

---

SERİ

**B**

CİLT

**41**

SAYI

**3 - 4**

**1991**

---

İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ

# ORMAN FAKÜLTESİ

DERGİSİ



# LİF KIVIRIKLIĞININ ODUNUN TEKNOLOJİK ÖZELLİKLERİ ÜZERİNE OLAN ETKİSİ

Y. Doç. Dr. Nusret AS<sup>1)</sup>  
Ar. Gör. Türker DÜNDAR<sup>1)</sup>

## Kısa Özet

Odunsu hücrelerin boyuna ekseninden sapması ile oluşan lif kıvrıklığı, hem ibrelili hem de yapraklı ağaçlarda görülebilmekte ve odunun fiziksel ve mekanik özellikleri üzerinde etkili olmaktadır. Ağaç malzemesinde anormal çalışmaya neden olan lif kıvrıklığı (spiral liflilik), mekanik özelliklerden en çok çekme direncini etkilemektedir. Eğilme özelliklerini (Eğilme, Dinamik eğilme, E-Modülü) de etkileyen lif kıvrıklığı en az basınç direnci üzerinde etkin olmaktadır. Etki derecesi lif kıvrıklığının miktarına bağlı olarak değişiklik göstermektedir.

## 1. GİRİŞ

Spiral liflilik diye de adlandırılan Lif Kıvrıklığı, Odunsu hücrelerin (lif, trahe ve traheidler) gövde eksenine paralel olarak seyretmeyip, küçük veya büyük bir açı teşkil ederek spiral şekilde gövde etrafında dolanması ile oluşur (BERKEL 1970).

Odunsu hücreler gövde eksenini boyunca sağa doğru seyrededebildikleri gibi sola doğru da dolaşabilirler. Bazen her iki tarafa doğru da yönelmeleri mümkündür.

Odundaki lif kıvrıklığının varlığını ve yönünü kabuk yarınlarından anlamak söz konusu olmadığı gibi bu her zaman geçerli olmamaktadır. Ancak kabuk soyulduktan sonra zamanla oluşan çevre çatlakları ile lif kıvrıklığının varlığı ve yönü hakkında fikir sahibi olunabilmektedir (BÖZKURT 1979).

Lif kıvrıklığı, hem iğne yapraklı hem de yapraklı ağaçlarda her zaman görülebilen bir kusur olup, bundan dolayı doğal bir büyüme karakteristiği gibi kabul edilmesi görüşünde olanlar vardır. İğne yapraklı ağaçlardan Çam, Ladin, Gökınar, Melez gibi türlerde bulunabilmekle birlikte, özellikle çamda fazla oranda rastlanır. Yapraklı ağaçlarda ise özellikle At kestanesi daima spiral liflidir. Bunun dışında Meşe, İhlamur ve Erik gibi türlerde de bulunabilmektedir.

1) İ. Ü. Orman Fakültesi, Orman Endüstri Mühendisliği Bölümü, Odun Mekanikliği ve Teknolojisi Anabilim Dalı.

Gerçek anlamda lif kıvrıklığının mevcudiyetini anlamak için ağaç malzemenin ya biçilmiş ya da kabuğu soyulmuş olması gerekir. Biçilmiş malzemenin teğet kesit yüzeyinde, kabuğu soyulmuş malzemenin ise üst yüzeyinde lif kıvrıklığını belirlemenin en basit yollarından biri de çizgi metodudur (Scribe test). Buna göre bir iğne yardımı ile ağaç malzeme yüzeyine lif boyunca çizgi çizilmekte ve bu çizginin gidiş yönüne bakılmaktadır. Ancak, özellikle sert odun dokularında iğnenin, boyuna yönde sıralanmış olan odunsu hücrelerini enine yönde geçmemesine dikkat etmek gerekir. Bu nedenle 3-4 çizgi çizilmeli ve bu çizgilerin birbirine paralellliği kontrol edilmelidir.

Bu metodun dışında kuruma çatlaklarını beklemeden küçük boyutlu örnekler alarak bunları çatlatmak, yarmak suretiyle de lifkıvrıklığı hakkında bilgi sahibi olunabilir.

