

SERİ  
SERIES  
SERIE  
SÉRIE

A

CİLT  
VOLUME  
BAND  
TOME

45

SAYI  
NUMBER  
HEFT  
FASCICULE

2

1995

İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ  
**ORMAN FAKÜLTESİ**  
D E R G İ S İ

REVIEW OF THE FACULTY OF FORESTRY,  
UNIVERSITY OF ISTANBUL

ZEITSCHRIFT DER FORSTLICHEN FAKULTÄT  
DER UNIVERSITÄT ISTANBUL

REVUE DE LA FACULTÉ FORESTIÈRE  
DE L'UNIVERSITÉ D'ISTANBUL



# YOĞUNLUK İLE MEKANİK ÖZELLİKLER ARASINDAKİ İLİŞKİLER<sup>1)</sup>

Prof. Dr. Yılmaz BOZKURT<sup>2)</sup>  
Prof. Dr. Nurgün ERDİN<sup>2)</sup>

## Kısa Özet

Son yıllarda ülkemize dünyanın her yerinden ve çeşitli yetişme ortamlarından ağaç malzeme ithal edilmekte ve bunların çoğunun direnç değerleri bilinmemektedir. Mühendislik hizmetlerinde bilinmesi gereken direnç değerlerinin, yaklaşık olarak hesaplanmasında yardımcı olmak amacıyla bu çalışma yapılmıştır. Çalışmada kaynak olarak kullanılan veriler, Avrupa, Tropik ülkeler, A.B.D. ve Kanada'da yetişen ağaç türleri için daha önce yapılan araştırmalardan alınarak, yoğunluk-direnç ilişkileri regresyon analizleri ile incelenmiştir. Ağaçların yetişme bölgeleri ve direnç tiplerine göre seçilen dört regresyon modeli ile denklemler elde edildikten sonra, korelasyon katsayısı ve ağaç türü sayıları dikkate alınarak F testleri yapılmış ve geometrik regresyon modelinin en uygun sonuçlar verdiği görülmüştür.

## 1. GİRİŞ

Hücrelerden oluşan ve poröz bir yapıya sahip olan ağaç malzemenin yoğunluğu, hücre çeper maddesi miktarı ile ilgili olarak değişmektedir. Yoğunluk, malzemenin mekanik özellikleri üzerinde doğrudan etkili olmakta, ayrıca kurutma, işlenme ve termik özelliklerini de etkilemektedir.

Birim hacimdeki hücre çeper maddesi miktarı genelde yoğunluk ya da özgül ağırlık olarak ifade edilmektedir. Özgül ağırlığa relatif yoğunluk da denmekte ya da malzeme yoğunluğunun, suyun yoğunluğuna oranlanması ile bildirildiğinden, birim kullanılmadan ifade edilmektedir. Su-

1) 22-25 Eylül 1992 tarihinde yapılan I. Ulusal Orman Ürünleri Endüstri Kongresine aynı başlık altında sunulan tebliğin genişletilmiş şeklidir

2) İ.Ü. Orman Fakültesi Orman Endüstri Mühendisliği Bölümü

yun yoğunluğu  $1.0 \text{ g/cm}^3$  olduğundan, yoğunluk ve özgül ağırlık (relâtif yoğunluk) arasında sadece metrik sistemde birim bakımından farklılık bulunmaktadır. Ülkemizde ve dünyada pek çok ülkede yoğunluk ve özgül ağırlık tespitinde kullanılan ağırlık, hangi rutubette ise hacim de aynı rutubette ölçülerek değerlendirilmektedir. Ancak, özellikle Amerika Birleşik Devletleri, Kanada ve Avustralya'da ağırlık daima tam kuru halde ölçülmekte, fakat hacim değişik rutubetlerde alınmaktadır. Bu ülkelerde özgül ağırlıklarda (relâtif yoğunluklarda) kullanılan ağırlık ve hacimin rutubet durumları aşağıda verilmiştir.

	Ağırlık	Hacim
Tam kuru özgül ağırlık	Tam kuru	Tam kuru
Nominal özgül ağırlık	Tam kuru	Hava kuru (%12 rutubette)
Esas özgül ağırlık (Hacim ağırlık değeri)	Tam kuru	Taze halde (LDN ve üstündeki rutubet)

Bir ağaç malzemenin yoğunluğu üzerinde etkili olan faktörler; ağaç türü, rutubet, yıllık halka genişliği, ilkbahar ve yaz odunu oranı, ekstraktif maddeler, malzemenin dal, kök ve gövde odunu oluşu şeklinde sıralanabilir. Yoğunluk özellikle rutubetle artış göstermekte, lif doygunluğu noktasına (LDN) kadar yavaş yavaş, lif doygunluğu noktasından sonra hızlı bir şekilde artmaktadır.

Mekanik özellikler ise, ağaç malzemeye dışarıdan yapılan bir etkiye, malzeme tarafından karşı koyma gücü olarak ortaya konulan gerilme ölçüsü olarak tanımlanabilmektedir. Mekanik özellikleri etkileyen en önemli faktör yoğunluk olup, yoğunluk artışı ile mekanik özellikler de artmaktadır. Yoğunluktan başka, budaklar, lif yönünde sapma (lif kıvrıklığı ve diyagonal liflilik), malzemedeki yıllık halka yönü (teğet-radyal), reaksiyon odunu (basınç-çekme), basınç çatlakları, reçine keseleri, ekstraktif maddeler, malzemenin çürük ya da sağlam oluşu, rutubet miktarı, asitler ve bazlar, uzun süreli kullanma (yorulma) etkisi ile çeşitli dirençlerde önemli değişimler olmaktadır. Ayrıca, küf ve renk mantarları etkisi, direnç değerlerinde az da olsa değişimlere yol açmaktadır.

Ağaç malzemenin yoğunluğunun, mekanik özellikler üzerine etkisi çok önemli olduğundan, bu konuda yapılan çalışmalar eski yıllara kadar uzanmaktadır. Bu çalışmalarda her ağaç türü için yoğunluk bulunduktan sonra, o ağaç türü için geliştirilmiş matematik denklemlerden yararlanarak, direnç değerleri hesaplanabilmektedir. Ancak, pratik bir yöntem olmadığından, tüm ağaç türlerine ait bazı eşitlikler geliştirilerek, tek formülden bir ağaç türünün yaklaşık direnç değerinin bulunabilmesi yolları araştırılmaktadır. Bu makalede tüm dünyada yoğunluk ve direnç çalışmaları yapılmış ağaç türlerine ait değerler toplanarak, doğrusal, üssel, geometrik ve polinom regresyon modellerine göre eşitlikler elde edilmiştir. Bu eşitliklerde bir ağaç türüne ait yoğunluk değeri yerine konarak, yaklaşık direnç değerleri bulunabilmektedir.

Belli ağaç türlerinin yoğunluk ile dirençleri arasındaki ilişkiler doğrusal ve eğrisel eşitlikler olarak Kollmann and Coté (1968) ve Koch (1972) tarafından bulunmuştur. Panshin-de Zeeuw (1980) ve Mullins-McKnight (1981) A.B.D. ve Kanada ağaçlarında İngiliz ölçü sistemine göre geometrik regresyon modelini geliştirmişlerdir. Ülkemizde ise Bozkurt (1971) Toros göknarında, Acar (1974) Kavakta, Bozkurt-Göker-Erdin (1992-1993) suni olarak yetiştirilmiş Douglas göknarı ve doğu ladininde yoğunluk - direnç ilişkisinin doğrusal ve eğrisel denklemleri üzerinde çalışmışlardır.

## 2. METOD

Bu makalenin hazırlanmasında kaynak olarak kullanılan değerler, Avrupa, Tropik ülkeler, A.B.D. ve Kanada'da yetişen ağaç türlerinin kusursuz ve düzgün lifli küçük örnekleri ile yapılan deneme sonuçlarını veren yayınlardan alınmıştır. Yoğunluk-direnç ilişkileri, regresyon analizleri ile incelenmiş ve serbest değişkenlerin, bağlı değişkenler üzerindeki etki biçimi ve yönü istatistik denklemlerle belirlenmiştir.

Yoğunluk-direnç ilişkileri analizinde aşağıda verilen doğrusal, üssel, geometrik ve polinom regresyon modelleri kullanılmıştır.

