerji ile çalışan bükme makinelerinin elle bükmeye göre bazı avantaj ve dezavantajlara bulunmaktadır. Bükme makinelerinin el aletlerine göre daha pahalı oluşu kullanımını sınırlayan en önemli faktördür. Ayrıca, birçok bükme şeklini yapabilen üniversal bükme makinesi sayısı azdır. Buna karşın bükme makinesi ile çok sayıda bükme bir işlemle yapılabilir, üretim hızı artırılabilir, şekil bozukluğu ihtimali azaltılabilir ve daha az güç sarf edilir. Elle bükme destek şeritli ve destek şeritsiz olarak yapılabilmektedir. Destek şeridi kullanılması durumunda ağaç malzeme daha küçük yarıçaplara kadar bükülebilmektedir. Ağaç malzemede bükülme değeri  $D/r$  ile ifade edilmektedir. Burada  $D$ : Malzemenin kalınlığı,  $r$ : Bükme yarıçapıdır. Plastikleştirme uygulanıp ve uygulanmamasına, destek şeridi kullanılıp kullanılmamasına göre bükülme değerlerinin değişimi Tablo 3’de gösterilmiştir (Berkel, 1963).

Tablo 3. Bükülme değerlerinin değişimi

Uygulanan İşlem	$D/r$ değeri
Plastikleştirilmemiş malzemenin çelik şeritsiz serbest halde bükülmesi	0.015- 0.03
Buharla muamele edilmiş malzemenin çelik şeritsiz serbest halde bükülmesi	0.02-0.10
Buharla muamele edilmiş malzemenin çelik şeritle beraber bükülmesi	0.03-1.0

Ağaç malzemenin bükme yarıçapı aşağıdaki formülle hesaplanmaktadır. (Ahmad Shakri ve ark., 2004).

$$r = (a^2 + b^2) / 2b$$

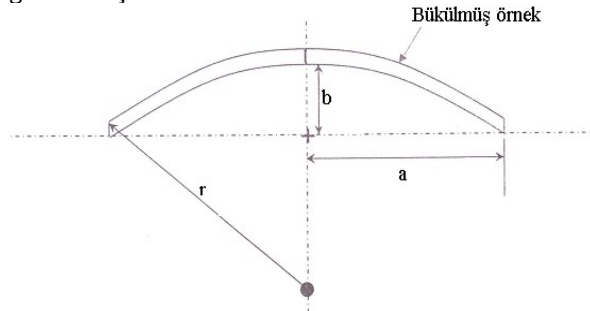
Burada;

$r$  = Bükme yarıçapı

$a$  = Düşey uzaklık

$b$  = Yatay uzaklık

Şekil 3’de bükülme yarıçapının hesaplanmasında kullanılan parametreler gösterilmiştir.



Şekil 3. Bükülme yarıçapı parametreleri (Ahmad Shakri ve ark., 2004).

Minimum bükülme yarıçapları, belli bir yarıçapa kadar bükülen örneklerin % 95’inin veya daha fazlasının kırılıp kırılmamasına göre belirlenmektedir. Örneklerin % 95 veya daha fazlasının kırılmadan bükülmesi halinde o ağaç türünün o yarıçapa kadar bükülebildiği kabul edilmektedir. İngiltere’deki Orman Ürünleri Araştırma Laboratuvarı (F.P.R.L.) tarafından yapılan sınıflandırmaya göre ağaç türleri minimum bükülme yarıçaplarına göre aşağıdaki sınıflara ayrılmaktadır (Tablo 4) (Berkel, 1963; Hortaç, 1988).

Tablo 4. Bükülme Kabiliyeti Sınıfları

En fazla % 5 kırılma zayıyatı ile bükmede erişilebilen yarıçaplar (mm)	Bükülme Kabiliyeti Sınıfları
< 152	Çok iyi
152 – 278	İyi
279 – 532	Orta
533 – 762	Kötü
> 762	Çok kötü

Genel olarak sert ağaçlar yumuşak ağaçlardan daha fazla ve belirli sert ağaçlar diğerlerinden daha fazla plastikleştirilebilir. Plastiklik derecesi bükülme kalitesinin bir göstergesidir. Ağaç malzemelerin plastikleştirilmesinde amaç, istenilen formda sıkıştırmadan dolayı deformasyonları önlemektir. Ağaç malzemenin plastikleştirilmesi, büküldüğünde oluşan gerilmeleri sınırlamaktadır (Hortaç, 1988).