Ayrıca lif koparma, mürekkep damlatma, boya enjekte etme, mikroskopik inceleme vb. testler ile de lif kıvrıklığı saptanabilmektedir.

Spiral liflilik miktarı değişik şekillerde ifade edilebilmektedir. Liflerin gövde boyuna eksenine ile yapmış oldukları açı derecesi, metrede sapma miktarı (cm veya mm olarak), belirli bir gövde uzunluğunda liflerin gövde çevresini dolanma miktarı, İngiliz ölçüleri kullanan ülkelerde 10 inç'lik bir uzunlukta ayrılış miktarı (inç olarak) ya da 1/5, 1/10, 1/12 gibi oran olarak lif kıvrıklığı miktarları ölçülebilmekte ve ifade edilebilmektedir.

Lif kıvrıklığının nedenleri henüz tam olarak açıklığa kavuşturulamamıştır. Genetik özelliklerin etkisi yanında çevre faktörlerinin de (Rüzgâr, Kar, Güneş, vb.) lif kıvrıklığının oluşmasında etkili olduğu ileri sürülmektedir.

Lif kıvrıklığı bir kusur olarak kabul edilmektedir. Direnç değerlerini düşürücü bir etki yaptığından lif kıvrıklığı, ağaç malzemenin kullanım alanını sınırlamaktadır.

## 2. LİF KIVRIKLIGININ BAZI FİZİKSEL ÖZELLİKLER ÜZERİNE OLAN ETKİSİ

Spiral lifli ağaç malzeme, meydana gelen rutubet değişimleri sonucunda liflerin yönüne bağlı olarak farklı çalışma göstermektedir. Aşırı derecede spiral lifli ağaç malzemede lifler enine yöne çevrildiğinden, biçilmiş kerestede anormal daralma değerleri ortaya çıkmaktadır (BOAS, 1933, PAUL, 1957).

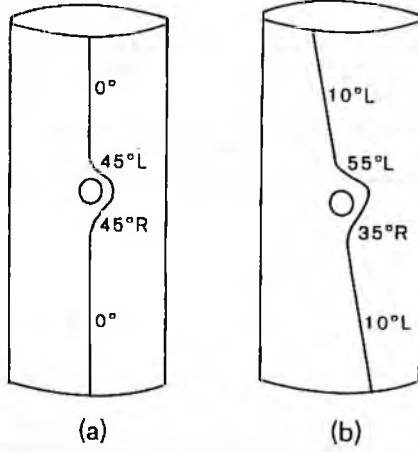
Burada bir diğer hususun da belirtilmesine gerek vardır. Lif kıvrıklığı, biçilmiş kerestenin fiziksel ve mekanik özelliklerini odunun tüm boyunca etkiler. Normal kerestede budakların çevresinde de liflerin boyuna eksenden sapsması söz konusudur ve ancak lokal bir etkiye neden olurlar. Bir kereste parçasının içerisinde lif kıvrıklığı mevcut ise ve budak bölgesindeki lif sapsması ile spiral lif açısı aynı yönde seyrediyorsa o zaman maksimum sapma miktarı meydana gelir ve buna bağlı olarak da o bölge zonundaki odun özellikleri daha fazla etkilenir (Şekil 1).

Wengert ve Skaar (1978), 100°C'nin altında, rutubetin boyuna yöndeki iletiminin, enine yöndeki iletimine nazaran 100 kat daha kolay olduğunu bildiklerinden spiral lifliliğin rutubet iletmeye katsayısı (k) üzerine olan etkisini araştırmışlardır. Sonuç olarak odunda mevcut küçük lif açılarının dahi, rutubet iletmeye katsayısı değerleri ve suyun odun içindeki hareket hızı üzerinde büyük oranda etkili olduğu görülmüştür.

