



II. ULUSAL AKDENİZ ORMAN VE ÇEVRE SEMPOZYUMU

“Akdeniz ormanlarının geleceği: Sürdürülebilir toplum ve çevre”
22-24 Ekim 2014 - Isparta

Türkiye’deki Bitkisel Kütle Çalışmalarının Değerlendirilmesi

Servet PEHLİVAN

İstanbul Üniversitesi, Orman Fakültesi, Toprak İlimi ve Ekoloji Anabilim Dalı, İstanbul
İletişim yazarı: servet.pehlivan@istanbul.edu.tr

Özet

Ormanlar atmosferdeki CO₂'i bağlayan en önemli ekosistemlerdir. Aynı zamanda ormansızlaşma adı verilen süreç ile de ormanlar CO₂ emisyon kaynağı da olabilmektedir. Bu nedenle ormanların depoladıkları ya da yıllık olarak biriktirdikleri karbon miktarlarının belirlenmesi son yıllarda büyük önem kazanmıştır. Kyoto Protokolüne göre Ek 1 listesinde yer alan ülkeler her yıl düzenli olarak ormanlarda biriktirilen karbon miktarı ile diğer sektörlerden (tarım, endüstri, atık vb.) salınan karbon miktarlarını Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi (BMİDÇS) Sekretaryasına sunmak zorundadır. Ülkemiz de 2006 yılından beri Ulusal Sera Gazı Envanteri olarak adlandırılan raporu BMİDÇS’ne göndermektedir. Ormanlarda ağaçlarda depolanan ya da yıllık olarak biriktirilen karbon miktarının hesaplanabilmesi için ağaçların bitkisel kütlelerinin belirlenmesi gerekmektedir. Ülkemizde bitkisel kütle ile ilgili çalışmalar 1970’li yıllarda başlamıştır. Ancak bu çalışmalar uzun yıllar ihmal edilmiş olup, son 10 yılda tekrar yoğun bir şekilde araştırılmaya başlanmıştır. Bu çalışmada amaç, günümüze kadar, Türkiye’de orman ekosistemlerinin sahip olduğu bitkisel kütleyi tahmin etmeye yönelik olarak yapılmış olan araştırmaların genel bir değerlendirmesini yaparak eksikliklerin ortaya konulması ve bundan sonra yapılacak araştırmalar için önerilerde bulunulmasıdır.

Anahtar Kelimeler: Bitkisel kütle denklemleri, Bitkisel kütle genişletme faktörü, Orman, LULUCF, Türkiye

Review of Biomass Studies in Turkey

Abstract

Forests are the most important ecosystems that bind the CO₂ in the atmosphere. At the same time with a process called deforestation, forests may be a source of CO₂ emissions as well. Therefore, the determination of annual or stored amount of carbon accumulated by forests have gained importance in recent years. According to Kyoto Protocol, the countries in Annex have to annually report their accumulated amount of carbon by the forests and the carbon by other sectors (agriculture, industry, waste, etc.) to the United Nations Climate Change Framework Convention (UNFCCC) Secretariat. Our country is sending, the National Greenhouse Gas Inventory report since 2006 to the UNFCCC.

For the calculations of the amount of carbon that stored in trees in the forests or on an annual basis, the biomass of trees should be determined. Studies on biomass in our country began in the 1970s. However, this field of study has been neglected for many years, but has begun to be explored intensively again for the last decade.

The aim of the study is to evaluate the former researches in order to estimate the biomass of forest ecosystems in Turkey; determining the gaps of them; thereafter, provide suggestions for the future researches.

Keywords: Biomass equations, Biomass expansion factor, Forest, LULUCF, Turkey

1. GİRİŞ

Küresel iklim değişikliğinin giderek önem kazanması ve ormanların da atmosferdeki karbonun depolandığı en önemli havuzlar arasında yer alması bitkisel kütle çalışmalarının önemini arttırmıştır. Çünkü orman ekosistemindeki ağaçlar fotosentez yaparak atmosferdeki karbonun çeşitli ağaç bileşenlerinde (yaprak, dal, kabuk, gövde odunu, kök) depolanmasını sağlamaktadır. Dolayısıyla belli bir alandaki bitkisel kütlelerin fazla olması orada daha fazla karbon depolandığı anlamına gelmektedir.

Orman ekosistemleri, karasal ekosistemlerin dışında kalan kısmının en geniş parçasını oluşturmaktadır. Orman ağaçları da bu ekosistemlerin en önemli parçasıdır ve canlı bitkisel kütlelerin en büyük bölümünü bünyelerinde barındırmaktadırlar. Dünya ormanlarının sahip olduğu toplam bitkisel kütle 677 petagramdır ve bunun yaklaşık %80'i orman ağaçlarının bünyesinde (Lorenz ve Lal, 2010).