Doğrusal regresyon modeli :  $Y = a + bD_{12}$

Üssel regresyon modeli :  $Y = ae^{bD_{12}}$

Geometrik regresyon modeli :  $Y = aD_{12}^b$

Polinom regresyon modeli :  $Y = a + bD_{12} + cD_{12}^2$

Dünya üzerinde çeşitli bölgelerde yetişen ağaçlar, Dünya İğne Yapraklı, Avrupa İğne Yapraklı, Avrupa Yapraklı, Tropik Yapraklı, Tüm Dünya, A.B.D. ve Kanada ağaçları başlığı altında toplanmıştır. Bu gruplardaki ağaçlara ait yoğunluk değerleri ile mekanik özelliklerden: elastikiyet modülü, eğilme, basınç, çekme, makaslama ve dinamik eğilme dirençleri ile teknolojik özelliklerden liflere paralel Brinell sertlik, liflere dik Brinell sertlik değerleri arasındaki ilişkilerin regresyon analizleri yapılmıştır. Bulunan denklemlerin istatistik yöntemlerle F-testleri yapılarak, hangilerinin uygun olduğu hakkında sonuçlara varılmıştır. Ancak, kaynak olarak kullanılan ve deneme yolu ile elde edilen değerleri veren yayınların azlığı nedeniyle, tüm dünya ağaçları için bütün mekanik özelliklerin bulunması sorun yaratmıştır. Örneğin; dünya yapraklı ağaçları başlığı altında toplanan ağaç türlerinde sadece yoğunluk ile elastikiyet modülü, eğilme direnci ve liflere paralel basınç direnci arasındaki ilişkilerin regresyon denklemleri bulunabilmiş, diğer mekanik özellikler ile yoğunluk ilişkileri verilememiştir. Bu nedenle yoğunluk, direnç ilişkileri Dünya Yapraklı Ağaçlarında bir tabloda, Dünya İğne Yapraklı, Avrupa İğne Yapraklı, Avrupa Yapraklı ve Tüm Dünya Ağaçlarında, ayrı bir tabloda gösterilmiştir.

## 3. BULGULAR

Amerika Birleşik Devletleri ve Kanada ağaçlarında yoğunluk-direnç ilişkileri, Tablo-1 ve 2'de verilmiştir. Bu tablolarda kullanılan yoğunluk değerlerinin alındığı kaynaklarda taze haldeki yoğunluk, tam kuru ağırlığın taze haldeki hacme oranı, hava kurusu haldeki yoğunluk ise, tam kuru ağırlığın hava kurusu hacme oranı şeklinde olduğundan, ayrı tablolar yapılmıştır. Bu tablolarda Panshin-de Zeeuw ve Mullins-McKnight'ın tavsiyesine göre sadece geometrik regresyon modeli sonuçları verilmiş ve değerler metrik sisteme çevrilmiştir. Dünyanın çeşitli bölgelerinde yetişen iğne yapraklı ve yapraklı ağaçlarda yoğunluk-direnç ilişkilerinin dört regresyon analizi ile bulunan denklemleri Tablo 3'de görülmektedir. Dünya yapraklı ağaçları başlığı altında toplanan 60 ağaç türünde tüm direnç değerleri bulunamadığı için, yoğunluk-direnç ilişkileri ayrı bir tabloda verilmiştir (Tablo 4). Tablo 3 ile 4'de kullanılan yoğunluk ve direnç değerleri hava kurusu halde alınmıştır.

Tablo 1: ABD'de Ağaçlarında Yoğunluk-Direnç İlişkileri

Table 1: Functions Relating Mechanical Properties to Specific Gravity for the Trees Grown in the USA

Direnç Tipleri Mechanical properties	Taze Halde Green Wood			Hava Kurusu Air-dry Wood		
	İğne Yapraklı Ağaçlar Softwoods	Yapraklı Ağaçlar Hardwoods	Tüm Türler All Specieses	İğne Yapraklı Ağaçlar Softwoods	Yapraklı Ağaçlar Hardwoods	Tüm Türler All Specieses
Elastikiyet modülü (MPa) Modulus of elasticity (MPa)	16824 G <sup>0.81</sup>	13169 G <sup>0.64</sup>	16300 G	21581 G <sup>0.90</sup>	16065 G <sup>0.65</sup>	19300 G
Eğilme direnci (MPa) Bending strength (MPa)	111.91 G <sup>1.04</sup>	115.15 G <sup>1.12</sup>	121 G <sup>1.25</sup>	176.5 G <sup>1.05</sup>	168.24 G <sup>1.10</sup>	177 G <sup>1.25</sup>
Eğilmede elastikiyet sınırında gerilme (MPa) Modulus of rupture (MPa)	58.06 G <sup>0.92</sup>	58.47 G <sup>1.04</sup>	70.3 G <sup>1.25</sup>	97.9 G <sup>0.91</sup>	84.12 G <sup>0.80</sup>	115 G <sup>1.25</sup>
Liflere paralel basınç (MPa) Compression parallel to grain (MPa)	53.37 G <sup>1.02</sup>	45.71 G <sup>1.02</sup>	46.4 G	100.67 G <sup>1.04</sup>	73.09 G <sup>0.83</sup>	84.1 G
Elastikiyet sınırında liflere paralel basınç gerilmesi (MPa) Compression paralel to grain, fiber stress at proportional limit (MPa)	37.23 G <sup>0.90</sup>	34.00 G <sup>0.96</sup>	36.20 G	69.64 G <sup>1.02</sup>	42.82 G <sup>0.57</sup>	6.33 G
Elastikiyet sınırında liflere dik basınç gerilmesi (MPa) Compression perpendicular to grain, fiber stress at proportional limit (MPa)	9.38 G <sup>1.60</sup>	16.41 G <sup>2.32</sup>	20.7 G <sup>2.25</sup>	17.51 G <sup>1.65</sup>	20.13 G <sup>2.03</sup>	31.9 G <sup>2.25</sup>
Makaslama direnci (MPa) Shear strength (MPa)	10.76 G <sup>0.72</sup>	17.31 G <sup>1.20</sup>	-	16.75 G <sup>0.86</sup>	22.06 G <sup>1.15</sup>	-
Dinamik eğilme direnci (mm) Impact bending (mm)	-	-	2900 G <sup>1.75</sup>	-	-	2400 G <sup>1.75</sup>
Janka sertlik // (N) Hardness, Janka // (N)	-	-	16600 G <sup>2.25</sup>	-	-	21300 G <sup>2.25</sup>
Janka sertlik ⊥ (N) Hardness, Janka ⊥ (N)	-	-	15200 G <sup>2.25</sup>	-	-	16800 G <sup>2.25</sup>

(G) Yoğunluk olup, tam kuru ağırlığın, taze haldeki ya da hava kurusu haldeki hacme oranıdır.

**Tablo 2:** Kanada Ağaçlarında Yoğunluk - Direnç İlişkileri  
**Table 2:** Relative Density-Strength Relation of Canadian Woods

<b>Direnç Tipleri</b> <b>Mechanical Properties</b>	<b>Taze Halde</b> <b>Yoğunluk</b> <b>Green Wood</b>	<b>Hava Kuru</b> <b>Yoğunluk</b> <b>Air-dry Wood</b>
Elastikiyet Modülü (MPa) Modulus of elasticity (MPa)	18641 G <sup>0.85</sup>	21584 G <sup>0.86</sup>
Eğilme direnci (MPa) Bending strength (MPa)	116.2 G <sup>1.13</sup>	182.7 G <sup>1.08</sup>
Liflere paralel basınç (MPa) Compression parallel to grain (MPa)	47.5 G <sup>0.95</sup>	86 G <sup>0.87</sup>
Elastikiyet sınırında liflere dik basınç (MPa) Compression perpendicular to grain, fiber stress at proportional limit (MPa)	12.2 G <sup>1.87</sup>	18.7 G <sup>1.68</sup>
Makaslama direnci (MPa) Shear strength (MPa)	15.5 G <sup>1.14</sup>	23.4 G <sup>1.24</sup>

**Tablo 3:** Çeşitli Bölgelerde ve Dünyada Yetişen İğne Yapraklı ve Yapraklı Ağaçlarda Yoğunluk-Direnç İlişkileri  
**Table 3:** Density-Strength Relationships for Softwoods and Harwoods Grown in Different Regions

Direnç Tipleri	Ağaçlar	Ağaç Türü Sayısı N	Regresyon Modelleri - Regression Models			
			Doğrusal Linear	Üssel Exponential	Geometrik Geometric	Polinom Polinomial
Elastikiyet Modülü (GPa) Modulus of Elasticity (GPa)	Dünya İğne Yapraklı	22	$Y = -1.4 + 24.1 D_{12}$ $R^2 = 0.723^{***}$	$Y = 3.4 e^{(2.24 D_{12})}$ $R^2 = 0.694^{***}$	$Y = 23.5 D_{12}^{1.16}$ $R^2 = 0.706^{***}$	$Y = -4.5 + 3.6 D_{12} - 11.2 D_{12}^2$ $R^2 = 0.729^{***}$
	Avrupa İğne Yapraklı	9	$Y = -1.9 + 26.2 D_{12}$ $R^2 = 0.752^{***}$	$Y = 3.6 e^{(2.21 D_{12})}$ $R^2 = 0.654^{**}$	$Y = 24.8 D_{12}^{1.16}$ $R^2 = 0.651^{**}$	$Y = 2.9 + 7.8 D_{12} + 17.2 D_{12}^2$ $R^2 = 0.753^{**}$
	Avrupa Yapraklı	18	$Y = -2.0 + 20.2 D_{12}$ $R^2 = 0.393^{**}$	$Y = 3.1 e^{(1.92 D_{12})}$ $R^2 = 0.386^{**}$	$Y = 18.0 D_{12}^{1.17}$ $R^2 = 0.381^{**}$	$Y = 0.3 + 12.9 D_{12} + 5.8 D_{12}^2$ $R^2 = 0.393^{**}$
	Tropik Yapraklı	60	$Y = -0.6 + 18.9 D_{12}$ $R^2 = 0.788^{***}$	$Y = 3.3 e^{(1.86 D_{12})}$ $R^2 = 0.766^{***}$	$Y = 18.0 D_{12}^{1.05}$ $R^2 = 0.837^{***}$	$Y = 0.6 + 14.7 D_{12} + 3.3 D_{12}^2$ $R^2 = 0.792^{***}$
	Tüm Dünya	60	$Y = 0.3 + 18.3 D_{12}$ $R^2 = 0.653^{***}$	$Y = 3.6 e^{(1.81 D_{12})}$ $R^2 = 0.623^{***}$	$Y = 18.6 D_{12}^{1.01}$ $R^2 = 0.697^{***}$	$Y = 1.4 + 14.4 D_{12} + 3.2 D_{12}^2$ $R^2 = 0.654^{***}$