X°'lik bir lif açısı için rutubet iletmeye katsayısı ( $k_x$ ), Boyuna rutubet iletmeye katsayısı ( $k_L$ ) ve Enine rutubet iletmeye katsayısı ( $k_T$ ) ile hesaplanabilir.

$$\frac{k_x}{k_T} = \cos^2 x + \frac{k_L}{k_T} \cdot \sin^2 x$$

Lif açısının tüm etkisi, (FL Sinx)/Fx in test edilmesi ile gözlemlenebilir. Boyuna akış yolları ve x yönünde hareket eden akım, toplam net akım ile kıyaslandığında;



Şekil 1 : Spiral lif açısının diğer nedenlerden doğan lif sapmaları ile artması.  
a) Düzgün lifli bir ağaçta, dal etrafındaki lif sapması.  
b) Spiral lifli bir ağaçtaki durum.

$$(F_L \text{Sin}x) / F_x = \frac{1}{(k_T/k_L) \text{Cot}^2(x+1)}$$

eşitliği elde edilir.

Verilen eşitlikler, geçirgenlik ölçmeleri (basınç altında sıvı akışı) için, boyuna ve enine geçirgenlik oranı 20 000:1 olan yüksek sıcaklıkta kurutma için, bu oranın yaklaşık olarak 2:1 ile 3:1 arasında olduğu elektriksel ve termik iletkenlik ölçmeleri için ve oranın 3:1 ile 5:1 arasında olduğu ses hızı ölçmeleri için uygulanabilir.

Tablo-1 ve 2'de  $k_L/k_T$ 'nin değişik değerlerine göre farklı lif açısı değerleri için toplam akışın  $F_L/F_x$  Fraksiyon değerleri verilmiştir.

Tablo 1:  $k_L/k_T=10, 50$  ve  $100$  olduğunda  $x$  yönündeki toplam akışın  $F_L/F_x$  Fraksiyonu (Wengert ve Skaar, 1978).

x (0)	$k_L/k_T$		
	10	50	100
0	0.00	0.00	0.00
2	0.01	0.06	0.11
4	0.05	0.20	0.33
6	0.10	0.36	0.52
8	0.16	0.50	0.66
10	0.24	0.61	0.76
20	0.57	0.87	0.93
40	0.84	0.97	0.99
60	0.97	0.99	1.00
90	1.00	1.00	1.00

**Tablo 2 :** Elektrik, ısı ve ses iletkenliği ( $k_1/k_T=2-5$ ) ve geçirgenlik ( $k_1/k_T=20\ 000$ ) için x'in değişik açılarında boyuna akış yolu ile hareket eden x yönündeki toplam akımın fraksiyonu (WEN-GERT / SKAAR 1978).

x (°)	Elektrik, Isı, Ses	Geçirgenlik
0	0.00	0.00
5	0.02	0.99
10	0.09	1.00
20	0.28	1.00
45	0.75	1.00
90	1.00	1.00

### 3. LİF KIVIRIKLIĞININ MEKANİK ÖZELLİKLER ÜZERİNE OLAN ETKİSİ

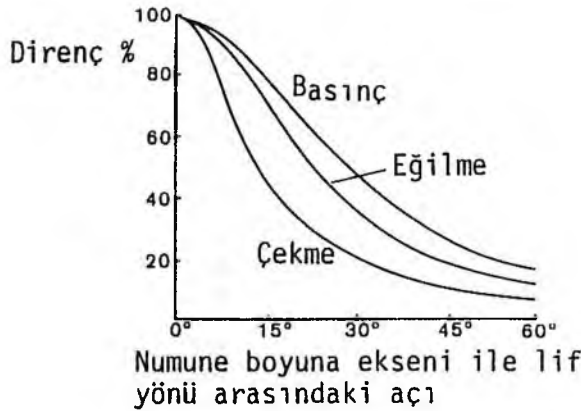
Odunun liflere paralel ile dik yöndeki direnç özellikleri arasındaki oran, büyük farklılıklar gösterir. liflere paralel çekme direnci, liflere dik çekme direnci ile oranlandığında, taze odunda 25:1, hava kurusu odunda ise 45:1 değerleri elde edilir. Basınç direncinde farklılıklar bu kadar belirgin değildir. Liflere paralel basınç direnci liflere dik direnç değerinden sadece 6-10 kez daha büyüktür.