Bitkisel kütle miktarı diğer yandan ormanların verimliliği için bir göstere olarak da kabul edilmektedir. Belirli bir zamanda fotosentez ile üretilen ve solunum ile kaybedilen organik madde arasındaki farkın (net özümlemenin) yüksek olması o ekosistemdeki verimliliğin yüksek olduğunun göstergesi olarak kabul edilmektedir (Çepel, 1976). Ancak ülkemizde ve çoğu ülkede odun üretimi odaklı yaklaşımlar nedeniyle ormanlardaki verimlilik çoğu zaman gövde odunu üzerinden değerlendirilmektedir. Bu değerlendirmede de ölçü olarak genel olarak hacim üzerinden yapılmaktadır. Belirli bir alandaki canlıların kitlesi olan bitkisel kütle ise ağırlık üzerinden hesaplanmaktadır ve gövde odunu haricindeki diğer ağaç bileşenlerini de içermektedir. Orman ekosistemlerindeki bitkisel kütle ağaçlar yanında ağaççık, çalı ve otsu türlerin de kütlelerini içermektedir. Ancak ağaçların kütlelerinin belirlenmesi diri örtü bileşenlerine göre daha kolaydır ve ormandaki bitkisel kütlelerin önemli bir kısmı ağaçlardadır. Bu nedenle bitkisel kütle çalışmalarında ağaçların kütlelerinin belirlenmesine odaklanılmaktadır. Bitkisel kütlelerin belirlenmesi orman ekosistemlerindeki madde ve enerji değişim ve dönüşüm olaylarının değerlendirilmesi açısından da önemlidir.

Kyoto Protokolü'nün Ek-1 listesinde yer alan ülkeler ulusal sera gazı salımlarını ve atmosferden alınarak bağladıkları CO₂ miktarlarını düzenli olarak Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi (BMİDÇS) Sekretaryasına bildirmekle yükümlüdür. Ulusal sera gazları envanteri Hükümetler Arası İklim Değişikliği Paneli (IPCC) tarafından hazırlanan Arazi Kullanımı ile Arazi Kullanımındaki Değişiklikler ve Ormancılık Rehberine (LULUCF) göre hazırlanmaktadır. Ancak 2013 yılından itibaren ise Tarım Ormancılık ve Diğer Arazi Kullanım Rehberinin (AFOLU) kullanımına geçilecektir. Her iki rehberde de temel yaklaşım çeşitli katsayılar kullanılarak hacim olarak belirlenen ağaç serveti ve artım değerlerini önce bitkisel kütleyle daha sonra ise bu bitkisel kütledeki C miktarına dönüştürmektir (Tolunay, 2013). Bu nedenle ulusal sera gazları envanterini etkin ve gerçekçi bir şekilde hazırlayabilmek için ormanlarda fotosentez yoluyla üretilen bitkisel kütleyle doğru hesaplamak oldukça önemlidir.

Kuzey Avrupa ülkeleri başta olmak üzere Dünya'nın pek çok yerinde uzun zamandır bitkisel kütle çalışmaları yapılmaktadır. Bu çalışmalarda ağaç serveti ve artımın belirlenmesinde olduğu üzere genellikle çap ve boyun kullanıldığı denklemler geliştirilmektedir. Ülkemizde ise bitkisel kütle çalışmaları oldukça azdır. Bu çalışma ile günümüze kadar yapılmış bitkisel kütle çalışmaları değerlendirilmiş ve daha sağlıklı çalışmalar yapılabilmesi için öneriler sıralanmıştır.

2. TÜRKİYE'DE BİTKİSEL KÜTLE ÇALIŞMALARININ GELİŞİMİ

Ülkemizde ilk bitkisel kütle çalışmaları Uğurlu ve ark. (1976) ile Sun ve ark. (1980) tarafından gerçekleştirilmiştir. Sırasıyla sarıçam ve kızılçam türlerinde gerçekleştirilen bu çalışmalarda örneklenen ağaç sayıları da oldukça düşüktür (Tablo 1). Daha sonra yaklaşık 20 yıl kadar bir süre bitkisel kütle tahmin etmeye yönelik çalışma yapılmamış, 1990'lı yılların sonundan itibaren araştırma sayısında artış olmuştur. Bu çalışmalarda başlangıçta sadece belirli bir regresyon modelinin katsayılarının tahmin edilmesi ve mevcut verilere uygulanması şeklinde bitkisel kütle tahmin edecek modeller geliştirilmiştir. Ancak günümüzde, bilgisayar teknolojilerinin gelişmesine de bağlı olarak, farklı özellikteki birçok modeli deneyerek en uygun bitkisel kütle tahmin modelinin geliştirilmesi mümkün olmaktadır. Bunun yanında ilk dönem çalışmalar tek ağaçların kütlelerini tahmin etmek amacıyla güderken, artık birim alandaki toplam bitkisel kütle tahmini belirli değişkenlere bağlı olarak doğrudan tahmin edebilen bitkisel kütle denklemleri de geliştirilmektedir.