## 1.5. Set etme işlemi

Bükme ahşabın kalıcı formunu (bükülmüş halini) koruyabilmesi için, geri esnemeye sebep olan iç gerilimin düşürülmesi, rijit hale getirilmesi (eğri bir yüzey üzerine tespit edilmesi) ya da ikisinin kombinasyonunu kullanmak esastır. Parçanın eğri formunu muhafaza edebilir hale getirilmesi işlemine set etme denilmektedir ancak bu işlemin tamamını kapsamamaktadır. Set etme aynı zamanda parçanın son halini alıncaya kadar kullanım yeri için en uygun kurutma ve şekil verme prosedürünü de kapsamaktadır. Set etme, fazla rutubetin uzaklaştırılması ve malzemenin soğutulması ile tamamlanabilir.

Odon, bükme öncesi rutubetli şartlarda ısıtılarak yumuşatılmakta ve böylece bir miktar rutubeti ve önemli ölçüde de sıcaklığı artmaktadır. Set etme işleminde ise tersi bir uygulama yapılarak bükme sonrasında kurutma ile rutubeti soğutma ile sıcaklığı azaltılmakta böylece verilen şekil kalıcı olmaktadır. Set etme işleminde rutubet bir etken olmasına rağmen, bütün rutubet içeriğinin, bükmeden önce tamamen uzaklaştırılmış olması şart değildir. Aslında, bükme işlemi için taze kereste kullanıldığında, bükme parçasının ortalama rutubeti hala yüksek ve LDN'nin üzerinde olsa bile, olması gereken yaklaşık formu elde etmek için set etme soğutmadan sonra uygulanabilir.

Set etme işlemi, bükülecek malzemeyi sıcak kuru havaya maruz bırakarak önemli oranda hızlandırılabilir ve uygulanan sıcaklık 66 °C civarındadır. Bazen sıcaklık 88 °C' ye kadar yükseltilerek malzemeye zarar vermeden işlem yapılabilir. Set etme odaları genellikle buharla ısıtılan boruları içeren basit kurutma odaları biçiminde tasarlanırlar. Ara sıra set etme odasındaki rutubet miktarını kontrol etmek gerekmektedir. Set etme işlemi boyunca malzeme hangi şekil verilmek isteniyorsa o şekilde sabitlenmelidir. Eğer malzemedeki bükme kalıbı çıkarılacak olursa, set etme işlemini hızlandırmak için şeritlerle çivileyerek, bağlama elemanları veya benzeri materyaller kullanılarak sabitlenmelidir. Bazı durumlarda, bükme işleminden hemen sonra destek şeridinin kaldırılması söz konusu olabilir ama bükülen malzeme sıcak ve ıslak olduğundan çekme kırılmaları meydana gelebilir. Bu durum, özellikle malzemede lif kıvrıklığı varsa bükme kalıbı kaldırıldığında söz konusu olur. Şeritler eğer mümkünse kaldırılmalıdır eğer mümkün değilse soğuma işleminden sonra çıkarılmalıdır.

Set etme işleminin aşamaları kolaylıkla belirlenemez çünkü bu aşamalar oda sıcaklığı, malzeme boyutu, bükme yarıçapı, rutubet gibi faktörlere bağlı olarak değişiklik gösterir. Genellikle eğer gerekli ise bu aşamalar bazı ön testlerle belirlenebilir. Set etme işleminin ne zaman biteceğinin kesin olarak belirlenmesi için set etme odası aralıklı olarak kontrol edilir ve tutma elemanlarının (bağlama elemanları, ip, metal çubuk, mengene vb.) gerginlikleri (sıklıkları) incelenir ve eğer gevşeme var ise set etmenin tamamlandığı kabul edilir.

Malzemenin radyo frekans ısıtma kullanılarak kaynama noktasına kadar ısıtılması ile set etme sürelerinde önemli kısalmalar elde edilebilmektedir. Set etme süresindeki kısalma ile birlikte yüksek ısı genellikle hücrelerde buhar oluşmasına sebep olmaktadır. Bu, genel amaçla kullanılan birçok bükme kerestesinde iç çatlaklara ve yarılmalara

neden olabilmektedir. Bu durum, bazen kayın odunu normal olarak geçirgen yapıda olsa bile yine de meydana gelebilmektedir. Bundan dolayı set etmede yüksek sıcaklık kullanılması pratik olarak uygun görülmemektedir. Düşük başlangıç rutubetine sahip ve kayın gibi geçirgen malzemeler kullanıldığında boyuna yönde ön basınç uygulanmış ya da esnek (bükülgen) ağaç malzeme kullanılarak yapılmış bükme işleminde daha az kusur meydana gelmesi olasıdır (Stevens ve Turner, 1970).

