

## Bolu-Aladağ'daki Genç Sarıçam Meşcereleri için Oluşturulan Bitkisel Kütle Denklemleri ve Katsayıları

Doğanay Tolunay

İ.Ü. Orman Fakültesi, Orman Mühendisliği Bölümü, Toprak İlmi ve Ekoloji Anabilim Dalı

Tel: 0212 226 11 00-25296, Fax: 0212 226 11 13, e-mail: dtolunay@istanbul.edu.tr

### Kısa Özet

Bolu Aladağ'daki 31 yaşındaki sarıçam (*Pinus sylvestris* L.) ormanlarında yürütülen bu çalışma ile gövde odunu (kabuklu ve kabuksuz), kabuk, canlı dal, kuru dal, toplam dal, ibre ve toprak üstü bitkisel kütleyi tahmin etmek için doğrusal ve doğrusal olmayan regresyon denklemleri geliştirilmiştir. Ayrıca kabuklu odun hacmini doğrudan toprak üstü toplam ve diğer bileşenler kütesine dönüştürmede kullanılabilecek bitkisel kütle dönüştürme ve genişletme katsayıları (BDGK) oluşturulmuştur. Ek olarak kabuklu gövde odunu kütesini toprak üstü ile bileşenlerin kütesine genişletme katsayıları (BGK) de ortaya konmuştur. Çalışmada çapları 6,10–10,90 cm arasında değişen 13 ağacın toprak üstü bitkisel kütlesi ortalama olarak 22,4 kg ağaç<sup>-1</sup> bulunmuştur. Bitkisel kütle tahmini için geliştirilen üssel fonksiyonların hepsinin önem düzeyi yüksektir ( $p < 0.05$ ). En anlamlı regresyon denklemleri toprak üstü bitkisel kütle için geliştirilen denklemlerdir. Bu çalışmada elde edilen kabuklu ve kabuksuz gövde odunu ile toprak üstü bitkisel kütle denklemleri ılıman iklim kuşağındaki sarıçam ormanları için geliştirilen denklemlerle uyumludur. Kabuklu odun hacmini toprak üstü bitkisel kütleyle çevirme katsayısı ( $BDGK_{\text{topraküstü}}$ ) 0,535 t m<sup>-3</sup> olarak belirlenmiştir. Kabuklu gövde odunu kütesini toprak üstü bitkisel kütleyle genişletme katsayısı ( $BGK_{\text{topraküstü}}$ ) 1,263 olarak hesaplanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Sarıçam, bitkisel kütle katsayıları, bitkisel kütle denklemleri.

## Biomass Factors and Equations for Young Scots Pine Stands in Bolu-Aladağ

### Abstract

This work presents linear and nonlinear regression equations developed for estimating the stem (over bark and under bark), bark, living branch, dead branch, total branch, needle and aboveground biomass of 31-year-old Scots pine (*Pinus sylvestris*) trees in Bolu-Aladağ. Biomass conversion and expansion factors (BCEF) for converting stem volume over bark into tree components and biomass expansion factors (BEF)–for expanding stem biomass over bark into aboveground, branch and needle biomass – are also obtained. In this study, the average aboveground biomass of 13 trees with diameters ranging between 6.10 cm and 10.90 cm is found to be 22.4 kg tree<sup>-1</sup>. Significance level of all power functions developed for the biomass estimation is above  $p < 0.05$ . The most significant regression equations are those developed for calculating the aboveground biomass. Stem (over bark and under bark) and aboveground biomass equations are compatible with the equations developed for Scots pine trees in temperate regions. However

**needle and branch biomass equations show low levels of significance and are incompatible with other Scots pine biomass equations. The biomass conversion and expansion factor for the aboveground biomass (BCEF<sub>aboveground</sub>) is 0.535 t m<sup>-3</sup>. Biomass expansion factor for the aboveground biomass (BEF<sub>aboveground</sub>) is 1.263.**

**Keywords:** Scots pine, biomass factors, biomass equations

## 1. Giriş

Küresel ısınma ve iklim değişikliği, son yıllarda üzerinde çok durulan ve araştırılan konulardan biridir. Bilindiği gibi iklim değişikliğine CO<sub>2</sub> ve diğer sera gazlarının atmosferdeki konsantrasyonlarının artması yol açmaktadır ve CO<sub>2</sub> konsantrasyonu sanayi devriminden önce 280 ppm civarında bulunurken 2011 yılı itibarıyla 391 ppm değerine ulaşmıştır (NOAA/ESRL, 2011). Karbondioksit ve diğer sera gazlarının atmosferdeki miktarlarının azaltılması 1) salımların sınırlandırılması, 2) fosil yakıtlar yerine bitkisel kütle kullanımının sağlanması 3) karbon havuzlarında (vejetasyon, toprak, okyanus vb.) biriktirilen karbon miktarının artırılması ile mümkün olabilmektedir (Janzen, 2004). Orman ekosistemleri atmosferdeki CO<sub>2</sub>'in bağlandığı ve biriktirildiği en önemli havuzlardandır. Fotosentez ile bitkiler tarafından alınan CO<sub>2</sub> bitkisel kütle üretiminde kullanılmaktadır. Bitkisel kütle, toprakaltı ve toprak üstü olarak ikiye ayrılmaktadır. Toprak üstü bitkisel kütle bitkilerin gövde odunu, kabuk, dal ve yapraklarından, toprak altı bitkisel kütle ise bitkilerin köklerinden oluşmaktadır. Toprak üstü bitkisel kütlede bir hektar alanda tutulan karbon miktarının kuzey enlemlerdeki boreal ormanlarda 40-60 t, ılıman kuşak ormanlarında 60-130 t tropikal ormanlarda ise 120-194 t arasında değişebildiği, bozulmamış bir tropikal yağmur ormanında 250'ta kadar yükselebildiği bildirilmektedir (Dixon ve Ark., 1994). Ormandaki bitkisel kütlede bağlanan karbon miktarındaki değişimler atmosferdeki CO<sub>2</sub> miktarının artması veya azalması ile yakından ilgilidir. Orman ekosistemlerinin depoladığı karbon miktarındaki değişimlerin belirlenmesi bu yüzden giderek önem kazanmaktadır. Kyoto Protokolü ile ülkelere karbon salım ve bağlama değerlerinin belirlenmesi zorunluluğu getirilmiştir. Buna göre ülkeler yıllık olarak çeşitli sektörlerdeki (enerji, endüstriyel süreçler, orman, tarım, atık vb.) sera gazı salım ve bağlama envanterlerini hazırlamaktadır. 2010 yılı itibarıyla içlerinde Türkiye'nin de bulunduğu yaklaşık 40 ülke ulusal raporlarını hazırlamıştır. Bu envanterler Hükümetler arası İklim Değişikliği Paneli (IPCC) tarafından hazırlanan Arazi Kullanımı, Arazi Kullanım

Değişikliği ve Ormanlık kılavuzuna göre (LULUCF) düzenlenmektedir (IPCC, 2003). Türkiye tarafından da 1990-2004 yıllarını kapsayan sera gazları envanteri hazırlanmıştır. Bu envantere göre 2004 yılında Türkiye ormanları tarafından 14,5 milyon ton karbon bağlandığı tahmin edilmiştir. Bu değer yıllık olarak 53,1 milyon ton CO<sub>2</sub>'e eşdeğerdir (NIR Turkey, 2007). LULUCF'e göre atmosferden alınarak bağlanan karbon miktarı iki farklı şekilde belirlenebilmektedir. Bu yöntemlerden stok değişimi olarak bilinen birincisi, iki orman envanteri arasındaki karbon stok değişimine dayanmaktadır. Kayıp-kazanç olarak adlandırılan ikinci yöntemde ise bitkisel kütlede yıllık olarak biriktirilen karbon miktarı hesaplanmaktadır. Orman ekosistemlerinde stoklanmış karbonun belirlenebilmesi için ormandaki ağaçların bitkisel kütlelerinin bilinmesi gerekmektedir. Çünkü ormandaki bitkisel kütlelerinin yaklaşık yarısının karbon olduğu kabul edilmektedir (IPCC, 2003). Bitkisel kütle çalışmaları sadece karbon bütçesinin değil, aynı zamanda orman ekosistemlerinin besin bütçesinin de ortaya konması açısından önemlidir. Ancak ormandaki bitkisel kütlelerinin belirlenmesi önemli bir sorundur. Çünkü Türkiye'de olduğu gibi birçok ülkede orman envanterleri karbon bütçesinin belirlenmesine yönelik dizayn edilmemiş olup, orman envanterlerinde çoğunlukla odun hacminin belirlenmesine odaklanılmıştır (Sabaté ve Ark., 2008). Ardışık orman envanterleri ile envanter dönemindeki meşcere hacminde meydana gelen değişiklikler hesaplanmaktadır. Bu yüzden orman envanterleri ile ortaya konulan hacim değerlerinin bitkisel kütle değerlerine dönüştürülmesi gerekmektedir. Bu dönüştürmede genellikle hacim ağırlığı kullanılmaktadır. Bu şekildeki hesaplama ile de ancak orman ekosistemindeki ağaçların gövde odunu kütleleri belirlenebilmektedir. Halbuki ağaçlarda odun yanında dal, yaprak ve köklerde de bitkisel kütle üretimi yapılmaktadır. Gövde odunu hacim verilerinin gövde odunu kütlelerine dönüştürülmesinden sonra bu değere de dal ve yaprak kütlelerinin eklenmesi gerekmektedir. Bu işlem için de bitkisel kütle genişletme katsayıları (BGK) olarak adlandırılan katsayılar kullanılmaktadır (IPCC, 2003). Ayrıca gövde odunu hacim değerlerinden, BGK kullanılmadan doğrudan toprak üstü, toprak altı ya da diğer ağaç bileşenlerinin kütlelerini hesaplamak

mümkündür. Bunun için gövde odunu hacmi ile toplam bitkisel kütle ya da ağaç bileşenlerinin kütleleri arasındaki ilişkinin bilinmesi gereklidir (IPCC, 2006). Bu şekildeki katsayılar bu çalışmada bitkisel kütle dönüştürme ve genişletme katsayıları (BDGK) olarak adlandırılmıştır. Farklı ağaç türleri için değişik ülkelerde yerel ya da bölgesel düzeylerde BGK ve BDGK belirlenmiştir (Schroeder ve Ark., 1997; Brown, 2002; Jenkins ve Ark., 2003; Lehtonen ve Ark., 2004; Levy ve Ark., 2004; Jalkanen ve Ark., 2005; Peichl ve Arain, 2007; Sabaté ve Ark., 2008).