2.1. Bitkisel Kütle Denklemleri

Ülkemizde bitkisel kütle çalışmaları genellikle orman ağaçlarının topraküstü kütlelerinin belirlenmesine odaklanmıştır. Bu çalışmalarda arazide ağaçların kesilerek tartılması ile toprak üstü bitkisel kütle bileşenlerinin (dal, yaprak, kabuk, gövde odunu) her birinin kütlelerini ve toplam topraküstü kütle tahmini tek ağaç düzeyinde tahminde kullanılabilecek regresyon modelleri geliştirilmiştir (Tablo 1). Toprakaltı kütle olarak da adlandırılan köklerle ilgili çalışmalar ise köklerin sökülmesinin oldukça zor olması nedeniyle çok azdır. Bu konuda Adıyaman Doğan (2010) tarafından Düzce yöresi kayın meşcerelerinde ve Çömez (2010) tarafından Eskişehir-Sündiken yöresi sarıçam meşcerelerinde toprakaltı kütle tahmin etmeye yarayacak regresyon modelleri oluşturulmuştur (Tablo 1). Bazı araştırmalarda ise geliştirilen regresyon modelleri kullanılarak bitkisel kütle tabloları hazırlanmıştır (Durkaya, 1998; Saraçoğlu, 1998; İkinci, 2000; Saraçoğlu, 2000; Ünsal, 2007; Atmaca, 2008; Çakıl, 2008; Aydın, 2010; Ülker, 2010; Ülküdür, 2010; Karabürk, 2011). Tek ağaç düzeyinde geliştirilen bitkisel kütle modelleri yanında sınırlı sayıda araştırmada birim alandaki toplam bitkisel kütle tahmin etmeye yarayan modeller de geliştirilmiştir (Tablo 2).

Gerek tek ağaç gerekse birim alan düzeyinde geliştirilmiş bitkisel kütle modellerinde en sık kullanılan regresyon modeli Lineer formdaki modeldir. Lineer regresyon modelleri parametrelerinin hesaplanması görece kolay olduğu için araştırmacılar tarafından çokça tercih edilmektedirler. Ancak bu modeller geçerli oldukları varyasyon genişliğinin dışındaki tahminleri enterpolasyon yoluyla yaptıklarından hatalı sonuçlar verebilmektedirler. Burada en sık ortaya çıkan sorun düşük çap ve boy basamaklarında düşük, hatta negatif, yüksek çap ve boy basamaklarında ise oldukça yüksek tahminlerin görülmesidir. Ancak son yıllardaki çalışmalarda, bu tarz hataları azaltabilmek için, Üs fonksiyonlar da kullanılmaya başlanmıştır.

Bitkisel kütle denklemlerinde bağımsız değişken olarak en çok göğüs çapı ve boy tercih edilmektedir. Çünkü arazi çalışmaları sırasında ölçümü en kolay olan değişkenler bunlardır. Ancak bazı çalışmalarda bu iki değişkenden türetilen göğüs çapının karesi x boy (d^2h) değişkeni de bağımsız değişken olarak kullanılmakta ve istatistiksel olarak daha anlamlı sonuçlar verdiği görülmektedir. Bunun yanında Sun ve ark. (1980) kızılçam için tek ağaç bazında geliştirdikleri bitkisel kütle modelinde yaş da bir bağımsız değişken olarak değerlendirilmiş ve oldukça yüksek açıklayıcılığa sahip çok girişli (çap, boy ve yaş) bir model geliştirilmiştir. Ayrıca bazı çalışmalarda gövde odunu hacminin de bağımsız değişken olduğu regresyon denklemleri oluşturulmuştur (Çömez, 2010; Tolunay 2012). Bunlara ek olarak

II. Ulusal Akdeniz Orman ve Çevre Sempozyumu

Tolunay (2009) tarafından tek ağaç düzeyinde ağaç bileşenlerindeki karbon miktarlarını doğrudan tahmin etmede kullanılabilecek denklemler de geliştirilmiştir.

Tablo 1. Tek ağaç bazında geliştirilen bitkisel kütle modelleri

| Tür | Çalışma Alanı | Örnek Sayısı | Çap Aralığı (cm) | Model | Kaynak |
|------------------------------|---------------------|--------------|------------------|------------------------------|------------------------|
| <i>Pinus sylvestris</i> | Ankara-Kızılcahamam | 10 | 19,5-31,0 | Lineer (Tek ve Çift Girişli) | Uğurlu ve ark., 1976 |
| <i>Pinus sylvestris</i> | Erzurum | 33 | 17,0-66,0 | Lineer (Tek ve Çift Girişli) | Atmaca, 2008 |
| <i>Pinus sylvestris</i> | Artvin | 46 | 10,0-50,0 | Lineer (Tek Girişli) | Aydın, 2010 |
| <i>Pinus sylvestris</i> | Amasya | 50 | 10,0-46,0 | Lineer (Tek Girişli) | Ülker, 2010 |
| <i>Pinus sylvestris</i> | Eskişehir-Sündiken | 55 | 7,1-63,2 | Üs (Çift Girişli) | Çömez, 2010 |
| <i>Pinus sylvestris</i> | Karadeniz Bölgesi | 171 | 4,0-68,0 | Lineer (Tek Girişli) | Yavuz ve ark., 2010 |
| <i>Pinus sylvestris</i> | Bolu-Aladağ | 13 | 6,1-10,9 | Üs (Çift Girişli) | Tolunay, 2012 |
| <i>Pinus brutia</i> | Antalya | 27 | 9,0-39,8 | Üs (Tek ve Çok Girişli) | Sun ve ark., 1980 |
| <i>Pinus brutia</i> | Adana | 33 | 8,0-52,0 | Üs (Tek Girişli) | Ünsal, 2007 |
| <i>Pinus nigra</i> | Zonguldak | 44 | 12,0-60,0 | Lineer (Tek ve Çift Girişli) | Çakıl, 2008 |
| <i>Picea orientalis</i> | Artvin | 30 | 20,0-52,0 | Üs(Tek Girişli) | Özkaya, 2004 |
| <i>Abies bornmuelleriana</i> | Bartın | 34 | 7,0-56,0 | Lineer (Tek ve Çift Girişli) | Karabürk, 2011 |
| <i>Cedrus libani</i> | Antalya | 36 | 10,0-46,0 | Lineer (Tek ve Çift Girişli) | Ülküdür, 2010 |
| <i>Quercus sp.</i> | Zonguldak | 32 | 10,0-31,0 | Lineer (Tek Girişli) | Durkaya, 1998 |
| <i>Quercus sp.</i> | Kuzey Trakya | 310 | 7,0-38,5 | Üs (Tek ve Çok Girişli) | Makineci ve ark., 2011 |
| <i>Fagus orientalis</i> | Doğu Karadeniz | 32 | 11,0-46,0 | Lineer (Tek Girişli) | Saraçoğlu, 1998 |
| <i>Fagus orientalis</i> | | 11 | 8,6-16,0 | | Makineci ve ark., 2011 |
| <i>Fagus orientalis</i> | Düzce | 30 | 15,0-42,0 | Lineer (Tek Girişli) | Adıyaman Doğan, 2010 |
| <i>Castanea sativa</i> | | 34 | 15,0-37,0 | | İkinci, 2000 |
| <i>Alnus glutinosa</i> | Doğu Karadeniz | 86 | 7,0-30,0 | Lineer (Çift Girişli) | Saraçoğlu, 2000 |
| <i>Robinia pseudoacacia</i> | | 12 | 7,0-15,0 | | Güner ve Ark, 2010 |
| <i>Carpinus sp.</i> | | 12 | 6,9-20,4 | | Makineci ve ark., 2011 |
| <i>Sorbus sp.</i> | | 12 | 7,1-23,4 | | Makineci ve ark., 2011 |