Tablo 3'ün devamı  
Table 3' continued

Direnç Tipleri	Ağaçlar	Ağaç Türü Sayısı N	Regresyon Modelleri - Regression Models			
			Doğrusal Linear	Üssel Exponential	Geometrik Geometric	Polinom Polinomial
	Dünya İğne Yapraklı	22	$Y = 1 + 153 D_{12}$ $R^2 = 0.539^{***}$	$Y = 27.6 e^{(2.02 D_{12})}$ $R^2 = 0.546^{***}$	$Y = 160.9 D_{12}^{1.07}$ $R^2 = 0.578^{***}$	$Y = -189.2 + 896.5 D_{12} - 707.2 D_{12}^2$ $R^2 = 0.627^{***}$
Eğilme Direnci (MPa)	Avrupa İğne Yapraklı	10	$Y = 35.4 + 85.7 D_{12}$ $R^2 = 0.373^{NS}$	$Y = 44 e^{(1.14 D_{12})}$ $R^2 = 0.398^{NS}$	$Y = 120.8 D_{12}^{0.63}$ $R^2 = 0.449^*$	$Y = -144.2 + 769.8 D_{12} - 637.1 D_{12}^2$ $R^2 = 0.537^*$
Bending Strength (MPa)	Avrupa Yapraklı	18	$Y = -34.9 + 218.7 D_{12}$ $R^2 = 0.520^{***}$	$Y = 25.7 e^{(3.13 D_{12})}$ $R^2 = 0.895^{***}$	$Y = 184.1 D_{12}^{1.3}$ $R^2 = 0.533^{***}$	$Y = 767 - 144.3 D_{12} + 288.8 D_{12}^2$ $R^2 = 0.533^{***}$
	Tropik Yapraklı	60	$Y = -22.2 + 195.9 D_{12}$ $R^2 = 0.759^{***}$	$Y = 19.5 e^{(2.46 D_{12})}$ $R^2 = 0.626^{***}$	$Y = 196.8 D_{12}^{1.5}$ $R^2 = 0.796^{***}$	$Y = -3 + 131.3 D_{12} + 50.2 D_{12}^2$ $R^2 = 0.764^{***}$
	Tüm Dünya	60	$Y = -24.0 + 205.2 D_{12}$ $R^2 = 0.787^{***}$	$Y = 24.3 e^{(2.25 D_{12})}$ $R^2 = 0.773^{***}$	$Y = 182.7 D_{12}^{1.23}$ $R^2 = 0.837^{***}$	$Y = 3.2 + 112.1 D_{12} + 75.6 D_{12}^2$ $R^2 = 0.796^{***}$



Tablo 3'ün devamı  
Table 3' continued

Direnç Tipleri	Ağaçlar	Ağaç Türü Sayısı N	Regresyon Modelleri - Regression Models			
			Doğrusal Linear	Üssel Exponential	Geometrik Geometric	Polinom Polinomial
Dinamik Eğilme Direnci (J/cm <sup>2</sup> ) Impact Bending Strength (J/cm <sup>2</sup> )	Dünya İğne Yapraklı	14	Y = -5.22 + 21.01 D <sub>12</sub> R <sup>2</sup> = 0.314*	Y = 1.21 e <sup>(2.82 D<sub>12</sub>)</sup> R <sup>2</sup> = 0.327*	Y = 13.58 D <sub>12</sub> <sup>1.44</sup> R <sup>2</sup> = 0.297*	Y = 37.72+139.96 D <sub>12</sub> +147.49 D <sub>12</sub> <sup>2</sup> R <sup>2</sup> = 0.428*
	Avrupa İğne Yapraklı	10	Y = -15.09+39.76 D <sub>12</sub> R <sup>2</sup> = 0.726**	Y = 0.24 e <sup>(5.73 D<sub>12</sub>)</sup> R <sup>2</sup> = 0.719**	Y = 32.43 D <sub>12</sub> <sup>2.91</sup> R <sup>2</sup> = 0.671**	Y = 51.56-214.07 D <sub>12</sub> +236.41 D <sub>12</sub> <sup>2</sup> R <sup>2</sup> = 0.937***
	Avrupa Yapraklı	18	Y = -0.57 + 12.02 D <sub>12</sub> R <sup>2</sup> = 0.214 <sup>NS</sup>	Y = 2.46 e <sup>(1.56 D<sub>12</sub>)</sup> R <sup>2</sup> = 0.160 <sup>NS</sup>	Y = 10.4 D <sub>12</sub> <sup>0.96</sup> R <sup>2</sup> = 0.161 <sup>NS</sup>	Y = 1.69+4.69 D <sub>12</sub> +5.84 D <sub>12</sub> <sup>2</sup> R <sup>2</sup> = 0.215 <sup>NS</sup>
	Tropik Yapraklı	58	Y = -1.35 + 10.67 D <sub>12</sub> R <sup>2</sup> = 0.578***	Y = 1.33 e <sup>(2.04 D<sub>12</sub>)</sup> R <sup>2</sup> = 0.581***	Y = 8.25 D <sub>12</sub> <sup>1.07</sup> R <sup>2</sup> = 0.548***	Y = 0.16+5.57 D <sub>12</sub> +3.96 D <sub>12</sub> <sup>2</sup> R <sup>2</sup> = 0.584***
	Tüm Dünya	60	Y = -1.63 + 12.09 D <sub>12</sub> R <sup>2</sup> = 0.446***	Y = 1.44 e <sup>(2.12 D<sub>12</sub>)</sup> R <sup>2</sup> = 0.466***	Y = 9.21 D <sub>12</sub> <sup>1.08</sup> R <sup>2</sup> = 0.440***	Y = -2.40+14.75 D <sub>12</sub> -2.16 D <sub>12</sub> <sup>2</sup> R <sup>2</sup> = 0.448***

Tablo 3'ün devamı  
Table 3 continued

Direnç Tipleri	Ağaçlar	Ağaç Türü Sayısı N	Regresyon Modelleri - Regression Models			
			Doğrusal Linear	Üssel Exponential	Geometrik Geometric	Polinom Polinomial
// Çekme Direnci (MPa)	Dünya İğne Yapraklı	12	$Y = 54.7 + 83.8 D_{12}$ $R^2 = 0.076^{NS}$	$Y = 60.6 e^{(0.89 D_{12})}$ $R^2 = 0.088^{NS}$	$Y = 130 D_{12}^{0.45}$ $R^2 = 0.082^{NS}$	$Y = 69 + 29.5 D_{12} + 50.8 D_{12}^2$ $R^2 = 0.077^{NS}$
	Avrupa İğne Yapraklı	9	$Y = 37.8 + 115.4 D_{12}$ $R^2 = 0.661^{**}$	$Y = 51 e^{(1.22 D_{12})}$ $R^2 = 0.643^{**}$	$Y = 150.4 D_{12}^{0.67}$ $R^2 = 0.696^{**}$	$Y = -136 + 775.9 D_{12} - 616 D_{12}^2$ $R^2 = 0.806^{***}$
// Tensile Strength (MPa)	Avrupa Yapraklı	18	$Y = -16.3 + 195.1 D_{12}$ $R^2 = 0.366^{**}$	$Y = 31.9 e^{(1.86 D_{12})}$ $R^2 = 0.404^{**}$	$Y = 176.6 D_{12}^{1.14}$ $R^2 = 0.407^{**}$	$Y = -68.1 + 363.7 D_{12} - 134.2 D_{12}^2$ $R^2 = 0.368^{**}$
	Tropik Yapraklı	41	$Y = -46.2 + 228.4 D_{12}$ $R^2 = 0.723^{***}$	$Y = 14.8 e^{(2.81 D_{12})}$ $R^2 = 0.704^{***}$	$Y = 181.4 D_{12}^{1.47}$ $R^2 = 0.776^{***}$	$Y = 28 - 34.9 D_{12} + 216.2 D_{12}^2$ $R^2 = 0.787^{***}$
	Tüm Dünya	60	$Y = -27.9 + 210.9 D_{12}$ $R^2 = 0.584^{***}$	$Y = 19.1 e^{(2.58 D_{12})}$ $R^2 = 0.572^{***}$	$Y = 192.1 D_{12}^{1.39}$ $R^2 = 0.663^{***}$	$Y = 29.2 + 6.7 D_{12} + 171.7 D_{12}^2$ $R^2 = 0.616^{***}$