Orman ekosistemlerindeki bitkisel kütle tahmininde kullanılan diğer bir yol da arazide kolayca ölçülebilen göğüs yüzeyindeki çap ( $D_{1,30}$ ), ağaç boyu gibi değişkenleri kullanarak oluşturulan doğrusal veya doğrusal olmayan regresyon denklemleridir. Bitkisel kütle eşitlikleri olarak adlandırılan bu regresyon denklemleri ile ağaç veya meşcere bazında ağaç bileşenlerinin kütlesi ya da toplam bitkisel kütle tahmin edilebilmektedir. Bu yöntem de oldukça fazla kullanılmakta olup, değişik ağaç türlerinin bitkisel kütlesini denklemler aracılığıyla tahmin etmek için bir çok çalışma yapılmıştır (Chroust, 1985; Marklund, 1987; Marklund, 1988; Ter-Mikaelian ve Korzukhin, 1997; Araújo ve Ark., 1999; Jenkins ve Ark., 2004; Cienciala ve Ark., 2006; Xiao ve Ceulemans, 2004; Onyekwelu, 2004; Zianis ve Ark., 2005; Onyekwelu, 2007; Mikšys ve Ark., 2007; Muukkonen, 2007; Repola ve Ark., 2007).

Birçok ülkede bitkisel kütle katsayıları ya da denklemleri ile ilgili çok sayıda araştırma varken Türkiye'de bu konudaki araştırmalar son derece yetersizdir. Uğurlu ve Ark. (1976) tarafından Ankara çevresinde Sarıçam ve Sun ve Ark. (1980) tarafından ise Antalya yöresinde Kızılçam (*Pinus brutia*) için çalışmalar yapılmıştır. Saraçoğlu (1998) tarafından Doğu Kayını (*Fagus orientalis*), yine Saraçoğlu (2000) tarafından Sakallı Kızılağaç (*Alnus glutinosa* subsp. *barbata*.) türü için bitkisel kütle tabloları oluşturulmuştur. Bu iki türe ait veriler tüm Doğu Karadeniz Bölgesini kapsarken, Durkaya (1998) tarafından Meşe (*Quercus* sp.), İkinci (2000) tarafından Anadolu Kestanesi (*Castanea sativa*) ve Çakıl (2008) tarafından Karaçam (*Pinus nigra*) türleri için hazırlanan bitkisel kütle tabloları sadece Zonguldak yöresi için geçerlidir. Bahsedilen bu çalışmalar haricinde Artvin-Genya Dağındaki Doğu Ladini (*Picea orientalis*) ormanları için Özkaya (2004), Adana'daki Kızılçam ormanları için Ünsal (2007), Erzurum'daki Sarıçam Ormanları için Atmaca (200), Eskişehir'deki Sarıçam

ormanları için Çömez (2011) tarafından da regresyon denklemleri oluşturulmuştur. Bunlar haricinde Kızılçam, Karaçam ve makilerde yanıcı madde miktarının belirlenmesine yönelik çeşitli bitkisel kütle çalışmaları da bulunmaktadır (Küçük ve Ark., 2007a; Küçük ve Ark., 2007b; Sağlam ve Ark., 2008a; Sağlam ve Ark., 2008b; Küçük ve Ark., 2008; Küçük ve Bilgili, 2008; Bilgili ve Küçük, 2009). Görüldüğü gibi bu çalışmalar son derece az olup, çoğu da belirli bir coğrafi bölge için geçerlidir. Hâlbuki odun hacmi ve toplam bitkisel kütle arasındaki ilişkiler ağaç türüne, yaşına, yetiştirme ortamı koşullarına göre farklılıklar gösterebilmektedir. Tüm ülke için kullanılabilir değerlerin elde edilebilmesi için çok sayıda araştırma yapılması gerekmektedir.

Bu çalışmanın amacı genç sarıçam ormanlarında gövde odunu hacim değerlerinin bitkisel kütle değerlerine dönüştürülmesi için gerekli katsayıların ortaya konulması, göğüs yüzeyindeki çap, ağaç boyu ve ağaç hacim değerlerine dayanan regresyon denklemlerinin oluşturulmasıdır. Böylece Türkiye'de orman ekosistemlerinin yönetilmesi ve modellenmesi için gerekli verilere katkı sağlanacaktır. Nitekim ÇOB (2006)'da Türkiye'de 20 cm'den daha ince çaplı Sarıçam ormanlarında bitkisel kütle araştırmalarının yapılması gerektiği vurgulanmıştır. Ayrıca çalışma ile hesaplanan katsayı ve denklemler, diğer ülkelerde yapılan çalışmalar ile karşılaştırılmıştır.

## 2. Materyal ve Metot

### 2.1 Çalışma alanı

Araştırma, Sarıçamın geniş alanlarda yayıldığı Aladağ Orman İşletmesi (Bolu) Kartalkaya Bölgesinde yapılmıştır. Aladağ Orman İşletmesi 31° 39'-31° 52' doğu boylamları ile 40° 30'-40° 42' kuzey enlemleri arasında kalmaktadır. Çalışma alanının genel bakışı kuzey olup, denizden yüksekliği 1500 m civarındadır.

Araştırma alanında yıllık ortalama sıcaklık 5,7 C°'dir. En soğuk ay ocak, en sıcak ay ağustos olup, sıcaklıklar sırasıyla -3,8 ve 15,1 C°'dir. Yıllık toplam ortalama yağış 883 mm'dir. Karla örtülü gün sayısı 145'dir. Yörede iklim genel olarak nemli ve serin olup, yaz aylarında pek az su noksanlığı söz konusudur.

Araştırma alanının anakayası andezittir. Toprak tipi podsolleşmiş boz esmer orman toprağı olup, kil oranları % 3 ile % 39, pH (n KCl) ise 3,9 – 5,3 arasında değişmektedir (Tolunay, 1997).

## 2.2 Arazi çalışmaları

Çalışma 31 yaşındaki Sarıçam ormanlarında yapılmıştır. Toplam 13 örnekleme alanında bulunan tüm ağaçların çap ve boyları ölçülerek, ortalama çap ve boy değerleri hesaplanmıştır. Daha sonra bu ortalamaya en yakın çap ve boy değerlerine sahip ağaçlardan (meşcere orta ağacı) birer adet kesilmiştir (Fırat 1962). Örnek ağaçlarda göğüs yüksekliğindeki çap ve ağaç boyu ölçülmüştür. Bu ağaçlarda yaş dallar, kuru dallar ve ibreler ayrılmış ve tartılmıştır. Tartılan canlı dal, kuru dal ve ibrelerden kuru ağırlıkların belirlenebilmesi için alt örnekler alınmıştır. Daha sonra gövde iki metre boyunda parçalara ayrılarak kabuklu halde tartılmıştır. Bu parçaların ortasından 10 cm kalınlığında alt örnekler alınmıştır. Alınan tüm alt örneklerin taze ağırlıkları arazide hassas olarak belirlenmiştir. Laboratuarda kuru ağırlıkların belirlenebilmesi için tüm alt örnekler 65 C°'de sabit ağırlığa ulaşıncaya kadar kurutulmuştur. Sabit ağırlığa ulaşıp ulaşılmadığı ara tartımlar ile kontrol edilmiştir. Tüm ağaçtaki kabuk kütlesi her seksiyon için belirlenen kabuk/odun oranından yararlanılarak elde edilmiştir. Alt örneklerde belirlenen kuru ağırlıklar yardımıyla tek ağaç için gövde odunu, kabuk, canlı dal, kuru dal ve ibre ağırlıkları hesaplanmıştır.

## 2.3 Bitkisel kütle katsayılarının belirlenmesi

LULUCF Kılavuzuna göre gövde odunu hacminin bitkisel kütleyle dönüştürülmesinde hacim ağırlığı değeri kullanılmaktadır (IPCC, 2003). Hacim ağırlığı;

$$HA = \frac{GOB}{GOH} \quad (1)$$

formülü ile belirlenmiş olup, burada  $HA$  hacim ağırlığı ( $t\ m^{-3}$ ),  $GOB$  kabuklu gövde odunu kütlesi ( $t$ ),  $GOH$  kabuklu gövde odunu hacmidir ( $m^3$ ). Kabuklu gövde odunu hacmi 2 m boyundaki seksiyonların arazide ölçülen alt ve üst çapları yardımıyla kesik koni hacim formülü ile hesaplanmıştır. Gövdenin uç parçasının hacmi koni hacim formülü ile belirlenmiştir. Seksiyonların hacim değerleri toplanarak örnek ağacın kabuklu gövde hacmi bulunmuştur.