Odun ne kadar homojen ve ne kadar yoğun olursa liflere paralel ve dik yönde belirlenen dirençleri arasındaki oran muhtemelen o kadar küçük olacaktır (KOLLMANN / COTE 1968).

Çekme, eğilme ve basınç dirençlerinin lif yönünden ne şekilde etkilendikleri grafik olarak Şekil 2'de gösterilmiştir.

Şekil 2'den de anlaşılacağı üzere numune boyuna eksenine lif yönü arasındaki açının artmasından en çok çekme direnci etkilenmekte ve bunu eğilme direnci izlemektedir. En az da basınç direnci etkilenmektedir.  $5^\circ-10^\circ$  (1:11-1:6) arasındaki lif açıları için her üç direnç değerinde % 10'luk bir azalma olduğu görülmektedir (KOLLMANN / COTE 1968).

Biçme esnasında spiral lifli gövdelerde düzgün liflilere nazaran daha fazla sayıda lifler meyilli olarak kesilmekte ve buna bağlı olarak biçilmiş malzemenin direncini azaltmaktadır.



**Şekil 2:** Lif yönü ile çekme, eğilme ve basınç dirençleri arasındaki ilişki (KOLLMANN / COTE 1968).

Özellikle şok direnci lif kıvrıklığına karşı çok hassastır. Bu nedenle ağaç malzemenin şok gerilmelerine maruz kaldığı kullanımlar için lif eğiminin 1:25 ya da 2°nin biraz üstünde olması önerilmektedir (WILSON 1921; KOEHLER 1924; BOAS 1933).

Liflere paralel yönden liflere dik yöne doğru değişen direnç özellikleri Hankinson formülü kullanmak suretiyle çok yaklaşık olarak bulunabilmektedir.

$$\delta_{\theta} = \frac{\delta_{//} \cdot \delta_{\perp}}{\delta_{//} \cdot \sin^n \theta + \delta_{\perp} \cdot \cos^n \theta}$$

$\delta_{//}$  =Liflere paralel direnç ( $\theta=0^{\circ}$ )

$\delta_{\perp}$  =Liflere dik direnç ( $\theta=90^{\circ}$ )

n =Amprık olarak belirlenmiş sabite.

$\delta_{\theta}$  =Liflerin boyuna eksenden  $\theta$  açısı kadar sapsmış örneklerde direnç değeri.

Formül, direnç özellikleri kadar elastiklik modülü için de kullanılmaktadır.

Değişik direnç özellikleri için n değerleri ve  $\delta_{\perp} / \delta_{//}$  oranları mevcut literatürden çıkarılarak aşağıda verilmiştir (F.P.L. 1987).

Özellik	n	$\delta_{\perp} / \delta_{//}$
Çekme direnci	1.5-2	0.04-0.07
Basınç direnci	2-2.5	0.03-0.4
Eğilme direnci	1.5-2	0.04-0.1
E-Modülü	2	0.04-0.12
Dinamik Sertlik	1.5-2	0.06-0.1

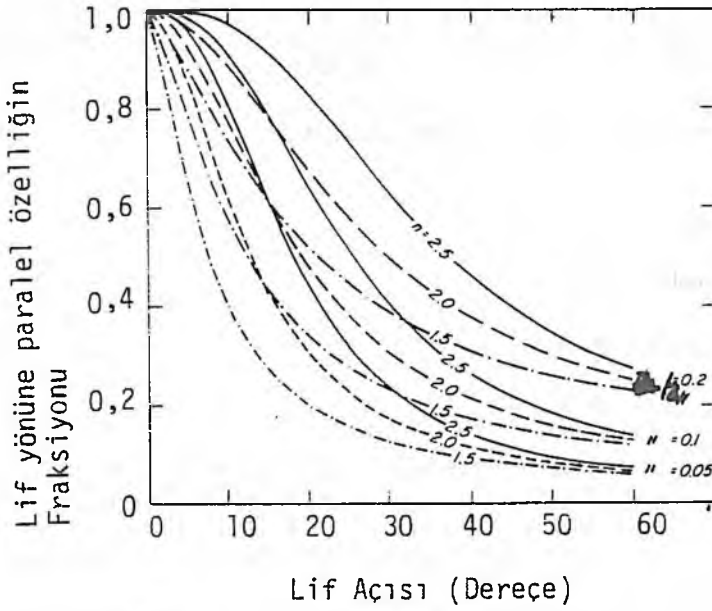
Hankinson formülü n ve  $\delta_{\perp} / \delta_{//}$  nin bir fonksiyonu olarak grafik şekilde de gösterilebilir (Şekil 3).