Tablo 3'ün devamı  
Table 3' continued

Direnc Tipleri	Ağaçlar	Ağaç Türü Sayısı N	Regresyon Modelleri - Regression Models			
			Doğrusal Linear	Üssel Exponential	Geometrik Geometric	Polinom Polinomial
Basınc Direnci (MPa)	Dünya İğne Yapraklı	22	$Y = -0.5 + 90.1 D_{12}$ $R^2 = 0.726^{***}$	$Y = 15.8 e^{(2.04 D_{12})}$ $R^2 = 0.696^{***}$	$Y = 92.8 D_{12}^{1.06}$ $R^2 = 0.717^{***}$	$Y = -49.9 + 283.3 D_{12} - 183.7 D_{12}^2$ $R^2 = 0.748^{***}$
	Avrupa İğne Yapraklı	10	$Y = 10.1 + 73 D_{12}$ $R^2 = 0.623^{**}$	$Y = 20.8 e^{(1.59 D_{12})}$ $R^2 = 0.581^*$	$Y = 84.4 D_{12}^{0.86}$ $R^2 = 0.616^{**}$	$Y = -52.1 + 310.1 D_{12} - 220.8 D_{12}^2$ $R^2 = 0.669^{**}$
	Avrupa Yapraklı	18	$Y = -15.2 + 106.7 D_{12}$ $R^2 = 0.661^{***}$	$Y = 13.9 e^{(2.05 D_{12})}$ $R^2 = 0.654^{***}$	$Y = 91.2 D_{12}^{1.24}$ $R^2 = 0.637^{***}$	$Y = -65.1 - 154.4 D_{12} + 207.7 D_{12}^2$ $R^2 = 0.696^{***}$
Compression Strength (MPa)	Tropik Yapraklı	60	$Y = -11 + 108 D_{12}$ $R^2 = 0.846^{***}$	$Y = 11.7 e^{(2.38 D_{12})}$ $R^2 = 0.717^{***}$	$Y = 107.9 D_{12}^{1.42}$ $R^2 = 0.874^{***}$	$Y = -11.2 + 108.7 D_{12} - 0.62 D_{12}^2$ $R^2 = 0.846^{***}$
	Tüm Dünya	60	$Y = -4.9 + 96.6 D_{12}$ $R^2 = 0.834^{***}$	$Y = 15.1 e^{(2.03 D_{12})}$ $R^2 = 0.760^{***}$	$Y = 94.2 D_{12}^{1.14}$ $R^2 = 0.869^{***}$	$Y = 5.8 + 60.2 D_{12} + 29.6 D_{12}^2$ $R^2 = 0.839^{***}$

Tablo 3'ün devamı  
Table 3' continued

Direnc Tipleri	Ağaçlar	Ağaç Türü Sayısı N	Regresyon Modelleri - Regression Models			
			Doğrusal Linear	Üssel Exponential	Geometrik Geometric	Polinom Polinomial
Makaslama Direnci (MPa)	Dünya İğne Yapraklı	21	$Y = -0.49 + 16.39 D_{12}$ $R^2 = 0.454^{***}$	$Y = 2.52 e^{(2.18 D_{12})}$ $R^2 = 0.442^{**}$	$Y = 16.41 D_{12}^{1.11}$ $R^2 = 0.453^{***}$	$Y = -7.05 + 42.5 D_{12} - 24.38 D_{12}^2$ $R^2 = 0.462^{***}$
	Avrupa İğne Yapraklı	7	$Y = -4.13 + 24.17 D_{12}$ $R^2 = 0.629^*$	$Y = 1.54 e^{(3.24 D_{12})}$ $R^2 = 0.608^*$	$Y = 23.34 D_{12}^{1.57}$ $R^2 = 0.608^*$	$Y = -12.95 + 60.61 D_{12} - 37.14 D_{12}^2$ $R^2 = 0.634^*$
Shearing Strength (MPa)	Avrupa Yapraklı	16	$Y = -3.62 + 21.07 D_{12}$ $R^2 = 0.373^*$	$Y = 1.57 e^{(2.78 D_{12})}$ $R^2 = 0.453^{**}$	$Y = 20.74 D_{12}^{1.76}$ $R^2 = 0.489^{**}$	$Y = -31.98 + 113.39 D_{12} - 73.56 D_{12}^2$ $R^2 = 0.446^{**}$
	Tropik Yapraklı	55	$Y = -0.13 + 14.37 D_{12}$ $R^2 = 0.757^{***}$	$Y = 2.57 e^{(1.86 D_{12})}$ $R^2 = 0.648^{***}$	$Y = 14.41 D_{12}^{1.07}$ $R^2 = 0.733^{***}$	$Y = 0.13 + 13.5 D_{12} + 0.67 D_{12}^2$ $R^2 = 0.757^{***}$
	Tüm Dünya	60	$Y = -1.11 + 16.40 D_{12}$ $R^2 = 0.643^{***}$	$Y = 2.00 e^{(2.34 D_{12})}$ $R^2 = 0.632^{***}$	$Y = 17.01 D_{12}^{1.35}$ $R^2 = 0.764^{***}$	$Y = -3.88 + 25.89 D_{12} - 7.71 D_{12}^2$ $R^2 = 0.653^{***}$

Tablo 3'ün devamı  
Table 3' continued

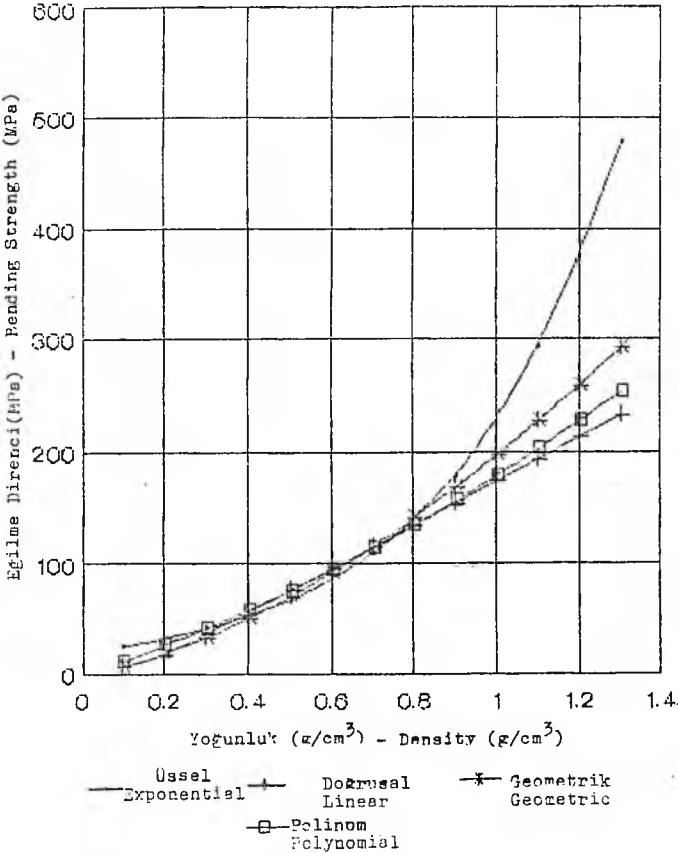
Direnç Tipleri	Ağaçlar	Ağaç Türü Sayısı N	Regresyon Modelleri - Regression Models			
			Doğrusal Linear	Üssel Exponential	Geometrik Geometric	Polinom Polinominal
Brinell Sertlik 1 (MPa)	Dünya İğne Yapraklı	9	$Y = -18.83 + 71.03 D_{12}$ $R^2 = 0.823^{***}$	$Y = 2.35 e^{(3.83 D_{12})}$ $R^2 = 0.819^{***}$	$Y = 65.49 D_{12}^{2.01}$ $R^2 = 0.824^{***}$	$Y = 9.20 - 35.89 D_{12} + 99.9 D_{12}^2$ $R^2 = 0.837^{***}$
	Avrupa İğne Yapraklı	9	$Y = -15.01 + 65.98 D_{12}$ $R^2 = 0.646^{**}$	$Y = 2.85 e^{(3.57 D_{12})}$ $R^2 = 0.602^*$	$Y = 64.61 D_{12}^{1.9}$ $R^2 = 0.623^*$	$Y = -7.89 + 38.82 D_{12} + 25.34 D_{12}^2$ $R^2 = 0.646^{**}$
	Avrupa Yapraklı	17	$Y = -21.8 + 78.13 D_{12}$ $R^2 = 0.520^{**}$	$Y = 3.1 e^{(3.34 D_{12})}$ $R^2 = 0.638^{***}$	$Y = 68.65 D_{12}^{2.1}$ $R^2 = 0.673^{***}$	$Y = -116.52 + 386.53 D_{12} - 245.34 D_{12}^2$ $R^2 = 0.590^{***}$
Hardnes. Brinell 1 (MPa)	Tropik Yapraklı	53	$Y = -15.4 + 64.91 D_{12}$ $R^2 = 0.757^{***}$	$Y = 3.84 e^{(2.78 D_{12})}$ $R^2 = 0.790^{***}$	$Y = 48.87 D_{12}^{1.56}$ $R^2 = 0.856^{***}$	$Y = 5.71 - 6.55 D_{12} + 55.42 D_{12}^2$ $R^2 = 0.806^{***}$
	Tüm Dünya	60	$Y = -11.63 + 59.19 D_{12}$ $R^2 = 0.746^{***}$	$Y = 3.36 e^{(3.10 D_{12})}$ $R^2 = 0.783^{***}$	$Y = 52.38 D_{12}^{1.63}$ $R^2 = 0.861^{***}$	$Y = -10.30 + 54.44 D_{12} + 3.99 D_{12}^2$ $R^2 = 0.746^{***}$