Kabuklu gövde odunu hacmini ağaç bileşenlerinin (gövde odunu, kabuk, toplam dal, ibre) kütlesine dönüştürmede kullanılan bitkisel kütle dönüştürme ve genişletme katsayıları;

$$BDGK_i = \frac{BK_i}{GOH} \quad (2)$$

formülü ile hesaplanmıştır. Burada  $BDGK$  bitkisel kütle dönüştürme ve genişletme katsayısı ( $t\ m^{-3}$ ),  $BK$  bitkisel kütle ( $t$ ),  $i$  ağaç bileşenleridir (gövde odunu, kabuk, toplam dal, ibre, toprak üstü).

Ayrıca kabuklu gövde odunu kütlesini toprak üstü kütleyle genişletmede kullanılan bitkisel kütle genişletme katsayıları (BGK)

$$BGK_i = \frac{BK_i}{GOB} \quad (3)$$

formülü ile belirlenmiştir.

## 2.4 Bitkisel kütle denklemlerinin geliştirilmesi

Bitkisel kütle tahmininde çoğunlukla doğrusal veya doğrusal olmayan denklemlerden yararlanılmaktadır. Özellikle üssel fonksiyon, bitkisel kütle çalışmalarında daha çok kullanılmaktadır (Pilli ve Ark., 2006; Muukkonen, 2007). Bu çalışmada göğüs yüksekliğindeki çap ( $D$ ), ağaç boyu ( $H$ ) ve kabuklu gövde hacminin ( $GOH$ ) bağımsız değişken, ağaç bileşenleri kütlelerinin bağımlı değişken olduğu aşağıdaki denklemler geliştirilmiştir.

$$B_i = a + bD \quad (4)$$

$$B_i = aD^b \quad (5)$$

$$B_i = a(D^2 H)^b \quad (6)$$

$$B_i = aGOH^b \quad (7)$$

Denklemlerdeki  $a$  ve  $b$  regresyon katsayılarıdır.

## 2.5 Diğer bitkisel kütle denklemleri ile karşılaştırma

Arazi ölçümleri ile belirlenen ağaç bileşenleri kütlelerinin bu çalışma ve sarıçam için geliştirilen diğer bazı denklemlerle tahmin edilen kütleleri arasındaki bağıl fark aşağıdaki formüle göre hesaplanmıştır (Pilli ve Ark., 2006).

$$\text{Bağıl Fark} = \frac{|BK\ddot{o} - BKt|}{BK\ddot{o}} \times 100 \quad (8)$$

Burada  $BK\ddot{o}$  ve  $BKt$  sırasıyla ölçülen ve tahmin edilen bitkisel kütlelerdir ( $kg$  ya da  $t$ ). Bu karşılaştırma ile Sarıçam için geliştirilen çeşitli denklemlerin uygunluklarının denetlenmesi hedeflenmiştir. Karşılaştırmada kullanılan denklemler Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Bu çalışmadaki Sarıçam ağaçlarının bitkisel kütlelerinin karşılaştırılmasında kullanılan denklemler.  
Table 1. Equations used in the comparison of tree component biomasses of Scots pines in the study.

Bölge/Ülke	Ağaç bileşeni	Bitkisel Kütle Denklemleri	a	b	Kaynak
Çek Cumhuriyeti	Toprak üstü	$B_{ah} = aD^b$	0,1182	2,3281	Chroust (1985)
	Toplam dal	$B_{th} = aD^b$	0,0071	2,7743	
	İbre	$B_n = aD^b$	0,009	2,4794	
	Kabuklu gövde odunu	$B_{sh} = aD^b$	0,1163	2,1826	
Çek Cumhuriyeti	Toprak üstü	$B_{ah} = aD^b$	0,09607	2,42792	Cienciala ve Ark. (2006)
	Kabuksuz gövde odunu	$B_s = aD^b$	0,05503	2,54070	
	Kabuklu gövde odunu	$B_{sh} = aD^b$	0,06552	2,50626	
	Kabuk	$B_h = aD^b$	0,02401	1,94937	
	İbre	$B_n = aD^b$	0,17201	1,07674	
	Canlı dal	$B_{th} = aD^b$	0,03458	1,94353	
	Kuru dal	$B_{dh} = aD^b$	0,00129	2,48610	
Ilıman kuşak	Toprak üstü	$B_{ah} = aD^b$	0,158	2,237	Muukkonen (2007)
	Kabuklu gövde odunu	$B_{sh} = aD^b$	0,0811	2,380	
	İbre	$B_n = aD^b$	0,00654	2,362	
	Toplam dal	$B_{th} = aD^b$	0,00526	2,724	
Boreal kuşak	Toprak üstü	$B_{ah} = aD^b$	0,0835	2,414	Muukkonen (2007)
	Kabuklu gövde odunu	$B_{sh} = aD^b$	0,0654	2,458	
	İbre	$B_n = aD^b$	0,0663	1,568	
	Toplam dal	$B_{th} = aD^b$	0,0111	2,462	
Norveç	Toprak üstü	$B_{ah} = aD^2$	209,69901		Brække (1986)
	Toplam dal	$B_{th} = aD^2$	59,98243		
	İbre	$B_n = aD^2$	37,78194		
	Kabuksuz gövde odunu	$B_s = aD^2$	89,24474		
	Kabuk	$B_h = aD^2$	22,63177		
Belçika	Toplam	$B_t = aD^b$	0,152	2,234	Xiao ve Ceulemans (2004)
	Kalın kök	$B_{cr} = aD^b$	0,007	2,897	
	İnce kök	$B_{sr} = aD^b$	0,002	2,222	
	Toprak üstü	$B_{ah} = B_t - (B_{cr} + B_{sr})$			
	Toplam dal	$B_{th} = aD^b$	0,051	2,083	
	İbre	$B_n = aD^b$	0,032	2,249	
Türkiye	Toprak üstü	$B_{ah} = a + bD$	-406,27916	26,13597	Uğurlu ve Ark. (1976)
	Toplam dal	$B_{th} = a + bD$	-122,26086	6,33718	
	İbre	$B_n = a + bD$	-31,96482	1,79766	
	Kabuklu gövde odunu	$B_{sh} = a + bD$	-246,33506	17,65814	
Türkiye	Toprak üstü	$B_{ah} = a + bD^2$	-26,11437	0,436421	Atmaca (2008)
	Toplam dal	$B_{th} = a + bD$	-51,3178	3,22021	
	İbre	$B_n = a + bD$	-10,8711	1,193225	
	Kabuklu gövde odunu	$B_{sh} = a + bD^2$	-32,72303	0,36755	
Türkiye	Toprak üstü	$B_{ah} = aD^b$	0,045	2,641	Çömez (2011)
	Kabuksuz gövde odunu	$B_s = aD^b$	0,030	2,661	
	Kabuklu gövde odunu	$B_{sh} = aD^b$	0,037	2,623	
	Kabuk	$B_h = aD^b$	0,011	2,210	
	İbre	$B_n = aD^b$	0,013	2,087	
	Canlı dal	$B_{th} = aD^b$	0,002	2,950	
	Kuru dal	$B_{dh} = aD^b$	0,001	2,458	
	Toplam dal	$B_{th} = aD^b$	0,003	2,922	

## 2.6 İstatistiksel analizler

Bütün istatistiksel analizlerde SPSS 15.0 for Windows (SPSS, Chicago, IL, USA) kullanılmıştır. Anlamlılık  $p=0.05$  olasılık düzeyinde değerlendirilmiştir. Regresyon denklemlerinin değerlendirilmesi için hesaplanan standart hatası (SEE),  $R^2$  değerleri ile a ve b katsayılarının standart sapma değerleri de hesaplanmıştır.

## 3. Bulgular ve Tartışma

Örnek ağaçların göğüs yüksekliğindeki çapları, boyları, kabuklu gövde odunu hacmi değerleri Tablo 2’de verilmiştir. Örnek ağaçların çapları 6,10-10,90 cm, boyları ise 8,70-11,60 m arasında değişmektedir. Kabuklu gövde odunu hacim değerlerinin ise 0,015-0,060  $m^3$  arasında değiştiği bulunmuştur. Ortalama toprak üstü bitkisel kütle 22,4  $kg\ ağaç^{-1}$ ’tır. Ortalama değerlere göre toprak üstü bitkisel kütle % 71,2’sini gövde odunu, % 7,6’ini kabuk, % 10,2’sini canlı dal, % 4,0’sini kuru dal ve % 7,0’ini ibre oluşturmaktadır (Şekil 1).

Ağaç bileşenlerinin toprak üstü bitkisel kütle içindeki dağılımı ağaç türü, yaş, kapalılık, sıklık ve yetiştirme ortamı koşullarına göre farklı olabilmektedir. Genel olarak ağaç yaşı arttıkça dal ve ibre payı azalmakta, odun payı ise artmaktadır. Örneğin bir çalışmada 25, 50 ve 100 yaşındaki sarıçam meşcerelerinde kabuksuz gövde odununun toprak üstü bitkisel kütle içindeki payı sırasıyla % 52, % 82 ve % 89 bulunmuştur (Cienciala ve Ark., 2006). Bu çalışmada ise 31 yaşındaki Sarıçam ağaçlarında kabuksuz odun payı % 71, Kabuklu odun payı % 79 olarak hesaplanmıştır. Dolayısıyla elde edilen bulgular Cienciala ve Ark. (2006) tarafından elde edilen bulgular ile paralellik göstermektedir.