## 2. Bükme İşlemi ve Bükme Öncesi Uygulanan İşlemlerin Ahşap Kalitesi Üzerine Etkisi

Yale Üniversitesinde yapılan çalışmalarda masif ağaç malzemenin bükülme kalitesinin tespit edilmesinde iki farklı metot kullanılmıştır. Bunlardan birincisi bükülme kalitesinin görsel olarak değerlendirilmesidir. İkincisi ise bükme işleminden sonra malzemenin direnç değerlerine göre değerlendirmesidir. Eşleştirilmiş düz örneklerle göre statik eğilme direncinde meydana gelecek azalmalar bükme işleminin etkisinin göstergesidir (Wangaard, 1952).

Masif ağaç malzemenin bükülmesi ile ilgili yapılan çalışmalarda genelde ağaç türlerinin minimum bükülme yarıçapları tespit edilmiştir. Değişik araştırmacılar tarafından bazı ağaç türlerinin bükülme kaliteleri (bükülme yarıçapı) belirlenmiştir.

Whang ve ark., (2002) Kore'de yetişen 10 ağaç türünün bükülme yarıçaplarını ve Kore Kırmızı Çam'ının bükülme yarıçapına destek şeridi kalınlığının etkisini incelemiştir. Sonuç olarak Akçaağaç (*Acer mono*), Meşe (*Quercus variabilis*), Huş (*Betula schmidtii*), Gürgen (*Carpinus laxiflora*) ve Bitter wood (*Picrasma quassioides*) türlerinin mükemmel kalitede, Kiraz (*Prunus sargentii*), Çam (*Pinus densiflora*) ve Çam (*Pinus rigida*) türlerinin orta kalitede, İhlamur (*Tilia amurensis*) ve Pawlonya (*Paulownia tomentosa*) türlerinin kötü kalitede bükülme özelliklerine sahip olduğunu belirtmişlerdir. Destek şeridi kalınlığı 0.4 ve 0.6 mm olan örneklerde teğet bükmelerde, destek şeridi kalınlığı 0.8 ve 1.0 mm olan örneklerde ise yıllık halka yönlenmesi verev olan bükmelerde daha iyi bükülme kalitesi elde edilmiştir.

Lemoine ve Koch (1971) Çam (southern pine) ağacının buharla bükülmesinde kalınlık, büyüme hızı, yoğunluk, yıllık halka yönü, bükme yarıçapı ve buharlama süresinin bükülme özelliklerine olan etkisini incelemişlerdir. ½ ve 1 inç kalınlığındaki örneklerin % 17 rutubette en iyi bükülme özellikleri hızlı büyüyen, düşük yoğunluğa sahip, spiral liflilik bulunmayan teğet kerestelerde elde edildiğini belirtmişlerdir.

Murakami ve ark., (2002) ağaç türü ve bükülme kalitesi arasındaki ilişkileri incelemişlerdir. Ahmad Shakri ve ark., (2004) Malezya'da yetişen 7 egzotik ağaç türünün bükme endüstrisinde kullanılabilirliğini araştırmışlardır. Kırılma yüzdesi ve geriye yaylanma (spring-back) değerlerine göre yapılan değerlendirmede Sepetir ve Nyatoh türlerinin üstün özelliklere sahip olduğunu tespit etmişlerdir.

Buharlama esnasında uygulanan sıcaklık ve süreye bağlı olarak ağaç malzemenin fiziksel ve mekanik özelliklerindeki değişim birçok araştırmacı tarafından ortaya konulmuştur. Buharlama esnasında bütün direnç değerlerinde azalma olduğu bilinmektedir (Fabian, 1976). Genel olarak, direnç değerlerinde meydana gelen azalma yoğunlukta azalmayla orantılıdır. Buharlama sonucunda, özellikle 100 °C'nin üzerinde, en önemli değişiklik dinamik eğilme direncinde meydana gelmektedir (Varga ve van der Zee, 2008). Yılgör ve ark., (2001) 80 °C'de 20, 50, 70 ve 100 saat buharlanmış kayın odununun fiziksel, mekanik ve kimyasal özelliklerinde meydana gelen değişimi incelemişlerdir. Sonuçlar buharlamanın etkisiyle kayın odununun direnç ve fiziksel özelliklerinin azaldığını tespit etmişlerdir. 100 saatlik buharlama sonucu basınç direnci ve elastikiyet modülü değerleri sırasıyla % 13.2 ve % 16.5 azalmıştır. Buharlamanın etkisiyle radyal ve teğet daralma değerleri çok az etkilenmiş, yoğunluk değerleri yaklaşık olarak % 2 azalmıştır.