Northcott (1965), Hankinson formülünün ağaç türlerinin çoğunluğu için uygulanabilirliği konusunda şüpheli olduğunu, bu nedenle formülün bütün şartlar altında doğru gibi kabul edilmemesi gerektiğini belirtmektedir.

Bununla birlikte Langlands (1933), Okalıptus (*Eucalyptus diversicolor*) üzerinde; Kingston (1947), Aryakarya (*Araucaria cunninghamii*) üzerinde yapmış oldukları testlerde, Hankinson formülünün deneysel sonuçlara yakın değerler verdiğini bulmuşlardır.

Langlands (1936), Akçaağaç, Dişbudak, Ceviz, Ladin, Çam (*elliotti, strobis, sylvestris*), Douglas göknarı ve maun türleri üzerinde yapılan testlerde sonuçların Hankinson formülüne yakın değerler verdiğini belirtmektedir.

Değişik derecelerdeki lif kıvrıklığının bazı mekanik özellikler üzerine olan azaltıcı etkisi Tablo 3 ve 4'de verilmiştir.



Şekil 3: Hankinson formülüne göre odunun mekanik özelliği üzerine lif açısının etkisi (F.P.L. 1987).

Tablo 3'te eğilme direnci için verilen değerler, Şekil 3'te  $\delta_{\perp}/\delta_{\parallel}=0.1$  ve  $n=1.5$  için çizilen eğriye çok yakın bir azalma göstermektedir. Benzer şekilde dinamik eğilme direnci,  $\delta_{\perp}/\delta_{\parallel}=0.05$  ve  $n=1.5$  için ve basınç direnci,  $\delta_{\perp}/\delta_{\parallel}=0.1$  ve  $n=2.5$  için çizilen eğrilere çok yakın olarak azalma göstermektedirler.

Ağaç malzemenin değişik kullanım yerlerinde maruz kalacağı gerilme çeşitlerine göre odunda bulunabilecek maksimum lif kıvrıklığı miktarı konusunda bazı araştırmacılar arasında görüş birliğine varılabilmemiş değildir. Tablo 5'de eğilme ve basınç için müsaade edilebilir lif kıvrıklığı miktarları değişik yazarlar için verilmiş bulunmaktadır.

Tablo 3: Değişik derecelerde lif kıvrıklığına sahip ağaç malzemenin direnç özelliklerinin, düzgün lifli örneklerin direnç özellikleri ile kıyaslanması (F.P.L 1987).

Lif Kıvrıklığı Miktarı	Eğilme Direnci	Dinamik Eğilme	Liflere Paralel Basınç Direnci
	(%)	(%)	(%)
Düzgün lifli	100	100	100
1:25	96	95	100
1:20	93	90	100
1:15	89	81	100
1:10	81	62	99
1:5	55	36	93

**Tablo 4:** *Eucalyptus marginata*'nın eğilme özellikleri üzerine lif kıvrıklığının etkisi (KLOOT / SCHUSTER 1958).

Lif Kıvrıklığı Miktarı	Eğilme Direnci	Elastiklik Modülü
Düzensiz lifli	1.00	1.00
1:20	0.92	0.91
1:18	0.91	0.90
1:16	0.90	0.89
1:14	0.88	0.87
1:12	0.86	0.85
1:10	0.84	0.81
1:8	0.80	0.77
1:6	0.73	0.68
1:4	0.60	0.53
1:3	0.48	0.37

**Tablo 5 :** Bazı araştırmacılara göre müsaade edilebilir maksimum lif kıvrıklığı miktarları (HARRIS 1989).

	Eğilme	Basınç
Wilson, 1921	1:20	1:10
Boas, 1933	1:15	1:5
Banks, 1953	1:8	
Markwardt ve Wood, 1958	1:20	1:15
Luo ve Xu, 1983	1:10	

SANYAL ve diğerleri (1980), *Pinus roxburghii* direklerinde eğilme direncinin, yüksek lif kıvrıklığı derecelerinde önemli derecede azaldığını belirtmekte ve % 12'ye kadar olan lif kıvrıklığının eğilme direncini etkilemediğini ifade etmektedirler.