### Gövde odunu hacim ağırlığı ve bitkisel kütle katsayıları

Kabuklu gövde odunu hacmini kabuklu gövde odunu külesine dönüştürmekte kullanılan en önemli katsayı gövde odunu hacim ağırlığıdır. Bu çalışmada sarıçam ağaçlarının ortalama gövde odunu hacim ağırlığı 0,424  $t\ m^{-3}$  olarak bulunmuştur (Tablo 2). Sarıçam gövde odunu hacim ağırlıklarının 0,420  $t\ m^{-3}$  ile 0,437  $t\ m^{-3}$  arasında değiştiği belirtilmektedir (Karaöz, 1988; As ve Ark., 2001; IPCC, 2006; NIR Czech Republic, 2007; Çömez, 2011). Bu değerler çalışmamız ile elde

edilen hacim ağırlığı değerine oldukça yakındır (Tablo 2). Türkiye için hazırlanan sera gazı ulusal envanterinde ise Sarıçam meşcere hacim değerlerinin gövde odunu külesine dönüştürülmesinde 0,496  $t\ m^{-3}$  değeri kullanılmıştır. Bu değer Sarıçam gövde odununun tam kuru yoğunluğudur (As ve Ark. 2001). Dolayısıyla sera gazı ulusal envanterinde bitkisel kütle miktarları ve karbon stokları fazla hesaplanmaktadır.

Doğrudan gövde hacmi değerleri kullanılarak toprak üstü, kabuksuz gövde, kabuk, canlı dal, kuru dal, toplam dal ve ibre külelerini hesaplamada kullanılacak BDGK değerleri sırasıyla 0,535, 0,383, 0,041, 0,052, 0,023, 0,075 ve 0,036  $t\ m^{-3}$  olarak belirlenmiştir (Tablo 3). İspanya’da yapılan bir çalışmada sarıçam için  $BDGK_{topraküstü}$  0,062  $t\ m^{-3}$ ,  $BDGK_{toplamdal}$  0,16  $t\ m^{-3}$ ,  $BDGK_{ibre}$  0,029  $t\ m^{-3}$  olarak bulunmuştur (Sabaté ve Ark., 2008).  $BDGK_{topraküstü}$  ve  $BDGK_{toplamdal}$  değerleri bizim çalışmamızda bulunan değerlerden yüksek,  $BDGK_{ibre}$  değeri ise düşüktür. Jalkanen ve Ark., (2005) tarafından İsveç sera gazları ulusal envanter raporunda sarıçam için  $BDGK_{topraküstü}$  değerinin 0,52  $t\ m^{-3}$  olarak kullanıldığı bildirilmektedir. Bu değer bizim çalışmamızda bulunan 0,535  $t\ m^{-3}$  değerine oldukça yakındır. Lehtonen ve Ark. (2004) göre toplam bitkisel kütle (kök dahil) belirlemek için kullanılacak BDGK değerleri Finlandiya sarıçam ormanları için 0,697-0,710  $t\ m^{-3}$  arasında değişmektedir (Lehtonen ve Ark., 2004).

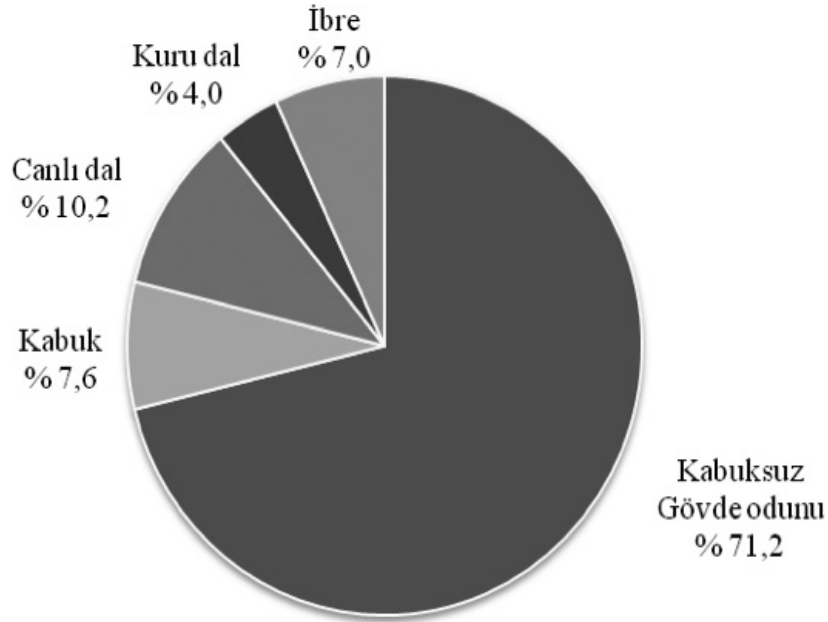
Kabuklu gövde odunu külesini toprak üstü küleyle genişletmekte kullanılacak  $BGK_{topraküstü}$  1,263 olarak hesaplanmıştır. Toplam dal külesinin kabuklu gövde odunu külesine oranı olan  $BGK_{toplamdal}$  değeri 0,178 ve ibre külesinin kabuklu gövde odunu külesine oranı olan  $BGK_{ibre}$  0,085’tir (Tablo 3).  $BGK$  çoğunlukla sera gazları ulusal envanter raporlarında (SGER) kullanılmaktadır. Çünkü SGER ulusal düzeyde hazırlanmakta olup, ülkelerin çoğunda bitkisel kütle ile ilgili veri eksikliği bulunmaktadır. Ancak ağaç türlerinin çoğu için gövde odunu hacim ağırlığı bilinmektedir ya da LULUCF tarafından verilmiştir. SGER’nda öncelikle gövde odunu hacim ağırlığı yardımıyla odun külesi bulunmakta ve bu değer daha sonra  $BGK$  ile çarpılarak toprak üstü bitkisel kütle belirlenmektedir.  $BGK_{topraküstü}$  değeri LULUCF’de ibreli türler için 1,15 (1-1,3) olarak verilmiştir (IPCC, 2003). Çek Cumhuriyeti, Hırvatistan ve Slovenya sera gazları ulusal envanter raporlarında  $BGK_{topraküstü}$  ibreli türler için sırasıyla 1,162, 1,15 ve 1,20 olarak kabul edilmiştir (NIR Croatia, 2007; NIR Czech Republic, 2007; NIR Slovenia, 2007).

Tablo 2. Örnek ağaçların göğüs yüksekliğindeki çap, boy, kabuklu gövde odunu hacmi, gövde odunu hacim ağırlığı ve toprak üstü ağaç bileşenlerinin kütleleri.

Table 2. Diameter at breast height, height, stem volume over bark, wood density and biomass of aboveground components of sample trees.

Örnek ağaç no.	Çap <sub>1,3</sub> <sup>m</sup> (cm)	Boy (m)	GOH (m <sup>3</sup> )	HA (t m <sup>-3</sup> )	Bitkisel kütle (65 C° kuru kg ağaç <sup>-1</sup> )					
					Kabuksuz gövde odunu	Kabuk	Canlı dal	Kuru dal	İbre	Toplam
1	6,10	8,70	0,015	0,463	6,27	0,68	0,59	0,27	0,36	8,17
2	9,50	10,45	0,043	0,462	17,63	2,24	2,27	0,84	1,50	24,47
3	9,00	10,55	0,039	0,401	13,95	1,68	0,97	0,50	1,19	18,28
4	10,90	10,85	0,058	0,441	23,32	2,24	3,86	0,62	3,27	33,31
5	10,00	10,55	0,048	0,436	18,98	1,93	3,07	0,98	2,26	27,23
6	8,30	9,20	0,029	0,454	12,08	1,09	1,17	1,61	1,15	17,11
7	8,50	9,60	0,031	0,455	12,72	1,40	2,19	0,52	1,13	17,95
8	10,70	11,60	0,060	0,426	23,38	2,17	3,02	1,36	2,43	32,36
9	8,30	9,35	0,029	0,413	10,50	1,47	1,11	0,74	1,00	14,81
10	9,40	10,75	0,043	0,437	17,02	1,76	2,57	1,38	1,18	23,90
11	9,70	10,95	0,047	0,395	17,11	1,45	2,34	0,70	1,48	23,08
12	10,40	10,60	0,052	0,343	15,96	1,90	3,20	1,07	1,76	23,89
13	10,50	10,50	0,053	0,389	18,55	2,08	3,34	1,25	1,63	26,85
Ortalama	9,33	10,28	0,042	0,424	15,96	1,70	2,28	0,91	1,56	22,42
SS	1,32	0,82	0,013	0,035	4,86	0,47	1,04	0,40	0,74	7,04

SS = standard sapma; GOH = kabuklu gövde odunu hacmi; HA = Gövde odunu hacim ağırlığı



Şekil 1. Örnek ağaçların çeşitli bileşenlerinin dağılımı.

Figure 1. Alllocations of biomass in tree components.

Tablo 3. Bolu Aladağ'daki genç Sarıçamlar için belirlenen bitkisel kütle katsayıları.