Ünsal (1998) 80 °C'de 20, 50, 70 ve 100 saat buharlanmış kayın odununun fiziksel ve mekanik özelliklerinde meydana gelen değişimi incelemiştir. Liflere paralel basınç direncinde 20 saat buharlama ile % 5.9, 50 saat buharlama ile % 9.5, 70 saat buharlama ile % 11.5 ve 100 saat buharlama ile % 13.2 azalma, eğilme direncinde sırasıyla % 6.4, % 6.3, % 7.1 ve % 4.8 azalma, eğilmede elastikiyet modülünde sırasıyla % 12.7, % 12.2, % 13 ve % 16.5 azalma, dinamik eğilme direncinde % 0.6, % 6.4, % 10.9 ve % 10.3 azalma olduğunu belirlemiştir..

Ünsal ve ark., (1995) 80 °C'de 60 saatlik buharlama ile Doğu Kayınının hacimsel daralma değeri % 7.17, basınç direncinde % 1.73, eğilme direncinde % 2.59 ve elastikiyet modülünde % 9.4 azalma tespit etmişlerdir. Kantay ve ark., (1996) aynı şartlar altında 64 saatlik buharlama ile çok

direncinde % 25 azalma olduğunu saptamışlardır.

Varga ve van der Zee (2008) iki tropik (*Intsia bijuga*, *Hymenolobium petraeum*) ve iki Avrupa'da yetişen (*Robinia pseudoacacia* L., *Quercus robur* L.) yapraklı ağaç türü odununun bazı özelliklerine buharlamanın etkisini incelemişlerdir. Sonuçlar buharlamanın etkisinin büyük oranda ağaç türüne bağlı olduğunu göstermiştir. 4 ağaç türünde de eğilme direnci ve sertlik değerleri buharlama sonrası azalmıştır.

Türkiye'de yetişen çoğu ağaç türünün teknolojik özellikleri tespit edilmiş olmasına rağmen bükme sonrası bu teknolojik özelliklerinin nasıl bir değişim göstereceği ve ne kadar yük taşıyacağı bilinmemektedir, dünyada bu konuda yapılan çalışmalar ise çok sınırlıdır. 8 inç yarıçapa kadar bükülen 1 inç kalınlığındaki kayın odununda ortalama direnç (MOR) kaybı % 32.1'dir (Beyaz meşe için karşılaştırmalı değer % 26.1'dir). 8 inç yarıçapta "mükemmel" sınıftaki kayında ortalama % 27.8, "iyi" sınıftakilerde % 31.7 ve orta sınıftakilerde % 38.6 direnç azalması tespit edilmiştir. 6 inç yarıçapta bükülmüş parçalarda direnç kaybı % 36.2 ve 10 inç yarıçapta bükülmüş parçalarda direnç kaybı ise sadece % 14.8'dir (Wangaard, 1952).

Jorgensen (1968) Yale Üniversitesi'nde yapılan yayınlanmamış çalışmalara atfen bükülmemiş ve bükülmüş Hickory (*Carya spp.*) odununda direnç testleri yapıldığını ve bükme sonrası direnç kaybının hızlı büyüyen, yüksek yoğunluklu odunlarda % 5- 10, yavaş büyümüş ve düşük yoğunluklu odunlarda ise % 20-25 olduğunu belirtmektedir. Bu sonuçların Hickory ağacının bükme için uygun olduğunu bir göstergesi olduğunu da belirtmektedir.

### 3. Sonuç ve Öneriler

Türkiye'de masif ağaç malzemenin bükülmesi ile ilgili yapılan bilimsel çalışmalar çok sınırlıdır ve genellikle derleme yayınlarıdır. Türkiye'de yetişen ağaç türlerinin bükülme yarıçapları ve bükülme sonrası mekanik özelliklerinin değişimi ile ilgili yapılmış çalışma bulunmamaktadır. Uygulamacılar tamamen deneme yanılma yöntemine göre bükme işlemi yapmakta veya daha küçük yarıçaplara kadar bükülebilecek değerli ağaç türleri daha



büyük yarıçaplarda bükülerek kullanılmaktadır. Bükme endüstrisinin gelişmesi ve bu amaçla ağaç türlerinin daha rasyonel bir şekilde kullanılabilmesi için bu alanda yapılacak çalışmalara ihtiyaç duyulmaktadır. Özellikle, Türkiye’de yetişen ve bu endüstride kullanılan ağaç türlerinin bükme yarıçaplarının tespit edilmesi, farklı kalınlıklardaki masif ve ahşap levha malzemenin bükülme yarıçaplarının belirlenmesi, bükme üzerine etki eden faktörler, bükme sonrası ağaç malzemenin fiziksel ve mekanik özelliklerinin değişimi ve bükülmüş ağaç malzemede kullanım yeri koşullarına bağlı olarak meydana gelen geriye yayılma ile ilgili çalışmalara ağırlık verilmesi gerekmektedir.