Tablo 2. Birim alan bazında geliştirilen bitkisel kütle modelleri

| Tür | Çalışma Alanı | Model | Kaynak |
|------------------------------|--------------------|--|-------------------|
| <i>Pinus sylvestris</i> | Erzurum | Lineer (Tek Girişli) Logaritmik (Çift Girişli) | Atmaca, 2008 |
| <i>Pinus sylvestris</i> | Eskişehir-Sündiken | Üs (Tek Girişli)* | Çömez, 2010 |
| <i>Pinus brutia</i> | Antalya | Üs (Tek Girişli) | Sun ve ark., 1980 |
| <i>Pinus brutia</i> | Adana | Logaritmik (Tek Girişli) | Ünsal, 2007 |
| <i>Pinus nigra</i> | Zonguldak | Lineer (Tek ve Çift Girişli) | Çakıl, 2008 |
| <i>Abies bornmuelleriana</i> | Bartın | Lineer (Tek Girişli)* | Karabürk, 2011 |
| <i>Cedrus libani</i> | Antalya | Lineer (Tek ve Çift Girişli) | Ülküdür, 2010 |
| <i>Quercus sp.</i> | Zonguldak | Logaritmik (Tek Girişli) | Durkaya, 1998 |

* Bağımsız değişken olarak hacmi (V) kullanmıştır.

Tablo 1’de görülen ağaç türlerimizin dışında bazı çalı türlerimiz için de bitkisel kütle çalışmaları yapılmıştır. Lim (2012) Toroslar’ın iç kesimlerindeki bazı makilik alanlarda ve Sağlam ve ark. (2008) yanıcı madde miktarı belirlemek amacıyla bazı maki türlerinde ve Bilgili ve ark. (2009) yine yanıcı madde miktarı belirlemek amacıyla kızılçamda bitkisel kütleli belirlemeye yönelik araştırmalar yapmışlardır.

Çömez (2010) yaptığı çalışmada kök dahil tüm ağaç bileşenlerinin kütlelerini meşcere düzeyinde tahmin etmeye çalışmış ve birim alandaki bitkisel kütle ile meşcerenin toplam dikili kabuklu gövde hacmi arasında anlamlı ilişkiler bulmuştur. Tablo 2’de görülen diğer çalışmalarda da yine birim alandaki bitkisel kütleli tahmin etmeye yönelik modeller geliştirilmiştir. Ancak bu araştırmalarda dikili kabuklu gövde hacmi yerine meşcere orta çapı, meşcere boyu, yaş gibi değişkenlerle bitkisel kütle arasındaki ilişki modellenmiştir.

Bitkisel kütleli bonitet ve meşcere tipleri bakımından inceleyen çalışmalar da bulunmaktadır. Bunlardan Çömez (2010) tarafından sarıçam, Makineci ve ark. (2011) tarafından ise meşe ormanlarında yapılan çalışmalarda meşcere tiplerine göre bitkisel kütledeki değişim ortaya konulmuştur Karabürk (2011) tarafından ise göknar meşcerelerinde yapılan çalışmada her bonitet sınıfı için ayrı ayrı bitkisel kütle tabloları oluşturulmuştur. Bunların dışında Çömez (2010) Eskişehir-Sündiken yöresinde fidanlık çağındaki (a gelişim çağı) sarıçam meşcerelerinin ve Tolunay (2012) Bolu-Aladağ yöresi sarıçam meşcerelerinde ince çaplı (6,1-10,9 cm) bireylerin (ab gelişim çağı) kütlelerini belirlemede kullanılacak bitkisel kütle modelleri ile BGF katsayılarını geliştirmiştir.