Tablo 3. Biomass factors for Scots pine trees in Bolu Aladağ

Ağaç Bileşenleri	BDGK	BGK
Toprak üstü	0,535 ± 0,043	1,263 ± 0,050
Kabuksuz gövde odunu	0,383 ± 0,033	0,903 ± 0,013
Kabuk	0,041 ± 0,006	0,097 ± 0,013
Canlı dal	0,052 ± 0,014	0,125 ± 0,035
Kuru dal	0,023 ± 0,011	0,053 ± 0,025
Toplam dal	0,075 ± 0,016	0,178 ± 0,040
İbre	0,036 ± 0,009	0,085 ± 0,019

Vande Walle ve Ark. (2005) Belçika'da yaptıkları bir çalışmada ibrelili türler için  $BGK_{topraküstü}$  değerini 1,32 (1,14-1,40) olarak rapor etmektedirler. Teobaldelli ve Ark. (2009) Avrupa'daki 3493 örnek alandan elde edilen verileri değerlendirerek çam türleri için  $BGK_{topraküstü}$  değerini genelleştirmeye çalışmışlar ve 1,196 olarak hesaplamışlardır. Bazı ülkelerde ise toplam bitkisel kütle için  $BGK_{toplam}$  değerleri geliştirilmiştir. Örneğin  $BGK_{toplam}$  Avusturya'da ibrelili türler için 1,45, Estonya'da çam türleri için 1,527 olarak kabul edilmektedir (NIR Austria 2007; NIR Estonia, 2007). İsviçre'de ise farklı bölgeler ve yükselti kademeleri için farklı  $BGK_{toplam}$  kullanılmaktadır. Bu  $BGK_{toplam}$  değerleri ibrelili türler için 1,43-1,65 arasında değişmekte olup, yükselti ile birlikte artmaktadır (NIR Switzerland, 2007). Türkiye sera gazları ulusal envanterinde ibrelili türler için  $BGK_{topraküstü}$  1,22 olarak kabul edilmiştir (NIR Turkey, 2007).

Türkiye'de bitkisel kütle çalışmaları oldukça azdır. Günümüze kadar çeşitli ağaç türlerinde sadece 416 ağacın bitkisel kütlesi ölçülmüştür. Yerel ya da bölgesel olan bu çalışmalarda bitkisel kütle faktörleri Çömez (2011) haricinde hesaplanmamış, ancak bitkisel kütle denklemleri geliştirilmiştir. Uğurlu ve Ark. (1976), Sun ve Ark. (1980), Saraçoğlu (1998), Saraçoğlu (2000), Durkaya (1998), İkinci (2000), Özkaya (2004), Ünsal (2007), Çakıl (2008), Atmaca (2008) ve Çömez (2011) tarafından yapılan çalışmalar Tolunay (2011) tarafından yeniden değerlendirilmiş ve BGK ile BDGK katsayıları oluşturulmuştur. Buna göre  $BGK_{topraküstü}$  katsayıları ağaç türüne göre değişmekte olup en düşük  $BGK_{topraküstü}$  Kızılağaçta 1.101, en yüksek ise Kızılcımda 1.349 olarak bulunmuştur. Aynı ağaç türünde farklı bölgelerde yapılan çalışmalarda da  $BGK_{topraküstü}$  farklıdır. Örneğin bu çalışmada Sarıçam için  $BGK_{topraküstü}$  1.263 olarak bulunmuşken, Uğurlu ve Ark. (1976) tarafından Ankara'da yapılan çalışmadaki değerlerden  $BGK_{topraküstü}$  1.280 olarak hesaplanmıştır. Benzer şekilde Kızılcımda için Antalya'da ve Adana

yapılan çalışmalardaki  $BGK_{topraküstü}$  katsayıları sırasıyla 1.249 ve 1.349 olarak hesaplanmıştır (Tolunay, 2011).

Bitkisel kütle katsayıları çoğunlukla ülke düzeyinde kullanılmaktadır. Genellikle yapraklı ve ibrelili türler için birer adet katsayı hesaplanmakta meşcere hacimlerinin bitkisel kütle dönüştürülmesinde bu katsayılarından yararlanılmaktadır. Ancak bu katsayılar bazı faktörlere göre (ağaç türü, yaş, silvikültürel işlemler, kapalılık ve yetiştirme ortamı koşulları) değişim gösterebilmektedir (Lehtonen ve Ark., 2004; Jalkanen ve Ark., 2005; Teobaldelli ve Ark., 2009). Ayrıca BGK katsayıları iklim zonlarına göre değişebilmektedir (IPCC 2003). Bitkisel kütle katsayılarının oldukça değişken olması ve meşcereden meşcereye değişmesi bitkisel kütle hesaplamalarındaki belirsizlikleri arttırmaktadır. Her meşcere için ayrı ayrı bitkisel kütle katsayısı geliştirilmesi oldukça zordur. Bu nedenle öncelikle ekolojik bölgelerin belirlenmesi ve bu ekolojik bölgelere göre her ağaç türü için ayrı ayrı katsayıların geliştirilmesi daha doğru bir yaklaşım olacaktır.

#### Bitkisel kütle denklemleri

Çeşitli ağaç bileşenleri ve toprak üstü bitkisel kütlenin tahmin edilmesi için oluşturulan doğrusal ve doğrusal olmayan regresyon denklemleri Tablo 4'te verilmiştir. Geliştirilen modeller kabuksuz gövde odunu, kabuklu gövde odunu, kabuk, canlı dal, toplam dal, ibre ve toprak üstü bitkisel kütledeki varyasyonun çok önemli bir kısmını açıklamaktadır ( $p < 0,001$ ). Tahmin gücü en yüksek model toprak üstü bitkisel kütlenin bağımlı  $D^2H$  indeksinin bağımsız değişken olduğu regresyon denklemidir ( $p < 0,001$ ;  $R^2_{adj} = 0,951$ ). Kabuklu ve kabuksuz gövde odunu için geliştirilen üssel fonksiyonların da tahmin gücü oldukça yüksektir. Ancak kuru dal kütlesi için oluşturulan doğrusal denklem istatistiksel açıdan anlamsızdır. Tüm doğrusal denklemlerin tahmin gücü doğrusal olmayan denklemlerden düşüktür (Tablo 4). Bitkisel kütle denklemlerinden üssel fonksiyonların daha



anlamli olduğu birçok çalışma ile ortaya konmuştur (Pilli ve Ark., 2006; Muukkonen, 2007; Zianis, 2008) ve çalışmamızda elde edilen sonuçlar da bu sonuçlarla uyumludur.

Çalışmada göğüs yüksekliğindeki çap ile ağaç bileşenleri arasında yüksek ilişki bulunmuştur. Kabuklu ve kabuksuz gövde odunu kütlesi ile toprak

st bitkisel kütle için  $D^2H$  indeksi ve kabuklu gövde odunu hacminin kullanıldığı denklemler modellerin tahmin gücünü çok az miktarda arttırmıştır. Kabuk, ibre ve dal kütle denklemlerinde ise çap ile oluşturulan üssel fonksiyonların önem düzeyi diğer değişkenlerin kullanıldığı denklemlerden daha yüksektir (Tablo 4).

Tablo 4. Bolu Aladağ'daki Sarıçam ağaçları için geliştirilen gövde odunu (kabuklu ve kabuksuz), kabuk, ibre, canlı dal, kuru dal ve toplam dal kütleleri ile bitkisel toprak üstü kütle denklemleri.

Table 4. Biomass equations of stem (over and under bark), bark, needle, live branch, dead branch, total branch and aboveground biomass for Scots pine in Bolu Aladağ.

Ağa bileşeni	Denklem	a	b	$R^2_{adj}$	SEE
Kabuksuz gvde odunu	$B_s = a + bD$	-16,2202	3,4487	0,862	1,806
	$B_s = aD^b$	0,1127	2,2047	0,927	0,097
	$B_s = a(D^2H)^b$	0,0347	0,8974	0,943	0,085
	$B_s = aGOH^b$	282,0433	0,9063	0,942	0,086
Kabuklu gövde odunu	$B_{sb} = a + bD$	-17,5330	3,7715	0,874	1,875
	$B_{sb} = aD^b$	0,1300	2,1870	0,935	0,090
	$B_{sb} = a(D^2H)^b$	0,0407	0,8893	0,950	0,079
	$B_{sb} = aGOH^b$	304,2330	0,8980	0,948	0,080
Kabuk	$B_b = a + bD$	-1,3128	0,3228	0,798	0,212
	$B_b = aD^b$	0,0181	2,0236	0,857	0,128
	$B_b = a(D^2H)^b$	0,0065	0,8154	0,853	0,130
	$B_b = aGOH^b$	22,9937	0,8217	0,848	0,132
İbre	$B_n = a + bD$	-2,8836	0,4767	0,690	0,413
	$B_n = aD^b$	0,0010	3,2555	0,892	0,176
	$B_n = a(D^2H)^b$	0,0002	1,2975	0,867	0,195
	$B_n = aGOH^b$	94,5211	1,3070	0,861	0,200
Canlı Dal	$B_{lb} = a + bD$	-4,2576	0,7011	0,774	0,492
	$B_{lb} = aD^b$	0,0012	3,3524	0,797	0,261
	$B_{lb} = a(D^2H)^b$	0,0002	1,3382	0,777	0,273
	$B_{lb} = aGOH^b$	155,2325	1,3480	0,772	0,277
Kuru dal	$B_{db} = aD^b$	0,0099	1,9880	0,320	0,417
	$B_{db} = a(D^2H)^b$	0,0044	0,7710	0,288	0,426
	$B_{db} = aGOH^b$	10,1876	0,7812	0,290	0,426
Toplam dal	$B_{tb} = a + bD$	-4,5469	0,8297	0,773	0,585
	$B_{tb} = aD^b$	0,0044	2,9221	0,792	0,231
	$B_{tb} = a(D^2H)^b$	0,0012	1,1527	0,752	0,252
	$B_{tb} = aGOH^b$	123,1704	1,1621	0,748	0,254
Toprak st	$B_{ab} = a + bD$	-24,9783	5,0793	0,894	2,296
	$B_{ab} = aD^b$	0,1140	2,3504	0,949	0,084
	$B_{ab} = a(D^2H)^b$	0,0341	0,9496	0,951	0,083
	$B_{ab} = aGOH^b$	466,5738	0,9585	0,948	0,085