Aynı araştırmacılar spiral lifli direklerin düzensiz lifli direklere nazaran kırılmadan önce daha fazla uyan sesi verdiklerini ifade etmektedirler.

KÖNİĞ (1947), Maden direği ve sütun direklerinde orta derecede spiral lifli kısa direklerin kullanılmasını özellikle söylemektedir. Ancak yan yüklere karşı ve çekme gerilmelerinin olduğu yerlerde spiral lifli direkler kullanılmamalıdır. Keza spiral lifli yarı yuvarlak olanların da kullanılması uygun değildir.

THUNELL (1951)'e göre spiral lifli ağaçlar, rüzgâra ve kar gibi ağır yüklere düzensiz lifli ağaçlardan daha iyi dayanmaktadır. Maksimum rüzgâr ve kar yükü dalların eğilmesiyle azalmakta ve eğilen dallardan kar daha kolay bir şekilde dökülmektedir.

Ağaçların yüksek dağlarda kar ve rüzgâr yüklemelerine karşı dayanmak ve yaşamlarını sürdürdürebilmek için lifkıvrıklığı oluşturdıkları ifade edilmektedir (CHAMPION, 1924). Aynı yazar, orman örtüsünün odun üretiminden daha önemli olduğu yerlerde (üst ağaç sınırında) spiral lifli



ağaçlardan elde edilen tohumların tercihan ekilmesi veya bu tohumların ekilmesiyle elde edilen fidanların dikilmesi gerektiğini vurgulamaktadır.

Ancak bu görüş VENKATARAMANAN (1967) tarafından tutulmamaktadır. Kendisi, spiral lifli *Pinus roxburghii* ağaçlarının büyük çekme ve eğilme gerilmelerine karşı bir direnç azalması gösterdiğini ve kar kırmaları ile devrilme zararlarına maruz kaldıklarını ifade etmektedir.

Ayrıca, Bükme mobilya gibi maksatlarda kullanılan ağaç malzemedeki liflerin 1.5 dereceden daha fazla, kesme kaplama ve kereste için 6 dereceden daha fazla olması, soyma kaplama üretimi için ise liflerin 10 dereceden fazla bir açı göstermesi ağaç malzemenin bu kullanım yerlerinde değerlendirilme imkânlarını kısıtlamaktadır (TRENDELENBURG / MAYER / WEGELIN 1955). Buna ilaveten iğne yapraklı ağaçlarda 5 m. gövde uzunluğunda, liflerin gövdenin 1/2'si kadar dolanması durumunda bu haldeki ağacın birçok kullanım yerlerinin kısıtlandığı ifade edilmektedir (KNUCHEL 1947).

Biçilmiş kerestede lif kıvrıklığına bağlı olarak eğik liflilik oluşabildiği gibi, özellikle konik gövdelerde kerestenin tomruktan kabuğa paralel değil de öze paralel biçilmesi ile de oluşabilir. Ancak bu durumda diyagonal liflilik söz konusudur. Bu biçme sonunda oluşan bir kusur olup, tamamen düzgün lifli gövdelerden elde edilen kerestelerde de oluşabilir. Odunun direnç özellikleri üzerine olumsuz etki eder. Diyagonal liflilik en iyi şekilde radyal yüzeylerde incelenir.