## Kaynaklar

- Ahmad Shakri, M.S., E.C.Y. David and J. Zaihan, 2004.** The possibility of using some Malaysian Timbers for Bentwood, IUFRO Working Party 5-04.12, 3<sup>rd</sup> International Symposium on Surfacing and Finishing of Wood, Kyoto, Japan.
- As, N. and A. Şenay, 1997.** Ağaç malzemeye form verme yöntemleri, I. Ulusal Mobilya Kongresi Bildiri Kitabı, 305-317, Ankara.
- Berkel, A., 1963.** Ağaç Malzeme Bükme Tekniği ve Kullanış Yerleri, *İ.Ü. Orman Fakültesi Dergisi*, B 13(1): 27-43.
- Fabian, T., 1976.** A faanyagok hidrotermikus kezelese. Faipari Kutato Intezet, Budapest (in Hungarian).
- Jorgensen, R.N., 1965.** Furniture wood bending: An inquiry into the theory and practice of bending wood. *Furniture Design and Manufacturing* 37(12):60-61.
- Jorgensen, R.N., 1968.** Steam bending of Hickory, Southeastern Forest Experiment Station Publish.
- Hortaç, H.K., 1988.** Bükme Mobilya Üretim Teknikleri Üzerine Araştırmalar, Hacettepe Üniversitesi, F.B.E. Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Ankara.
- Kantay, R., H. Ünlügil and S.N. Kartal, 1996.** Doğu Kayınının Dayanıklılığına Buharlanmanın Etkisi, *İ.Ü. Orman Fakültesi Dergisi*, B 45(2): 43-50.
- Kollman, F. P. and Jr.W.A. Cote, 1968.** Principles of Wood Science and Technology, Springer: Verlag, New York, No 1303.
- Lemoine, T.J. and P. Koch, 1971.** Steam-bending properties of southern pine, *Forest Prod. J.* 21(4): 34-42.
- Murakami, R. F. Tanaka and M. Norimoto, 2002.** Relationship between bending quality and wood species, *Wood Research*, No: 89.
- Niemiec, S.S. and T.D. Brown, 1995.** Steam Bending Red Alder, In: Green, D., W. von Segen, S. Willits, Western hardwoods-value-added research and demonstration program. Gen. Tech. Rep. FPL-GTR-85. Madison, WI: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory. 43 p.
- Peck, E.C., 1957.** Bending solid wood to form, *Agri. Handbook*, 125, USDA Forest Serv., U.S. Gov. Printing Office, Washington DC, 37 pp.
- Rice, R.W. and J. Lucas, 2003.** The effect of moisture content and bending rate on the work required to bend solid red oak, *Forest Prod. J.* 53(2): 71-77.
- Stevens, W.C. and N. Turner, 1970.** Wood bending handbook, Woodcraft & Supply Corp., Parkersburg, WV, 109 pp.
- Ünsal, Ö., S.N. Kartal, A.D. Doğu and T. Dündar, 1995.** Buharlanmanın Kayın (*Fagus orientalis* Lipsky) Odununun Bazı Özellikleri Üzerine Etkisi, KTÜ Orman Fakültesi, I. Ulusal Karadeniz Ormancılık Kongresi, Bildiriler Kitabı, 2. Cilt, s. 96-106.
- Ünsal, Ö., 1998.** Buharlanmış ve Buharlanmamış Kayın (*Fagus orientalis* Lipsky) Odununun Fiziksel ve Mekanik Özellikleri, İ.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Yayınlanmamış Doktora Tezi, İstanbul.
- Wangaard, F.F., 1952.** The steam bending of beech. *Journal of FPRS*: 35-41. November.
- Whang, K., I. Jung, W. Lee, J. Jang, H. Bae and M. Norimoto, 2002.** Bending quality of main Korean wood species, *Wood Research*, No:89.
- Varga, D. and M.E. van der Zee, 2008.** Influence of steaming on selected wood properties of four hardwood species, *Holz Roh Werkst* 66: 11-18.
- Yıldır, N., Ö. Ünsal and S.N. Kartal, 2001.** Physical, mechanical and chemical properties of steamed Beech wood, *Forest Prod. J.* 51(11-12):89-93.