D=gğs yüksekliğindeki çap (cm); H=ağa boyu (m); GOH=kabuklu gövde odunu hacmi ( $m^3$ );  $B_s$ =kabuksuz gövde odunu kütlesi (kg);  $B_{sb}$ =kabuklu gövde odunu kütlesi (kg);  $B_b$ =kabuk kütlesi (kg);  $B_n$ =ibre kütlesi (kg);  $B_{lb}$ =canlı dal kütlesi (kg);  $B_{db}$ =kuru dal kütlesi (kg);  $B_{tb}$ =toplam dal kütlesi (kg);  $B_{ab}$ =toprak üstü toplam kütle (kg); a ve b=regresyon parametreleri; SEE=hesaplamanın standart hatası

### Diğer denklemler ile karşılaştırma

Çalışmamızda  $B_i = aD^b$  şeklindeki denklem kullanılarak hesaplanan ağaç bileşenleri kütlelerinin gerçek bitkisel kütlelerden farkı olan bağıl fark değerleri % 30'un altında bulunmuştur. En yüksek bağıl fark kuru ve canlı dallardadır (Tablo 5). Sarıçam için Çek Cumhuriyeti'nde Chroust (1985) ve Cienciala ve Ark. (2006) tarafından geliştirilen toprak üstü bitkisel kütle denklemlerinin bağıl farkları da bu çalışmadaki değerlere yakındır. Ancak bu yazarların tepe bileşenleri (ibre, kuru dal ve yaş dal) için oluşturdukları denklemler veri setimize uygulandığında bağıl farkların oldukça yüksek olduğu belirlenmiştir (Tablo 5). Test edilen diğer denklemlerden Muukkonen (2007) tarafından ılıman iklim kuşağındaki Sarıçam ağaçları için genelleştirilmiş toprak üstü bitkisel kütle denkleminin gerçek değerlerin üzerinde sonuç verdiği bulunmuştur. Norveç'te Brække (1986) ve boreal kuşak Sarıçam ormanları için Muukkonen (2007) tarafından geliştirilen toprak üstü bitkisel kütle denklemleri ise Türkiye şartlarında kütleleri daha düşük tahmin etmektedir. Benzer şekilde Xiao ve Ceulemans (2004) tarafından Belçika'daki Sarıçam ormanları için geliştirilen denklem de kütleleri daha düşük hesaplamaktadır (Şekil 2).

Ilıman kuşaktaki Sarıçam ormanlarının toprak üstü, kabuk ve gövde odunu (kabuklu ve kabuksuz) kütlelerinin tahmini için geliştirilen denklemler (Chroust, 1985; Cienciala ve Ark., 2006) ile bu çalışmadaki denklemler birbiri ile uyumludur. Ancak ibre ve dal bitkisel kütle denklemleri uyumsuzdur. Bu durum dal ve ibre kütlelerinin meşcere yapısına bağlı olarak değişmesinden kaynaklanabilir. Nitekim çalışmamızda ibre ve dal kütlelerinin tahmininde  $D^2H$  indeksi ve ağaç hacminin kullanıldığı denklemlerin önem düzeyi,  $R^2$  değerleri, çapın tek başına bağımsız değişken olduğu denklemlerden daha düşük bulunmuştur. Benzer bir sonuca Mikšys ve Ark. (2007) tarafından da ulaşılmıştır.

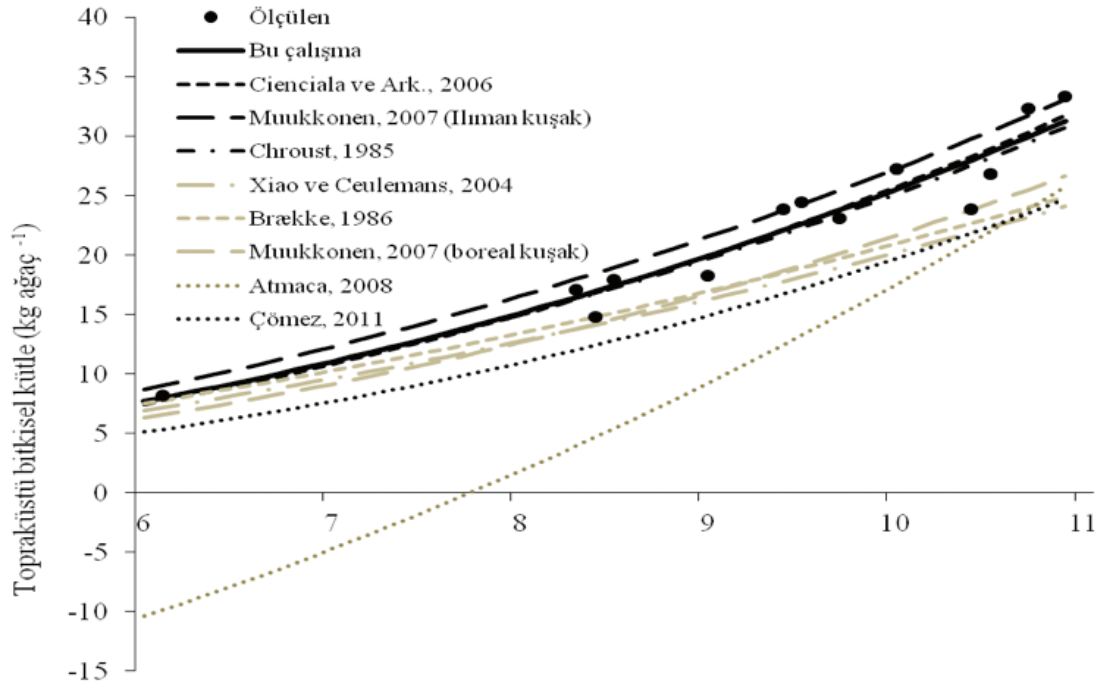
Boreal kuşaktaki sarıçam ormanları için geliştirilen denklemler veri setimize uygulandığında bitkisel kütleleri daha düşük tahmin ettiği bulunmuştur. Benzer bir sonuç Cienciala ve Ark. (2006) tarafından da elde edilmiştir. Yazarlar bu durumun boreal kuşaktaki ağaçların gelişmelerinin daha yavaş olmasından kaynaklanabileceğini bildirmektedir. Xiao ve Ceulemans (2004) tarafından Belçika'daki genç sarıçam ağaçları için geliştirilen bitkisel kütle denklemini de bu çalışmadaki ağaç bileşenleri kütlelerini düşük tahmin etmektedir. Bu durum ise yazarların çalıştıkları ağaçların oldukça genç (10 yaşında) olması

yanında çalışılan bölgenin yetişme ortamı koşullarından kaynaklanabilir. Yazarlar çalışılan bölgenin yetişme ortamı koşulları hakkında bilgi vermemişlerdir.

Türkiye'de Sarıçam ağaçları için Uğurlu ve Ark. (1976), Atmaca (2008) ve Çömez (2011) tarafından da çeşitli ağaç bileşenlerinin kütlelerini tahmin etmek için denklemler geliştirilmiştir. Bunlardan Uğurlu ve Ark. (1976) ile Atmaca (2008) tarafından geliştirilen denklemler, incelenen denklemler içerisinde ibre, dal, kabuklu gövde ve topraküstü kütleleri en hatalı tahmin eden denklemlerdir (Tablo 5). Bu durum söz konusu 2 çalışmada kesilen ağaçların çaplarının daha kalın olması ve ince çaplı ağaçları kapsamamasından kaynaklanmaktadır. Çömez (2011) tarafından yapılan çalışmada ise çap aralığı 7,1-63,2 cm arasında değişmektedir. Ancak Çömez (2011) tarafından geliştirilen denklemler çalışmamızda kullanılan ağaçların kütlelerini daha düşük tahmin etmektedir (Şekil 2). Özetle regresyon denklemleri yerel olarak kullanılabilir denklemlerdir. Tüm ülkede ya da belli bir coğrafi bölgede geçerli olabilecek ve tahmin gücü yüksek denklemler oluşturulması için geniş bir veri seti ile çalışılması gereklidir.

Tablo 5. Farklı bitkisel kütle denklemleriyle hesaplanan ağaç bileşenleri kütlelerinin bağlı fark değerleri.  
Table 5. Deviations of biomass estimations using different equations.