Ülkemizde günümüze kadar yapılan çalışmalarda 582 iğne yapraklı ve 571 geniş yapraklı ormana ağaç türünden ağaç kesilmiştir. Bu çalışmaların tamamı verimli orman olarak nitelendirilen alanlarda gerçekleştirilmiştir. Yine çalışmaların büyük bir çoğunluğu saf meşcerelerde yapılmıştır.

2.2 Bitkisel Kütle Katsayıları

Bitkisel kütleli tahmininde sadece regresyon modellerinden yararlanmak söz konusu değildir. Özellikle orman envanterlerinde gövde odunu hacminin belirlenmesi durumunda önce gövde odunu hacminin kütleli dönüştürülmesi gerekmektedir. Bu işlem gövde odunu hacim ağırlığı olarak adlandırılan katsayılarla yapılmaktadır. Daha sonra Bitkisel Kütle Genişletme Faktörü (BGF) olarak adlandırılan katsayılar kullanılarak gövde odunu kütleli topraküstü kütleli genişletilmektedir. Bu yöntem çoğunlukla geniş alanlarda ya da ülke

II. Ulusal Akdeniz Orman ve Çevre Sempozyumu

düzeyinde veri olarak sadece gövde odunu hacminin bulunduğu durumlarda kullanılmaktadır. Ulusal sera gazları envanterinin hazırlanması sırasında ormanlarda biriktirilen karbon miktarının hesaplanmasında çoğu ülke bu yöntemi kullanmaktadır. Ülkemizde bu konuda yapılmış çalışmalar da oldukça azdır. BGF katsayıları ilk olarak Prof. Dr. Ünal Asan tarafından Uğurlu ve ark. (1976), Sun ve ark. (1980), Saraçoğlu (1998), Durkaya (1998), Saraçoğlu (2000) ve İkinci (2000) tarafından yapılan bitkisel kütle çalışmalarının yeniden değerlendirilmesiyle oluşturulmuştur (ÇOB, 2006). Asan tarafından gövde odunu hacim ağırlığı ve BGF katsayıları sırasıyla ibreliler için 0,496 t/m³ ve 1,22; yapraklılar için 0,638 t/m³ ve 1,24 olarak hesaplanmıştır (ÇOB, 2006). Daha sonra Çömez (2010) ve Tolunay (2012) tarafından sarıçam meşcerelerinde BGF katsayılarının belirlendiği araştırmalar yapılmıştır. Ülkemizdeki bitkisel kütle çalışmalarının artması sonucunda ülke düzeyinde kullanılabilecek BGF katsayıları mevcut çalışmaların yeniden değerlendirilmesi ile tür düzeyinde oluşturulmuştur (Tolunay, 2009 ve 2013) (Tablo 3).

Tablo 3. Bazı Ağaç Türlerimiz İçin Geliştirilen Bitkisel Kütle Dönüştürme ve Genişletme Katsayıları (Tolunay, 2013)

| Ağaç Türü | Hacim Ağırlığı* | BGF ₁ ** | BGF ₂ *** | BGF _{yaprak} **** | BGF _{dal} ***** | Hesaplamada Yararlanılan Kaynak |
|-------------------------|-----------------|---------------------|----------------------|----------------------------|--------------------------|---------------------------------|
| <i>Pinus sylvestris</i> | 0,426 | 1,242±0,092 | 1,254±0,088 | 0,063±0,025 | 0,179±0,073 | Uğurlu ve Ark., 1976 |
| <i>Pinus sylvestris</i> | 0,426 | 1,198±0,032 | 1,239±0,113 | 0,071±0,023 | 0,127±0,021 | Atmaca, 2008 |
| <i>Pinus sylvestris</i> | 0,426 | 1,324±0,224 | 1,318±0,164 | 0,126±0,112 | 0,198±0,137 | Aydın, 2010 |
| <i>Pinus sylvestris</i> | 0,426 | 1,159±0,176 | 1,192±0,101 | 0,091±0,149 | 0,068±0,051 | Ülker, 2010 |
| <i>Pinus sylvestris</i> | 0,426 | 1,279±0,106 | 1,266±0,082 | 0,062±0,029 | 0,207±0,087 | Çömez, 2010 |
| <i>Pinus sylvestris</i> | 0,426 | 1,263±0,050 | 1,459±0,036 | 0,085±0,019 | 0,178±0,040 | Tolunay; 2012 |
| Ağırlıklı Ortalama | | 1,247±0,154 | 1,265±0,128 | 0,085±0,091 | 0,162±0,098 | |
| <i>Pinus brutia</i> | 0,478 | 1,225±0,062 | 1,251±0,098 | 0,038±0,017 | 0,187±0,049 | Sun ve Ark., 1980 |
| <i>Pinus brutia</i> | 0,478 | 1,349±0,022 | 1,384±0,112 | 0,112±0,044 | 0,237±0,023 | Ünsal, 2007 |
| Ağırlıklı Ortalama | | 1,319±0,064 | 1,329±0,109 | 0,094±0,051 | 0,225±0,038 | |
| <i>Pinus nigra</i> | 0,470 | 1,071±0,026 | 1,180±0,087 | 0,011±0,005 | 0,060±0,023 | Çakıl, 2008 |
| <i>Picea orientalis</i> | 0,358 | 1,132±0,009 | 1,203±0,026 | 0,052±0,003 | 0,080±0,005 | Özkaya, 2004 |
| <i>Abies sp.</i> | 0,350 | 1,345±0,069 | 1,350±0,102 | 0,121±0,033 | 0,224±0,040 | Karabürk, 2011 |
| <i>Cedrus libani</i> | 0,430 | 1,300±0,055 | 1,337±0,052 | 0,080±0,042 | 0,220±0,049 | Ülküdür, 2010 |
| <i>Quercus sp.</i> | 0,570 | 1,324±0,157 | 1,378±0,051 | 0,094±0,047 | 0,230±0,130 | Durkaya, 1998 |
| <i>Quercus sp.</i> | 0,570 | 1,322±0,195 | 1,366±0,87 | 0,079±0,076 | 0,243±0,154 | Makineci ve Ark., 2011 |
| Ağırlıklı Ortalama | | 1,322±0,192 | 1,367±0,085 | 0,080±0,073 | 0,242±0,152 | |
| <i>Fagus orientalis</i> | 0,530 | 1,228±0,080 | 1,257±0,071 | 0,021±0,007 | 0,177±0,058 | Saraçoğlu, 2000 |
| <i>Fagus orientalis</i> | 0,530 | 1,556±0,166 | 1,576±0,060 | 0,234±0,115 | 0,321±0,084 | Makineci ve Ark., 2011 |
| Ağırlıklı Ortalama | | 1,305±0,174 | 1,303±0,119 | 0,071±0,106 | 0,234±0,089 | |
| <i>Castanea sativa</i> | 0,480 | 1,320±0,068 | 1,334±0,087 | 0,020±0,005 | 0,300±0,066 | İkinci, 2000 |