Tablo 3'ün devamı  
Table 3' continued

Direnç Tipleri	Ağaçlar	Ağaç Türü Sayısı N	Regresyon Modelleri - Regression Models			
			Doğrusal Linear	Üssel Exponential	Geometrik Geometric	Polinom Polinomial
Brinell Sertlik // (MPa)	Dünya İğne Yapraklı	9	$Y = -42.2 + 164.7 D_{12}$ $R^2 = 0.885^{***}$	$Y = 5.3 e^{(3.94 D_{12})}$ $R^2 = 0.874^{***}$	$Y = 166.8 D_{12}^{2.1}$ $R^2 = 0.904^{***}$	$Y = -98.3 + 378.8 D_{12} - 200.1 D_{12}^2$ $R^2 = 0.897^{***}$
	Avrupa İğne Yapraklı	9	$Y = -31.3 + 144 D_{12}$ $R^2 = 0.850^{***}$	$Y = 7.3 e^{(3.37 D_{12})}$ $R^2 = 0.810^{***}$	$Y = 137.8 D_{12}^{1.79}$ $R^2 = 0.830^{***}$	$Y = -42.1 + 185.4 D_{12} - 38.6 D_{12}^2$ $R^2 = 0.850^{***}$
	Avrupa Yapraklı	17	$Y = -47.9 + 165.1 D_{12}$ $R^2 = 0.880^{***}$	$Y = 7.4 e^{(3.13 D_{12})}$ $R^2 = 0.865^{***}$	$Y = 133.3 D_{12}^{1.93}$ $R^2 = 0.869^{***}$	$Y = -52.7 + 180.8 D_{12} - 12.4 D_{12}^2$ $R^2 = 0.882^{***}$
Hardnes, Brinell // (MPa)	Tropik Yapraklı	56	$Y = -15.3 + 101.9 D_{12}$ $R^2 = 0.604^{***}$	$Y = 10.7 e^{(2.24 D_{12})}$ $R^2 = 0.656^{***}$	$Y = 82.5 D_{12}^{1.24}$ $R^2 = 0.717^{***}$	$Y = 9.4 + 18 D_{12} + 66 D_{12}^2$ $R^2 = 0.627^{***}$
	Tüm Dünya	60	$Y = -12.2 + 102.3 D_{12}$ $R^2 = 0.692^{***}$	$Y = 9.7 e^{(2.58 D_{12})}$ $R^2 = 0.731^{***}$	$Y = 95.8 D_{12}^{1.37}$ $R^2 = 0.819^{***}$	$Y = -26.2 + 152.2 D_{12} - 42.0 D_{12}^2$ $R^2 = 0.701^{***}$

#### 4. SONUÇLAR

Doğrusal, üssel, geometrik ve polinom regresyon modelleri ile yapılan analiz sonuçlarının grafikleri çizilerek incelendiğinde, genellikle  $0.3-0.8 \text{ g/cm}^3$  arasındaki yoğunluklarda direnç değerleri arasında büyük farklar olmadığı görülmüştür. Bir örnek olarak Tropik Yapraklı ağaçlarda, Yoğunluk-Eğilme Direnci ilişkisinde dört regresyon modeline göre çizilen grafik, Şekil 1'de verilmiştir. Ayrıca, çeşitli bölgelerde yetişen 20 ağaç türünün denemeye bulunan eğilme direnci değerlerini, doğrusal, üssel, geometrik ve polinom regresyon analizleri sonucunda bulunan değerlerle karşılaştırmak amacıyla Tablo 5 hazırlanmıştır. Tabloda görüleceği gibi dört regresyon modeli arasındaki farklılık,  $0.3-0.8 \text{ g/cm}^3$  yoğunluklar dışında büyümekte, bu değerlerin arasında genellikle birbirine yakın sonuçlar bulunmaktadır.



Şekil 1: Tropik yapraklı ağaçlarda dört regresyon modeline göre eğilme direnci

Figure 1: Density-strength of tropical hardwoods estimated according to the regression models studied

Ancak, ağaçların yetişme bölgeleri ve yoğunluklarına göre dört regresyon modeli ile direnç denklemleri elde edildikten sonra korelasyon katsayısı ( $R^2$ ) ve ağaç türü sayısı (N) dikkate alınarak F kontrolleri yapıldığında ise, geometrik regresyon modelinin en uygun sonuçlar verdiği kabul edilmiştir. Yapılan kontrollerde, üssel eşitlikle düşük ve yüksek yoğunlukta elde edilen direnç değerlerinin, denemelerle elde edilen direnç değerlerinden daha yüksek çıktığı görülmüştür. Doğru-

**Tablo 5:** Çeşitli Ağaç Türlerinde Değişik Regresyon Modellerine Göre Hesapla Bulunan Eğilme Direnci Değerlerinin, Deneme Değerleri İle Karşılaştırılması**Table 5:** A comparison Between the Bending Strength Obtained According to the Four Regression Models and According to the Measurements Made on Specimens

Ağaç Türü Tree Species	D <sub>12</sub> (g/cm <sup>3</sup> )	Deneme ile bulunan değer (MPa) Value determined by testing (MPa)	Regresyon analizleri ile bulunan eğilme direnci (MPa) Bending strength estimated by regression analysis (MPa)			
			Doğrusal Linear	Üssel Exponential	Geometrik Geometric	Polinom Polynomial
Douglas göknarı	0.54	90.0	86.8	82.3	85.6	85.8
Göknar	0.44	73.0	66.3	65.4	66.6	67.2
Lâdin	0.47	78.0	72.4	70.4	72.2	72.6
Sarıçam	0.52	80.0	82.7	78.3	81.7	81.9
Veymut çamı	0.43	59.1	64.2	64.1	64.7	65.4
Abachi	0.40	73.0	58.1	59.8	59.2	60.1
Akçaağaç	0.62	93.1	103.2	98.6	101.5	101.8
Avodire	0.55	86.0	88.9	84.0	87.6	87.7
Azobé	1.12	246.0	205.8	302.0	210.0	223.6
Balsa	0.16	19.0	8.8	34.8	19.2	23.1
Ceiba	0.32	41.0	41.7	49.9	45.0	46.8
Greenheart	1.08	219.0	197.6	276.0	200.8	212.4
Ihlamur	0.52	103.9	82.7	78.3	81.7	81.9
Limba	0.58	106.0	95.0	90.1	93.5	93.6
Mahun hakiki	0.54	85.0	86.8	82.3	85.6	85.8
Meşe	0.68	86.2	115.5	112.2	113.7	114.4
Movingui	0.75	115.0	129.9	131.7	128.3	129.8
Sipo	0.65	99.0	109.4	104.6	107.6	108.0
Teak	0.67	148.0	135.5+	110.0	111.6	112.2
Wengé	0.84	176.0	148.4	160.9	147.4	150.7

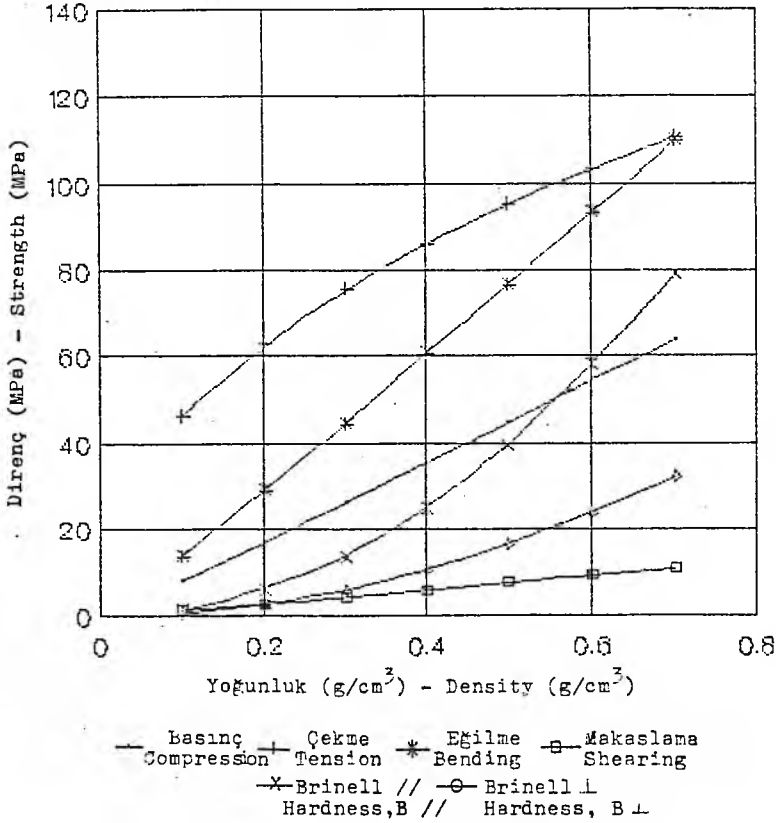
sal denklemlerde düşük yoğunluklarda bazen negatif değerlerin söz konusu olduğu, polinom eşitliklerin ise, yüksek yoğunluklarda bazen azalan direnç değerleri gösterdiği tespit edilmiştir. Bu nedenle seçilen regresyon modelleri içinde en sağlıklı denklemlerin geometrik modelde elde edildiği kabul edilmiş ve ilişkileri gösteren grafikler, geometrik regresyon modellerinden yararlanılarak çizilmiştir. Her bölge için yoğunluk ile eğilme, basınç, çekme, makaslama dirençleri, liflere paralel ve dik Brinell sertlik ilişkileri tek grafikte, birimleri değişik olduğundan yoğunluk ile elâstiklik modülü ve dinamik eğilme direnci ilişkileri ayrı grafiklerde gösterilmiştir. Regresyon analizleri ile F testleri sonuçları Tablo 3'de verilmiş ve detayları aşağıda açıklanmıştır.