Spiral ve diyagonal liflilik birlikte de olabilir. Bu durumda çapraz liflilikten bahsedilir. Çapraz liflilik, bir parçanın bitişik yüzeylerinde lif eğiminin ölçülmesi ile aşağıdaki eşitliğe göre bulunabilir (BOZKURT 1979).

$$\alpha = \sqrt{s^2 + d^2}$$

s = Spiral liflilik yüzdesi

d = Diyagonal liflilik yüzdesi

## KAYNAKLAR

- BERKEL, A., 1970: Ağaç Malzeme Teknolojisi, İ.Ü. Orman Fakültesi, İ.Ü. Yayın No. 1448, O.F. Yayın No. 147, İstanbul.
- BOAS, H., 1933: Cross, diagonal and spiral grain in timber. CSIRO Aust For Prod. Div. Trade Circ. 13, 11 pp.
- BOZKURT, Y., 1979: Ağaç Teknolojisi, İ.Ü. Orman Fakültesi Yayınları, İ.Ü. Yayın No. 2482, O.F. Yayın No. 260, İstanbul
- BOZKURT, Y., GÖKER, Y., 1987: Fiziksel ve Mekanik Ağaç Teknolojisi Ders Kitabı, İ.Ü. Orman Fakültesi Yayınları, İ.Ü. Yayın No. 3445, O.F. Yayın No. 388, İstanbul.
- CHAMPION, H.G., 1929: More about spiral grain in conifers. Indian For 55. 57-58.
- FOREST PRODUCTS LABORATORY, 1987: Wood Handbook; Wood as an Engineering material. Agric. Handb. 72. Rev. Washington, DC: U.S. Department of Agriculture. Chapter 4.

- HARRIS, J.M., 1989: *Spiral Grain and Wave phenomena in Wood Formation*, Berlin, Heidelberg, New York, Tokyo: Springer.
- KINGSTON, R.S.T., 1947: The variation of tensile strength and modulus of elasticity of hoop pine veneer with the direction of the grain. *J. Covac Sci Ind Res Aust* 20:338-345.
- KLOOT, N.H., ve SCHUSTER, K.B., 1958: The effect of cross-grain on the bending properties of jarrah scantlings. *Aust J. Appl. Sci.* 9:9-17
- KNUCHEL, H., 1947: Holzfehler.
- KOEHLER, A., 1924: *The properties and uses of wood*. McGraw-Hill, New York, 354, pp.
- KOLLMANN, F.F.P. ve COTE, W.A., 1968: *Principles of wood science and technology 1. Solid wood*. Springer, Berlin, Heidelberg, New York, 592 pp.
- KONIĞ, E., 1947: Spiraliger Verlauf der Holzfaser (Drehwuchs). *Holz-Zbl* 23: 183-185.
- LANGLANDS, I., 1933: The effect of the size of specimen on the toughness of interlocked Karri. *Aust Div For Prod Project TM 7-3*, 8 pp.
- LANGLANDS, I., 1936: A discussion of special tests on the compressive strength of green karri (*Eucalyptus diversicolor*). *Aust Div For Prod Tech Pap* 19, 31 pp.
- NORTHCOTT, P.L., 1965: The effects of spiral grain on the usefulness of wood. *Proc IUFRO melbourne Sect 41, Vol 1*, 15 pp.
- PAUL, B.H., 1957: Lengthwise shrinkage in ponderosa pine. *For Prod* 5 7:408-410.
- SANYAL S.L., GULATI, A.S., JAIN, J.D., 1980: A note on the twisted chir poles for overhead power and communication lines. *J. Timber Dev Assoc (India)* 26:5-8
- THUNELL, B., 1951: Über die Drehwüchsigkeit. *Holz Roh-Werkst* 8:293-297.
- TRENDELENBURG, R. - MAYER, N. - WEGELIN, 1955: *Das Holz als Rohstoff*. 2. Auflage.
- VENKATARAMANAN, S.V., 1967: Spiral grain in chir (*Pinus roxburghii* Sargent) *Proc IUFRO 14 Congr München IX Sect 41*:484-497.
- WENGERT, E.M. ve SKAAR, C., 1978: Additional consideration in measuring transverse moisture conductivity in wood. *Wood Sci* 11:102-104.
- WILSON, T.R.C., 1921: The effect of spiral grain on the strength of wood. *J. For* 19:740-747.