| Ağaç Türü | Hacim Ağırlığı* | BGF ₁ ** | BGF ₂ *** | BGF _{yaprak} **** | BGF _{dal} ***** | Hesaplamada Yararlanılan Kaynak |
|-----------------------------|-----------------|---------------------|----------------------|----------------------------|--------------------------|---------------------------------|
| <i>Alnus glutinosa</i> | 0,407 | 1,103±0,051 | | 0,030±0,018 | 0,073±0,037 | Saraçoğlu, 1998 |
| <i>Robinia pseudoacacia</i> | 0,680 | 1,315±0,085 | | 0,091±0,025 | 0,224±0,071 | Güner ve Ark, 2010 |
| <i>Carpinus sp.</i> | 0,630 | 1,482±0,193 | | 0,145±0,082 | 0,337±0,160 | Makineci ve Ark., 2011 |
| <i>Sorbus sp.</i> | 0,550 | 1,338±0,185 | | 0,089±0,041 | 0,249±0,182 | Makineci ve Ark., 2011 |

*Gövde odunun birim hacimdeki ağırlığı (ton/m³)

** Yıllık net hacim artımından (kabuk dahil) kaynaklanan odun kütlesi artımını topraküstü kütleye genişletme katsayısı (Boyutsuz)

*** Kullanılabilir kabuklu gövde odunu kütlesini topraküstü kütleye genişletme katsayısı (Boyutsuz)

**** Yıllık net hacim artımından (kabuk dahil) kaynaklanan odun kütlesi artımını yaprak kütlesine genişletme katsayısı (Boyutsuz)

***** Yıllık net hacim artımından (kabuk dahil) kaynaklanan odun kütlesi artımını dal kütlesine genişletme katsayısı (Boyutsuz)

3. BİTKİSEL KÜTLE TAHMİN MODELLERİ İÇİN ÖNERİLER

Orman ekosistemlerinin sahip olduğu bitkisel kütleyi doğru bir şekilde tahmin etmek, özellikle küresel ısınma ve iklim değişikliğinin oldukça etkisini arttırdığı günümüzde, çok büyük önem kazanmıştır. Zira orman ekosistemleri, küresel ısınmanın en büyük etkenlerinden biri olan CO₂'i sahip oldukları bu bitkisel kütlede biriktirmektedirler. Bu bağlamda bundan sonra yapılacak çalışmalarda mutlaka eksiklikler göz önünde bulundurulmalı ve daha yoğun araştırmalar yapılmalıdır.

Öncelikle bugüne dek neredeyse hiç araştırılmamış olan toprakaltı bitkisel kütleyi doğrudan belirlemeye yönelik çalışmalar bir an önce gündeme alınmalıdır. Çünkü orman ekosistemleri topraküstü ve toprakaltıyla bir bütündür ve bu bütünlük bitkisel kütle çalışmalarında çok fazla dikkate alınmamıştır. Ancak uluslararası bazı çalışmalarda kök kütlesinin toplam bitkisel kütlede %18-45'i arasında değiştiği ifade edilmektedir (Varik ve ark., 2013).