(1) Dünya İğne Yapraklı Ağaçlarında, elâstiklik modülü, eğilme, basınç, makaslama dirençleri, liflere paralel ve dik Brinell sertlik için, % 99.9 güvenlikle tüm regresyon modelleri kullanılabilir. Ancak, bilindiği gibi iğne yapraklı ağaçlarda yoğunluklar genellikle 0.40-0.70 g/cm<sup>3</sup> arasında değişmektedir. Yapılan inceleme sonunda, bu sınırlar içerisinde en uygun modelin geometrik regresyon olduğu sonucuna varılmıştır. Dünya iğne yapraklı ağaçlarında çekme direncine ait regresyon modellerinde F değerleri % 95 güvenlikten daha düşük değerlerde bulunduğundan, çekme direnci için, Tüm Dünya Ağaçları geometrik regresyon modelinin kullanılmasına uygun sonuçlar vermektedir. Dinamik eğilme direnci değerleri ise, % 95 güvenlikle regresyon modellerine uymasına rağmen, deneme ile bulunan değerlerle yapılan karşılaştırmalar sonunda, dinamik eğilme direnci için de geometrik regresyon modelinin daha uygun olduğu anlaşılmıştır.

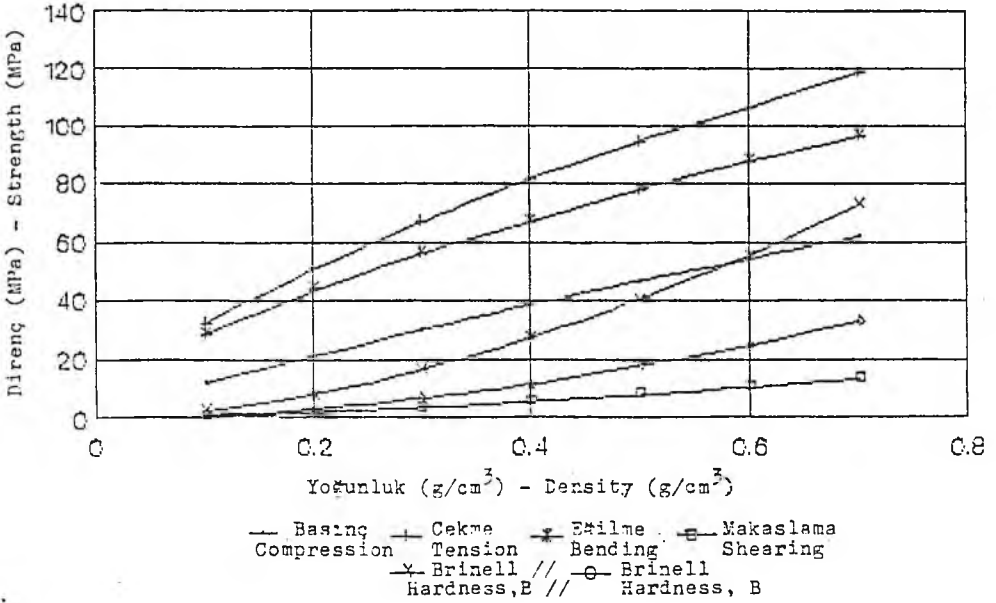


Dünya iğne yapraklı ağaçlarında geometrik regresyon modeline göre çizilen Yoğunluk-Direnç ilişkisi grafiği, Şekil 2'de verilmiştir. Burada çekme direnci en üstte, makaslama direnci ise en altta seyretmekte, yüksek yoğunluklarda çekme direncinde giderek azalma, liflere paralel Brinell sertlikte ise giderek artma olduğu açıkça görülmektedir.

(2) Avrupa İğne Yapraklı Ağaçlarında tüm direnç tipleri için geometrik modelin uygun olduğu tespit edilmiş ve bu modele göre hazırlanan grafik, Şekil 3'de verilmiştir. Bu grafikte de çekme direnci eğrisi en üstte, makaslama direnci eğrisi en altta seyretmektedir. Yoğunluk arttıkça dirençler artmakla beraber, özellikle liflere paralel Brinell sertlikte giderek artma, çekme, eğilme ve basınç dirençlerinde ise giderek azalma gözlenmektedir.



Şekil 2: Dünya iğne yapraklı ağaçlarında yoğunluk-direnç ilişkileri  
Şekil 2: Density-strength relationships of softwoods

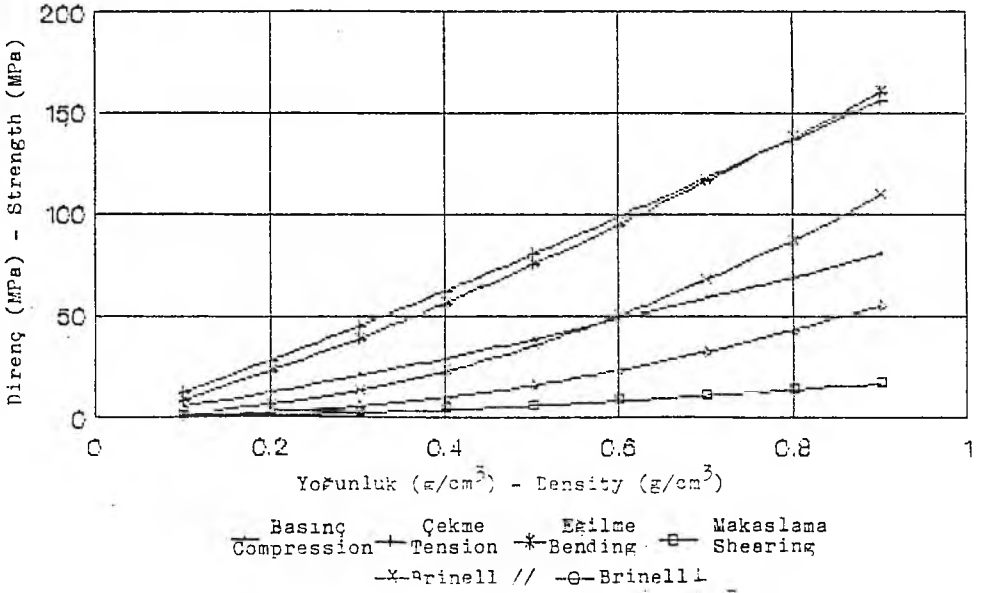


Şekil 3: Avrupa iğne yapraklı ağaçlarında yoğunluk-direnç ilişkileri  
Figure 3: Density-strength relationships of European softwoods

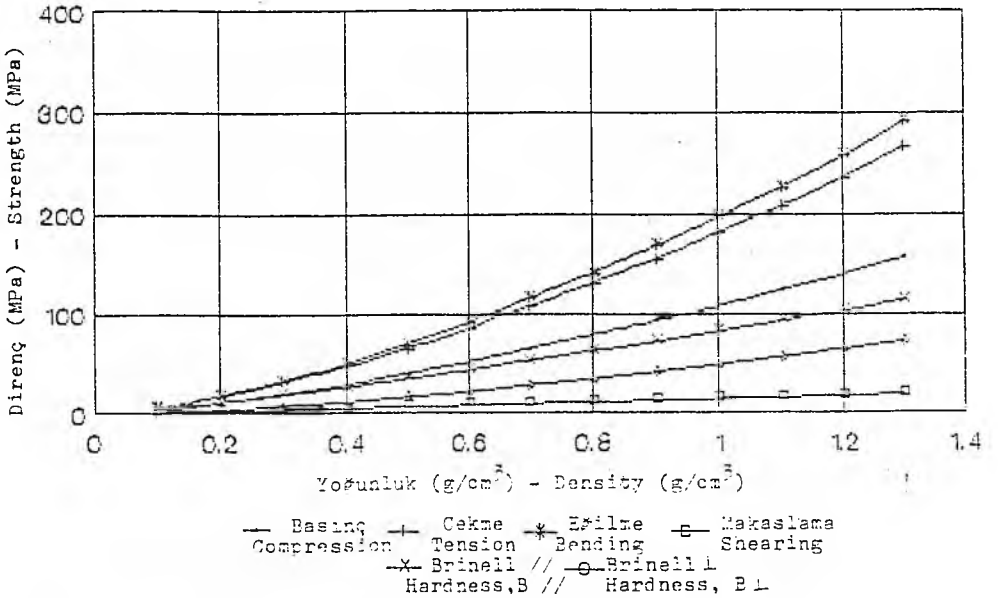
(3) Avrupa Yapraklı Ağaçlarında eğilme ve basınç dirençleri ile liflere paralel Brinell sertlik tüm regresyon modelleri için, liflere dik Brinell sertlik ise polinom regresyon modeli için % 99.9 güvenlidir. Elâstikiyet modülü, çekme ve makaslama direncinde üssel, geometrik ve polinom regresyonlarda % 99 güvenlikte, liflere dik Brinell sertlik doğrusal, üssel, geometrik regresyon modellerinde % 95 güvenlikte eşitlikler vermektedir. Makaslama direnci doğrusal regresyonda % 95, diğer modellerde % 99 seviyede güvenli olmasına rağmen, % 99.9 güvenlikteki tüm dünya ağaçları makaslama direnci eşitliğinden daha uygun sonuçlar vermektedir. Bu durumda, makaslama direnci değerlerinin bulunmasında, Avrupa Yapraklı Ağaçlar için elde olunan geometrik regresyon modelinin uygulanmasının yararlı olacağı anlaşılmaktadır.