Ağaç bileşenleri	Bu çalışma	Cienciala ve Ark. (2006)	Chroust (1985)	Muukkonen (2007) Ilman Kuşak	Muukkonen (2007) Boreal Kuşak	Brække (1986)	Xiao ve Ceulemans (2004)	Uğurlu ve Ark. (1976)	Atmaca (2008)	Çömez (2011)
Toprak üstü	6,99	7,19	7,15	8,66	15,37	15,21	18,88	999,19	56,44	24,39
Kabuksuz gövde odunu	7,09	7,70				49,56				26,16
Kabuklu gövde odunu	6,45	7,15	12,30	8,37	10,51			675,57	120,60	24,53
İbre	12,92	52,80	62,86	15,43	64,80	138,29	248,56	1496,28	159,28	16,05
Kabuk	8,40	15,72				21,08				11,06
Canlı dal	19,12	38,13								32,66
Kuru dal	29,91	57,35								69,10
Toplam dal	15,52		22,75	27,22	20,01	82,72	86,59	2788,78	1036,74	33,68



Şekil 2. Sarıçam ağaçları için geliştirilmiş bazı toprak üstü bitkisel kütle denklemlerinin karşılaştırılması  
Figure 2. Comparison of several aboveground biomass equations for Scots pine trees

#### 4. Sonuç

Bu çalışmada Bolu Aladağ'daki genç Sarıçam meşcerelerinin kabuklu ve kabuksuz gövde odunu, kabuk, dal, ibre ve toplam toprak üstü kütlelerini tahmin etmede kullanılabilir katsayılar ve denklemler oluşturulmuştur. Ancak dal ve ibre denklemlerinin önem düzeyleri nispeten daha düşük bulunmuştur. Denklemlerde kolay ölçülebilen çap değişkeninin kullanıldığı üssel fonksiyonların önem düzeyi oldukça yüksek olsa da çap ve boyun birlikte bağımsız değişken olarak kullanıldığı denklemler bitkisel kütle tahminlerinde kullanılmalıdır. Özellikle kabuklu ve kabuksuz gövde odunu ile toprak üstü kütlelerinin tahmini için geliştirilen denklemlerin ılıman kuşaktaki Sarıçam ormanları için geliştirilen diğer bazı denklemlerle uyumlu olduğu ortaya konmuştur. Ülkemizdeki Sarıçam ormanları için geliştirilen bazı denklemlerin düşük çaplı ağaçların kütlelerini tahminde hatalı sonuçlar verdiği bulunmuştur. Çalışma ile kabuklu gövde hacminden ağaçların topraküstü kütlelerini tahminde kullanılabilir çeşitli katsayılar da hesaplanmıştır. Bu katsayılar özellikle ülkemiz ormanlarındaki karbon miktarının ve yıllık karbon birikimlerinin hesaplanmasında kullanılmaktadır. Orman Genel Müdürlüğü tarafından yapılan karbon envanterlerinde çok az sayıdaki bitkisel kütle çalışmasından elde edilen katsayılar kullanılmaktadır. Bu nedenle de Türkiye karbon envanterinde verilen değerlerin hatalı olduğu bildirilmektedir (Tolunay, 2011). BGK ya da BDGK katsayılarının değişik ağaç türlerinde ve değişik çap ve kapalılık sınıfları için üretilmesine ihtiyaç bulunmaktadır. Bitkisel kütle ile ilgili çalışmaların artması ülkemiz ormanlarının karbon envanterinin daha sağlıklı olarak yapılmasını sağlayacaktır.

#### Teşekkür

Bu çalışma İstanbul Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi tarafından desteklenmiştir (Proje no. 1606/30042001).

#### References

- Araújo, T. M., N. Higuchi and J.A. Jr. Carvalho, 1999.** Comparison of formulae for biomass-content determination in a tropical rain forest site in the state of Para', Brazil. *Forest Ecology and Management*. 117: 43-52.
- Atmaca, S., 2008.** Erzurum Orman Bölge Müdürlüğü Sarıçam Biyokütle Tablolarının Düzenlenmesi. Yüksek Lisans Tezi. Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 111 s.
- As, N., H. Koç, D. Doğu, C. Atik, B. Aksu and S. Erdinler, 2001.** Türkiye'de yetişen endüstriyel öneme sahip ağaçların anatomik, fiziksel, mekanik ve kimyasal özellikleri. *Journal of the Faculty of Forestry, Istanbul University*. 51 (1): 71-88.
- Bilgili, E. and O. Kucuk, 2009.** Estimating above-ground fuel biomass in young calabrian pine (*Pinus brutia* Ten.) in Turkey. *Energy and Fuels*. 23:1797-1800.
- Brække, F. H., 1986.** Distribution and yield of biomass from young *Pinus sylvestris* and *Picea abies* stands on drains and fertilized peatland. *Scandinavian Journal of Forest Research*. 1: 49-66.
- Brown, S., 2002.** Measuring carbon in forests: current status and future challenges. *Environmental Pollution*. 116: 363-372.
- Chroust, L., 2006.** Above-ground biomass of young pine forests (*Pinus sylvestris*) and its determination. *Communicationes Instituti Forestalis Cechosloveniae*. 14: 127-145.
- Cienciala, E., M. Černý, F. Tatarinov, J. Apltauer and Z. Exnerová, 2006.** Biomass functions applicable to Scots pine. *Trees-Structure and Function*. 20: 483-495.
- Çakıl, E. 2008.** Zonguldak Orman Bölge Müdürlüğü Karaçam Biyokütle Tablolarının Düzenlenmesi. Yüksek Lisans Tezi. Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 167 s.
- ÇOB (Çevre ve Orman Bakanlığı AR-GE Daire Başkanlığı), 2006.** Arazi Kullanımı, Arazi Kullanım Değişikliği ve Ormancılık (LULUCF) Çalışma Grubu Raporu, Ankara. <http://www.arge-cevreorman.gov.tr/download/LULUCFcalismagrupraporu.pdf> (Ziyaret tarihi: 10 /01/ 2012).
- Çömez, A., 2011.** Sündiken Dağlarında Sarıçam (*Pinus sylvestris* L.) Meşcerelerinde Karbon Birikiminin Belirlenmesi. Doktora Tezi. İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 233 s.
- Dixon, R.K., S. Brown, R.A. Houghton, A.M. Solomon, M.C. Trexler and J. Wisniewski, 1994.** Carbon pools and fluxes of global forest ecosystems. *Science*. 263:185-190.

- Durkaya, B., 1998.** Zonguldak Orman Bölge Müdürlüğü Meşe Meşcerelerinin Biyokütle Tablolarının Düzenlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü 110 s.
- Fırat, F., 1962.** Dendrometri. İstanbul Üniversitesi Yayın No: 984, Orman Fakültesi Yayın No: 82, Kutulmuş Matbaası, İstanbul.
- IPCC, 2003.** Good practice guidance for land use, land-use change and forestry. (Eds.: J. Penman, M. Gytarsky, T. Hiraishi, T. Krug, D. Kruger, R. Pipatti, L. Buendia, K. Miwa, T. Ngara, K. Tanabe and F. Wagner.). IPCC/OECD/IEA/IGES, Hayama, Japan. Available at: [http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gpplulucf/gpplulucf\\_contents.html](http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gpplulucf/gpplulucf_contents.html). (Ziyaret tarihi: 10 /01/ 2012).
- IPCC, 2006.** IPCC Guidelines for national greenhouse gas inventories, prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme. In: IGES, Japan (Eds.: H.S. Eggleston, L. Buendia, K. Miwa, T. Ngara and K. Tanabe). Available at: <http://www.ipccnggip.iges.or.jp/public/2006gl/index.html>. (Ziyaret tarihi: 10 /01/ 2012).
- İkinci, O., 2000.** Zonguldak Orman Bölge Müdürlüğü Kestane Meşcerelerinin Biyokütle Tablolarının Düzenlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü 86 s.
- Jalkanen, A., R.Mäkipää, G. Ståhl, A. Lehtonen and H. Petersson, 2005.** Estimation of the biomass stock of trees in Sweden: comparison of biomass equations and age-dependent biomass expansion factors. *Annals of Forest Science*. 62: 845-851.
- Janzen, H.H., 2004.** Carbon cycling in earth systems-a soil science perspective. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 104:399-417.
- Jenkins, J. C., D. C. Chojnacky, L. S. Heath and R. A. Birdsey, 2003.** National-scale biomass estimators for United States tree species. *Forest Science*. 49: 12-35.
- Jenkins, J. C., D. C. Chojnacky, L. S. Heath and R. A. Birdsey, 2004.** Comprehensive database of diameter-based biomass regressions for North American tree species. United States Department of Agriculture, Forest Service, General Technical Report NE-319, 45 p.
- Karaöz, M.Ö. 1988.** Belgrad Ormanı'nda bazı iğne yapraklı ve geniş yapraklı orman ekosistemlerinin önemli edafik özellikleri ile bitkisel kütle karakteristikleri bakımından karşılaştırılması. *Journal of the Faculty of Forestry, Istanbul University*. 38: 157-190.
- Kucuk, O., E. Bilgili and I. Baysal, 2007a.** Fire development from a point source in surface fuels of a mature Anatolian black pine stand. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*. 31: 263-273.
- Kucuk, O., B. Saglam and E. Bilgili, 2007b.** Canopy fuel characteristics and fuel load in young black pine trees. *Biotechnology and Biotechnological Equipment* 21(2): 235-240.
- Kucuk, O. and E. Bilgili. 2008.** Crown fuel characteristics and fuel load estimates in young Calabrian pine (*Pinus brutia* Ten.) stands in northwestern Turkey. *Fresenius Environmental Bulletin*. 17: 2226-2231.
- Kucuk, O., E. Bilgili and B. Saglam, 2008.** Estimating crown fuel loading for Calabrian pine and Anatolian black pine. *International Journal of Wildland Fire*. 17(1): 147-154.
- Lehtonen, A., R. Mäkipää, J. Heikkinen, R. Sievänen and J. Liski, 2004.** Biomass expansion factors (BEFs) for Scots pine, Norway spruce and birch according to stand age for boreal forests. *Forest Ecology and Management*. 188: 211-224.
- Levy, P. E., S. E. Hale and B. C. Nicoll, 2004.** Biomass expansion factors and root: shoot ratios for coniferous tree species in Great Britain. *Forestry*. 77: 421-430.
- Marklund, L. G., 1987.** Biomass functions for Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) in Sweden. *Sveriges Lantbruksuniversitet Rapport- Skog*. 43: 1-127.
- Marklund, L. G., 1988.** Biomassfunktioner för tall, gran och björk i Sverige. *Sveriges Lantbruksuniversitet Rapport- Skog*. 45: 1-73.
- Mikšys, V., I. Varnagiryte-Kabasinskiene, I. Stupak, K. Armolaitis, M. Kukkola and J. Wójcik, 2007.** Above-ground biomass functions for Scots pine in Lithuania. *Biomass and Bioenergy*. 31: 685-692.
- Muukkonen, P., 2007.** Generalized allometric volume and biomass equations for some European tree species in Europe. *European Journal of Forest Research*. 126: 157-166.
- NOAA/ESRL, 2011.** Dr. Pieter Tans, NOAA/ESRL [www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends](http://www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends). Ziyaret tarihi: 10 /01/ 2012).
- NIR Austria, 2007.** National Greenhouse Gas