Bilindiği gibi bitkisel kütle tahmin modellerinin ilgili ağaç türünün tüm kuruluşları için geçerli olduğu varsayılmaktadır. Oysa Çomez (2010) ve Makineci ve ark. (2011) yaptıkları çalışmalarda meşcere tiplerine göre bitkisel kütle değişimini incelemişler ve anlamlı farklar bulmuşlardır. Buradan da anlaşılacağı üzere bitkisel kütle modelleri herhangi bir ağaç türünün tüm meşcere tipleri yerine ilgilenilen alandaki tüm meşcere tipleri için ayrı ayrı geliştirilmelidir. Bu durum yetiştirme ortamı verim gücü (bonitet) sınıfları için de geçerlidir. Tolunay (2012) sarıçam için geliştirdiği bitkisel kütle modellerini ülkemizde ve yurtdışında geliştirilen diğer modellerle karşılaştırmış ve aynı çap için oldukça farklı topraküstü bitkisel kütle değerleri bulmuştur. Bu, aslında ekolojik koşullar değiştiğinde, aynı ağaç türünde bile, fotosentez yoluyla üretilen bitkisel kütle miktarının da değiştiğinin göstergesidir. Bu sorunu aşabilmek için mutlak suretle daha küçük alanlarda geçerli olan yerel modeller geliştirilmelidir. Meşcere düzeyinde de meşcere özellikleri ve yetiştirme ortamı koşulları için geçerli olacak denklemler oluşturulmalıdır. Bu denklemlerde bağımsız değişken olarak meşcere hacmi, ortalama çap ya da boy kullanılabilir. Ancak hangi bağımsız değişkenin kullanılması durumunda daha sağlıklı sonuçlar alınabileceğinin araştırılması gerekmektedir.

Ülkemizde yapılmış tüm bitkisel kütle çalışmaları ilgilenilen ağaç türünün saf meşcereleri için geçerlidir. Oysa karışık meşcereler bakımından oldukça zengin (hem yapışal, hem

alansal açıdan) olan ülkemizde bu meşcereler için de geçerli olabilecek modeller üretilmelidir. Zira dinamikleri bakımından saf meşcerelere göre oldukça farklı olan karışık meşcerelerin sahip oldukları bitkisel kütleyle mevcut modellerle açıklamaya çalışmak önemli bir hata kaynağı olabilir.

Bilindiği gibi bir meşcerede canlı ağaçların yanında ölü ağaçlar/odunlar, diri örtü, ölü örtü ve toprak gibi farklı karbon havuzları mevcuttur. Orman ekosistemlerindeki karbon stoklarının belirlenmesi çalışmalarında bu farklı karbon havuzlarında biriken karbon miktarlarının da hesaplanması gerekmektedir. Ancak ülkemizde bu konuda Tolunay (2004), Çömez (2010) ve Makineci ve ark. (2011) tarafından yapılan araştırmalar dışında başka bir çalışmaya rastlanmamıştır.

Bitkisel kütle tahmin modelleri daha çok Lineer formda oluşturulmaktadır. Ancak bu formdaki bitkisel kütle modelleri geçerli oldukları varyasyon genişliklerinin dışında tutarlı tahminler yapamamaktadırlar. Bitkisel kütledeki değişimi daha iyi temsil ettiği bazı çalışmalarla ortaya konulmuş olan Üs fonksiyonunun Lineer modeller yerine tercih edilmesi daha uygun olacaktır. Ayrıca bitkisel kütleyle sadece göğüs çapına göre tahmin eden modeller yerine, göğüs çapı ve boya göre tahmin eden modeller geliştirilmeli, hatta yaş değişkeni de mutlaka dikkate alınmalıdır. Bunun yanında gövde odunu hacmini (GOH) bağımsız değişken olarak kullanan ve bazı ağaç bileşenlerinde oldukça anlamlı ilişkiler bulan çalışmalar da mevcuttur (Çömez, 2010 ve Tolunay, 2012). Ek olarak ülkemizde yapılmaması da tepe boyu, tepe yüksekliği, tepe oranı gibi değişkenlerin de bitkisel kütle tahmin modellerinde bağımsız değişken olarak kullanıldığı çalışmalar da yapılmıştır (Onyekwelu, 2007).

Bitkisel kütle tahmin etmede yararlanılan bir diğer yöntem olan BGF katsayıları, gövde hacmine bağlı olarak hesaplandıklarından, gövde hacminin doğru biçimde tahmin edilmesi durumunda oldukça kullanışlıdır. Ancak ülkemizde uygulamada yaygın olarak kullanılan ağaç hacim tabloları genellikle çift girişli tabloların tek girişli tablolara dönüştürülmesiyle elde edildiğinden kullanıcıyı hacim hesaplamalarında hataya yöneltmektedir. Bu durum da bitkisel kütle faktörlerinin güvenilirliğini ortadan kaldırmaktadır. Ayrıca BGF katsayıları bazı faktörlere göre (ağaç türü, yaş, silvikültürel işlemler, kapalılık ve yetiştirme ortamı koşulları) değişim gösterebilmektedir (Lehtonen ve ark., 2004; Jalkanen ve ark., 2005; Somogyi ve ark., 2007; Teobaldelli ve ark., 2009; Seo ve ark., 2013). Ülkemiz ormanlarının oldukça farklı kuruluşa sahip olmaları nedeniyle BGF katsayılarının söz konusu değişkenlikleri yansıtacak şekilde hazırlanmaları gerekmektedir (Tolunay, 2012). Ayrıca BGF katsayıları ile bitkisel kütle hesaplamaları yapılırken gövde odunu hacim ağırlığı da bir faktör olarak işleme sokulmaktadır. Ancak ülkemiz ormanları için daha önce geliştirilen gövde odunu hacim ağırlığı ve BGF katsayıları çok kısıtlı sayıda veriye bağlı olarak hesaplandıkları için yüksek tahminler yapmaktadır (Karabıyık, 2014).