Avrupa Yapraklı Ağaç türlerinde dinamik eğilme direnci için dört regresyon modeli ile de güvenilir eşitlikler bulunamadığından, bu maksat için, Tüm Dünya Ağaçlarına ait geometrik regresyon denkleminin kullanılmasının uygun olacağı sonucuna varılmıştır. Bu gruba giren ağaç türleri için yoğunluk-direnç grafiği, Şekil 4'de verilmiştir. Grafikte yoğunluk arttıkça direnç değerlerinde de artış görülmektedir. Eğilme ve çekme dirençleri en üstte seyretmekte, makaslama direnci yine en altta yer almaktadır. 0.6 g/cm<sup>3</sup> yoğunluktan sonra, liflere paralel Brinell sertlikte daha hızlı bir artış olmaktadır.

(4) Tropik Yapraklı Ağaçlar ile Tüm Dünya Ağaçları grubunda bütün direnç tipleri için dört regresyon modelinin de % 99.9 güvenlikle kullanılabilir eşitlikler olduğu anlaşılmıştır. Ancak, F testine göre yine en uygun modelin geometrik regresyon olduğu tespit edilmiş ve bu modele göre hazırlanan grafikler, Şekil 5 ve 6'da verilmiştir. Grafiklerde görüldüğü gibi yoğunluk arttıkça, tüm direnç ve sertlik değerlerinde artış meydana gelmekte, eğilme ve çekme dirençlerindeki artış ise biraz daha fazla olmaktadır. Her iki grafikte de çekme ve eğilme dirençlerine ait eğriler en üstte, makaslama direnci en altta yer almaktadır.

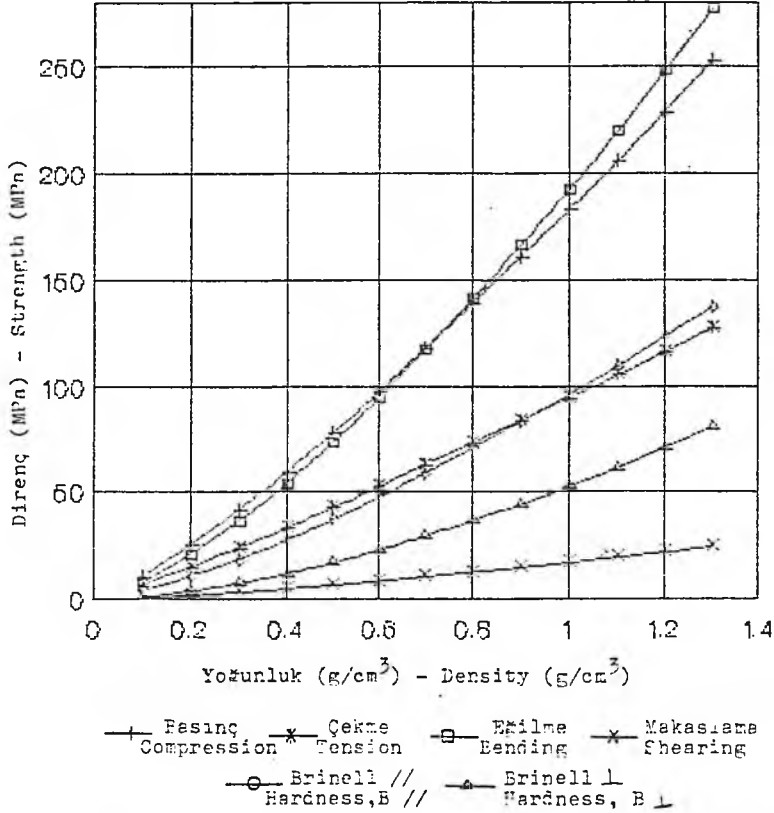


Şekil 4: Avrupa yapraklı ağaçlarda yoğunluk-direnç ilişkileri  
Figure 4: Density-strength relationships of European hardwoods

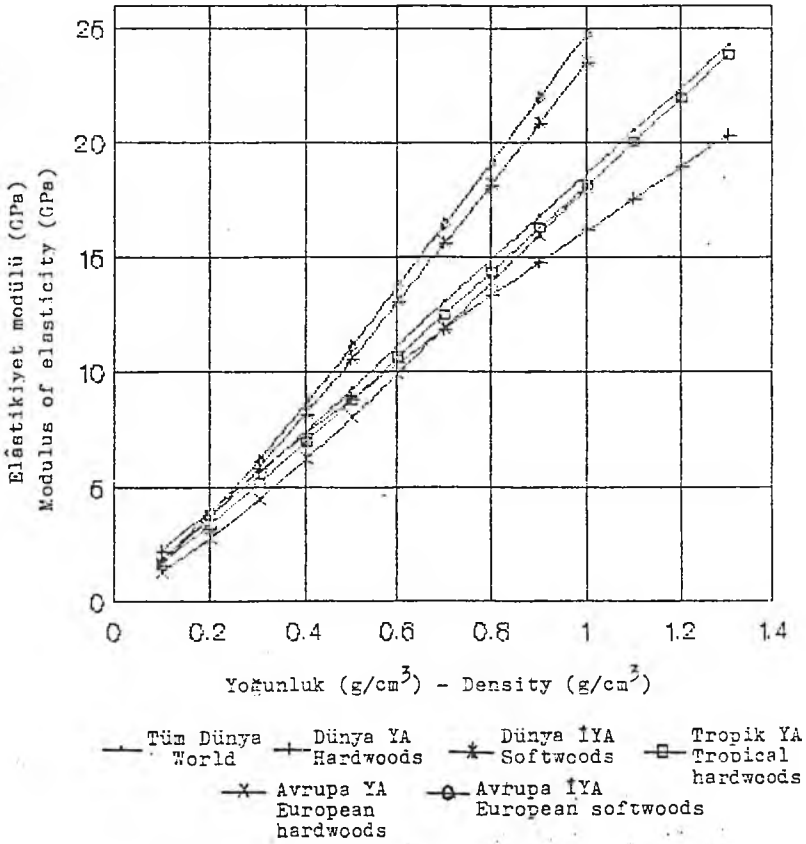


Şekil 5: Tropik yapraklı ağaçlarda yoğunluk-direnç ilişkileri.  
Figure 5: Density-strength relationships of tropical hardwoods

(5) Çeşitli bölgelerde yetişen ağaçlarda yoğunluk-elastikiyet modülü ilişkisi grafiği Şekil 7'de verilmiştir. Grafikte iğne yapraklı ağaçlar için yoğunluk 0.1-1.0 g/cm<sup>3</sup> arasında alınmış, diğerlerinde ise 1.3 g/cm<sup>3</sup>'e kadar yükseltilmiştir. Yoğunluk-elastikiyet modülü eğrilerinden Avrupa İğne Yapraklıları en üstte görülmekte, Dünya İğne Yapraklıları onun altında seyretmektedir. Yapraklı ağaçlarla ilgili eğri en altta, Tüm Dünya Ağaçları, Tropik Yapraklı Ağaçlar ve Avrupa Yapraklı Ağaçlarının eğrileri arada olup, birbirlerine çok yakın bulunmaktadır.

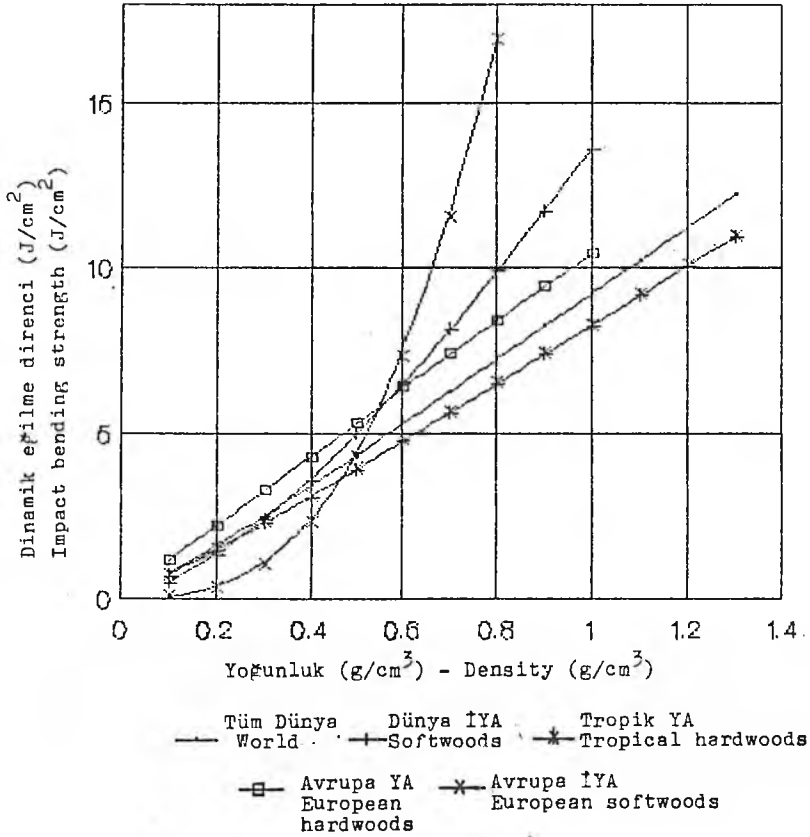


Şekil 6: Tüm dünya ağaçlarında yoğunluk-direnç ilişkileri  
Figure 6: Density-strength relationships for trees generally