- Inventory Report of Austria, NIR, (Reported Inventory 2005). Available at: [http://unfccc.int/national\\_reports/annex\\_i\\_ghginventories/national\\_inventories\\_submissions/items/3929.php](http://unfccc.int/national_reports/annex_i_ghginventories/national_inventories_submissions/items/3929.php). (Ziyaret tarihi: 10 /01/ 2012).
- NIR Croatia, 2007.** National Greenhouse Gas Inventory Report of the Croatia, NIR, (Reported Inventory 2005). Available at: [http://unfccc.int/national\\_reports/annex\\_i\\_ghg\\_inventories/national\\_inventories\\_submissions/items/3929.php](http://unfccc.int/national_reports/annex_i_ghg_inventories/national_inventories_submissions/items/3929.php). (Ziyaret tarihi: 10 /01/ 2012).
- NIR Czech Republic, 2007.** National Greenhouse Gas Inventory Report of the Czech Republic, NIR, (Reported Inventory 2005). Available at: [http://unfccc.int/national\\_reports/annex\\_i\\_ghg\\_inventories/national\\_inventories\\_submissions/items/3929.php](http://unfccc.int/national_reports/annex_i_ghg_inventories/national_inventories_submissions/items/3929.php). (Ziyaret tarihi: 10 /01/ 2012).
- NIR Estonia, 2007.** National Greenhouse Gas Inventory Report of the Estonia, NIR, (Reported Inventory 2005). Available at: [http://unfccc.int/national\\_reports/annex\\_i\\_ghg\\_inventories/national\\_inventories\\_submissions/items/3929.php](http://unfccc.int/national_reports/annex_i_ghg_inventories/national_inventories_submissions/items/3929.php). (Ziyaret tarihi: 10 /01/ 2012).
- NIR Slovenia, 2007.** National Greenhouse Gas Inventory Report of the Slovenia, NIR, (Reported Inventory 2005). Available at: [http://unfccc.int/national\\_reports/annex\\_i\\_ghg\\_inventories/national\\_inventories\\_submissions/items/3929.php](http://unfccc.int/national_reports/annex_i_ghg_inventories/national_inventories_submissions/items/3929.php). (Ziyaret tarihi: 10 /01/ 2012).
- NIR Switzerland, 2007.** National Greenhouse Gas Inventory Report of Switzerland, NIR, (Reported Inventory 2005). Available at: [http://unfccc.int/national\\_reports/annex\\_i\\_ghg\\_inventories/national\\_inventories\\_submissions/items/3929.php](http://unfccc.int/national_reports/annex_i_ghg_inventories/national_inventories_submissions/items/3929.php). (Ziyaret tarihi: 10 /01/ 2012).
- NIR Turkey, 2007.** National Greenhouse Gas Inventory Report of the Turkey, NIR, (Reported Inventory 2005). Available at: [http://unfccc.int/national\\_reports/annex\\_i\\_ghg\\_inventories/national\\_inventories\\_submissions/items/3929.php](http://unfccc.int/national_reports/annex_i_ghg_inventories/national_inventories_submissions/items/3929.php). (Ziyaret tarihi: 10 /01/ 2012).
- Onyekwelu, J.C., 2004.** Above-ground biomass production and biomass equations for even-aged *Gmelina arborea* (ROXB) plantations in south-western Nigeria. *Biomass and Bioenergy*. 26: 39-46.
- Onyekwelu, J.C., 2007.** Growth, biomass yield and biomass functions for plantation-grown *Nauclea diderrichii* (de wild) in the humid tropical rainforest zone of south-western Nigeria. *Bioresource Technology*. 98: 2679-2687.
- Özkaya, S., 2004.** Artvin-Genya Dağı Yöresi Doğu Ladini (*Picea orientalis* (L.) Link.) Ormanlarında Toprak Üstü Biyokütlenin Belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Kafkas Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü 62 s.
- Peichl, M. and M. A. Arain, 2007.** Allometry and partitioning of above- and belowground tree biomass in an age-sequence of white pine forests. *Forest Ecology and Management*. 253: 68-80 (2007).
- Pilli, R., T. Anfodillo and M. Carrer, 2006.** Towards a functional and simplified allometry for estimating forest biomass. *Forest Ecology and Management*. 237: 583-593.
- Repola, J., O. Risto and M. Kukkola, 2007.** Biomass functions for Scots pine, Norway spruce and birch in Finland. Working Papers of the Finnish Forest Research Institute, Available at: <http://www.metla.fi/julkaisut/workingpapers/2007/mwp053.htm>. (Ziyaret tarihi: 23 /01/ 2010 ).
- Sabaté, S., C. Gracia, J. Vayreda and J. Ibáñez, 2006.** Differences among species in aboveground biomass expansion factors in Mediterranean forests. Working paper, Center for Ecological Research and Forestry Applications (CREAF), Universitat Autònoma de Barcelona, Spain. Available at: [http://www.ub.es/ecolo/personal/carlosgracia/Publicaciones/PDF/BEF\\_Paper\\_FEM\\_f.pdf](http://www.ub.es/ecolo/personal/carlosgracia/Publicaciones/PDF/BEF_Paper_FEM_f.pdf)(Ziyaret tarihi: 23 /01/ 2010 ).
- Saglam, B., E. Bilgili, O. Kucuk, B. and Dinc Durmaz, 2008a.** Fire behavior in Mediterranean shrub species (maquis). *African Journal of Biotechnology*. 7: 4122-4129.
- Saglam B, O. Kucuk, E. Bilgili, B. Dinc Durmaz and I. Baysal, 2008b.** Estimating fuel biomass of some shrub (maquis) species in Turkey. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*. 32(4): 349-356.
- Saraçoğlu, N., 1998.** Kayın (*Fagus orientalis* Lipsky) biyokütle tabloları. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*. 22: 93-100 (1998).
- Saraçoğlu, N., 2000.** Sakallı Kızılağaç (*Alnus glutinosa* (L.) Gaertn subsp. *barbata* (C.A. Mey.) Yalt.) biyokütle tabloları. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*. 24: 147-156.
- Schroeder, P., S. Brown, J. Mo, R. Birdsey and C. Cieszewski, 1997.** Biomass estimation for temperate broadleaf forests of the United States using inventory data. *Forest Science*. 43: 424-

- 434.
- Somogyi, Z., E. Cienciala, R. Mäkipää, P. Muukkonen, A. Lehtonen and P. Weiss, 2006.** Indirect methods of large-scale forest biomass estimation. *European Journal of Forest Research*. 126: 197–207.
- Sun, O., S. Uğurlu and E. Özer, 1980.** Kızılcım (*Pinus brutia* Ten.) türüne ait biyolojik kütlelerin saptanması. Ormancılık Araştırma Enstitüsü Yayınları, 104, 32 s.
- Teobaldelli, M., Z. Somogyi, M. Migliavacca and V. A. Usoltsev, 2009.** Generalized functions of biomass expansion factors for conifers and broadleaved by stand age, growing stock and site index. *Forest Ecology and Management*. 257: 1004–1013.
- Ter-Mikaelian, M. T. and M. D. Korzukhin, 1997.** Biomass equations for sixty-five North American tree species. *Forest Ecology and Management*. 97: 1-24.
- Tolunay, D., 1997.** Aladağ'da (Bolu) Sıklık Çağındaki Sarıçam (*Pinus sylvestris* L.) Meşcerelerinde Bakımların Madde Dolaşımına Etkileri. Doktora Tezi. İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü 213 s.
- Tolunay, D., 2011.** Total carbon stock and carbon accumulation in living tree biomass in forest ecosystems of Turkey. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*. 35: 265-279.
- Uğurlu, S., B. Araslı and O. Sun, 1976.** Stebe geçiş yörelerindeki sarıçam meşcerelerinde biyolojik kütlelerin saptanması. Ormancılık Araştırma Enstitüsü Yayınları, 80, 48 s.
- Ünsal, A., 2007.** Adana Orman Bölge Müdürlüğü Karaisalı Orman İşletme Müdürlüğü Kızılcım Biyokütle Tablolarının Düzenlenmesi. Yüksek Lisans Tezi. Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 51 s.
- Vande Walle, I., N. Van Camp, D. Perrin, R. Lemeur, K. Verheyen, B. Van Wesemael and E. Laitat, 2005.** Growing stock-based assessment of the carbon stock in the Belgian forest biomass. *Ann. For. Sci.*, 62: 853-864.
- Xiao, C. W. and R. Ceulemans, 2004.** Allometric relationships for below- and aboveground biomass of young Scots pines. *Forest Ecology and Management*. 203: 177-186.
- Zianis, D., 2008.** Predicting mean aboveground forest biomass and its associated variance. *Forest Ecology and Management*. 256: 1400-1407.
- Zianis, D., P. Muukkonen, R. Mäkipää and M. Mencuccini, 2005.** Biomass and stem volume equations for tree species in Europe. *Silva Fenn. Monographs*, 4, 63 p.