Şekil 7: Çeşitli bölgelerde yetişen ağaçlarda yoğunluk-elastikiyet modülü ilişkisi  
Figure 7: Density-modulus of elasticity relationship in species grown in several regions

(6) Çeşitli bölgelerde yetişen ağaçlarda yoğunluk-dinamik eğilme direnci ilişkisi grafiği Şekil 8'de verilmiştir. Grafikte yoğunluklar Avrupa İğne Yapraklı Ağaçlarda  $0.1-0.8 \text{ g/cm}^3$  arasında, Avrupa Yapraklı Ağaçlar ve Dünya İğne Yapraklı Ağaçlarında  $0.1-1.0 \text{ g/cm}^3$  arasında, Tropik Yapraklı Ağaçlar ile Tüm Dünya Ağaçlarında ise  $0.1-1.3 \text{ g/cm}^3$  arasında alınarak, çizimler yapılmıştır. Dinamik eğilme direnci üzerinde anatomik yapı ve kimyasal özelliklerin etkisi büyük olduğundan, iğne yapraklı ağaçlarda düşük yoğunluklarda daha az, yüksek yoğunluklarda daha büyük dinamik eğilme direnci söz konusu olmaktadır. Yapraklı ağaçlarda ise daha çok doğrusala yakın bir ilişki gözlenmektedir. Dinamik eğilme direnci Avrupa İğne Yapraklı Ağaçlarında  $0.1-0.5 \text{ g/cm}^3$  arasındaki yoğunluklarda düşük bir değerde görülmekte, daha sonra diğer ağaç gruplarının hepsinden daha yüksek değerlere ulaşmaktadır.



Şekil 8: Çeşitli bölgelerde yetişen ağaçlarda yoğunluk-dinamik eğilme direnci ilişkisi  
Figure 8: Density-impact bending relationships for trees grown in several regions

## 5. SONUÇ

Sonuç olarak, yoğunluğu ve yetişme yeri bilinen ağaç türlerinde mühendislik hesapları için gerekli olan direnç değerleri bilinmiyorsa, bu makalede verilen geometrik regresyon modelleri kullanılarak, yeterli bir yaklaşım sağlanması mümkündür.

# THE RELATIONSHIP BETWEEN DENSITY AND MECHANICAL PROPERTIES OF WOODS

Prof. Dr. Yılmaz BOZKURT

Prof. Dr. Nurgün ERDİN

## Abstract

Large number of species of wood is being imported from all locations of the world and grown in variety of environments, into Turkey; their strength properties are largely unknown. Present paper contains information on the equations for the tree species of known origin and density to estimate their strength properties necessary for the engineering applications. They were developed by linear, exponential, geometric, and polynomial regression analyses.

## SUMMARY

The density and strength values of the tree species grown in Europe. Tropical countries, USA and Canada used as a source in this article are obtained from the experiments carried out earlier by other investigators. The results of the experiments which were made on the small clear specimens, straight-grained, free of decay and other defects, are studied by regression analyses. The type and the direction of the effect of the free variables on the dependent variables are determined by the statistical equations.

In the analysis of the density-strength relationships the following linear, exponential, geometric, and polynomial regression models were used:

Linear regression model :  $Y = a + bD_{12}$

Exponential regression model :  $Y = ae^{bD_{12}}$

Geometric regression model :  $Y = aD_{12}^b$

Polynomial regression model :  $Y = a + bD_{12} + cD_{12}^2$

The trees considered were collected under the following headings: USA, Canada, global softwoods, European softwoods, European hardwoods, Tropical hardwoods and world trees.

The density-strength relation on the trees of USA and Canada are calculated according to the recommendations of Panshin-de Zeeuw and Mullins-McKnight using the geometric regression model. Their equations are presented in Table 1 and Table 2.

Table 3 presents the equations of the density-strength relationships of softwoods and hardwoods grown in a variety of localities. They are obtained using four regression indicated above models, since for the 60 species grouped under global hardwoods all strength properties based on strength test could not be found in the literature, their density-strength relations are presented in a separate table (Table 4).

In Table 5 static bending values obtained experimentally and calculated according to the regression models are presented together for 20 species for comparison.

After obtaining several strength equations for trees grown in a variety of localities and of different densities using four regression models the F-controls were made considering correlation coefficients ( $R^2$ ) and numbers of trees (N). The result showed that the geometric regression model yielded most appropriate results.

When examined of graphical drawings made of the results of the regression analyses it was observed that exponential equation yielded values for the low and high densities higher than those obtained by experimentation: In the linear regression negative values were obtained in some cases at low densities; polynomial equations yielded sometimes lower values at the high densities. The most accurate results were obtained with the geometric model. As a sample a graphic was presented (Figure-1) on the density-bending strength relationship for tropical hardwoods drawn according to the regression models studied.

For species grown in a variety localities the graphics for the density-strength relationships estimateds, carried out according to the geometric regression model are presented in Figure 2 to 8.

Concluding it can be stated that using geometric regression models strength properties can be estimated with satisfactory accuracy. This should be useful for engineers working with species of unknown strength but known density and origin.

## KAYNAKLAR

ACAR, O., 1974: *Populus Euphratica Oliv. Odununun Anatomik ve Teknolojik Özellikleri. Kavak ve Hızlı Gelişen Orman Ağaçları Araştırma Enst., İzmit.*

BERKEL, A., 1970: *Ağaç Malzeme Teknolojisi. İ.Ü. Orman Fakültesi Yayın No. 1448/147, İstanbul.*

BOZKURT, Y., 1971: *Toros Gökmarı (Abies cilicica Carr.) nın Teknolojik Özellikleri Üzerine Araştırmalar. İ.Ü. Orman Fakültesi Yayın No. 1701/181, İstanbul.*

BOZKURT, Y., 1986: *Ağaç Teknolojisi. İ.Ü. Orman Fakültesi Yayın No. 3403/380, İstanbul.*

BOZKURT, Y., Y. GÖKER, 1987: *Fiziksel ve Mekanik Ağaç Teknolojisi. İ.Ü. Orman Fakültesi Yayın No. 3445/388, İstanbul.*

BOZKURT, Y., N. ERDİN, 1989: *Ticarette Önemli Yabancı Ağaçlar. İ.Ü. Fen Bilimleri Enst. Yay. No. 3572/4, İstanbul.*



- BOZKURT, Y., Y. GÖKER, N. ERDİN, 1992: *Belgrad Ormanında Suni Olarak Yetiştirilmiş Douglas Göknaı (Pseudotsuga menziesii Franco)nun Fiziksel ve Mekanik Özellikleri. İ.Ü. Orman Fakültesi Dergisi, A 42/2.*
- BOZKURT, Y., Y. GÖKER, N. ERDİN, 1993: *Belgrad Ormanında Suni Olarak Yetiştirilmiş Doğu Lâdini (Picea orientalis (L.) Link.)'nin Fiziksel ve Mekanik Özellikleri. İ.Ü. Orman Fakültesi Dergisi, A 43/1.*
- FARMER, R.H., 1972: *Handbook of Hardwoods. Princes Risboroug Lab. HMSO, London.*
- FPL, 1974-1987: *Wood Handbook. Agriculture Handbook No. 72. U.S. Department of Agriculture Forest Products Laboratory.*
- KOCH, P., 1972: *Utilization of The Southern Pines. Volume I. Agriculture Handbook No. 420. U.S. Department of Agriculture-Forest Servise.*
- KOLLMANN, F.F.P., W.A., CÔTE, 1968: *Principles of wood Science and Technology. Volume I. Springer-Verlag, Berlin.*
- LOHMANN, U., 1982: *Holz Handbuch. 2. Baskı, DRW Verlag.*
- MULLİNS, E.J. and T.S. McKNIGHT, 1981: *Canadian Woods Their Properties and Uses. University of Toronto Press, Toronto.*
- PANSHİN, A.J., C.D. ZEEUW, 1980: *Textbook of wood Technology. McGraw-Hill Book Co. London.*
- SACHSSE, H., 1984: *Einheimische Nutzhölzer. Pareys Studentexte 44. Verlag Paul Parey, Hamburg.*
- SUMMITT, R., A. SLIKER, 1980: *Handbook of Materials Science. Volume IV. CRC Press, Florida.*
- WAGENFÜHR, R., CHR. SCHEIBER, 1974: *Holz atlas. Veb Fachbuchverlag, Leipzig.*