Ülkemizde özellikle a gelişim çağındaki meşcereler ve makilik alanlar gibi alanlarda bitkisel kütle tahmin etmeye yönelik oldukça az sayıda çalışma bulunmaktadır. Bunun yanında ülkemiz orman alanlarının yaklaşık %47'si bozuk alanlardır (OGM, 2012). Her ne kadar uygulamada verimsiz alan olarak nitelendirilse de bu alanlarda da ciddi bir bitkisel kütle üretimi söz konusudur. Bu nedenlerle a gelişim çağı ve bozuk orman alanlarındaki bitkisel kütle tahminleme yöntemine yönelik çalışmaların sayısı artırılmalıdır.

Bilindiği gibi ülkemizde ulusal orman envanteri kapsamında sadece orman ağaçlarının hacimleri dikkate alınmaktadır. Kısaca ormanların serveti denilince sadece hacim değişkeni akla gelmektedir. Oysa orman alanlarından yararlanırken o alanın sahip olduğu bitkisel kütlede yararlanılmaktadır. Orman alanlarının verimliliğini belirlemede çok önemli bir gösterge olan bitkisel kütle mutlak suretle ulusal orman envanteri kapsamına alınmalı ve buna yönelik çalışmalar hızla gerçekleştirilmelidir (Ter-Mikaelian ve Korzukhin, 1997; Zianis

ve ark., 2005). Fakat bitkisel kütle çalışmalarının fazla zaman ve emek gerektirdiği göz önünde bulundurulursa yersel ölçümlerle desteklenen uzaktan algılama yöntemlerinden de yararlanılan araştırmalara da ihtiyaç bulunmaktadır (Le Toan ve ark., 1992; Zhang ve ark., 2014).

KAYNAKLAR

- Adıyaman Doğan, S., 2010. Düzce yöresinde yetişen kayın'ın (*Fagus orientalis* Lipsky.) çap ile biyokütle ve diri-odun ile yaprak yüzey alanı ilişkisi. Yüksek Lisans Tezi, Düzce Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Atmaca, S., 2008. Erzurum Orman bölge müdürlüğü sarıçam biyokütle tablolarının düzenlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Aydın, Ç., 2010. Artvin orman bölge müdürlüğü borçka orman işletme müdürlüğü sarıçam biyokütle tabloları. Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Bilgili, E., Küçük, O. 2009. Estimating above-ground fuel biomass in young calabrian pine (*Pinus brutia* Ten.) in Turkey. *Energy and Fuels*, 23: 1797-1800.
- Çakıl, E., 2008. Zonguldak orman bölge müdürlüğü karaçam biyokütle tablolarının düzenlenmesi. Yüksek Mühendislik Tezi, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Çepel, N., 1976. Orman Ekolojisi. İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Yayınları, Yayın No: 257, 534 s.
- ÇOB (Çevre ve Orman Bakanlığı AR-GE Daire Başkanlığı) 2006. Arazi kullanımı, arazi kullanım değişikliği ve ormancılık (LULUCF) çalışma grubu raporu, Ankara.
- Çömez, A., 2010. Sündiken dağlarında sarıçam (*Pinus sylvestris* L.) meşcerelerinde karbon birikiminin belirlenmesi. Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Durkaya, B., 1998. Zonguldak orman bölge müdürlüğü meşe meşcerelerinin biyokütle tablolarının düzenlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Durkaya, B., Durkaya, A., 2008. Türkiye topraküstü tek ağaç ve meşcere biyokütle tabloları. *Bartın Orman Fakültesi Dergisi*, 10 (13): 1-10.
- Güner, S., Tüfekçioğlu, A., Duman, A., Küçük, M., 2010. Murgul yalancı akasya ağaçlandırmalarının ve bitişindeki otlak alanların topraküstü biyokütle, kök kütlesi, kök üretimi ve karbon depolama yönlerinden karşılaştırılması. III. Ulusal Karadeniz Ormancılık Kongresi, 20-22 Mayıs 2010, Cilt: III, 1045-1055.
- İkinci, O. 2000. Zonguldak Orman Bölge Müdürlüğü Kestane Meşcerelerinin Biyokütle Tablolarının Düzenlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Jalkanen, A., Mäkipää, R., Ståhl, G., Lehtonen, A., Petersson, H., 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.
- Karabıyık, S. B., 2014. Türkiye ormanlarında bitkisel kütledeki karbon stoku: farklı hesaplama yöntemlerinin karşılaştırılması. Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Karabürk, T., 2011. Bartın ili göknar meşcerelerinin biyokütle tablolarının düzenlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Bartın Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Le Toan, T., Beaudoin, A., Riou, J., Guyon, D., 1992. Relating forest biomass to SAR data. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 30 (2): 403-411.
- Lehtonen, A., Mäkipää, R., Heikkinen, J., Sievänen, R., Liski, J., 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.
- Lim, A. B., 2012. Torosların iç kısmında kermes meşesi ağırlıklı makilik alanların topraküstü biyokütle ve karbon depolama kapasitesi. Yüksek Lisans Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Lorenz, K., Lal, R., 2010. *Carbon Sequestration in Forest Ecosystems*. ISBN: 978-90-481-3265-2, Springer Science and Business Media B.V, 277 p.
- Makineci, E., Yılmaz, E., Kumbaşı, M., Yılmaz, H., Çalışkan, S., Sevgi, O., Keten, A., Zengin, H., Beşkardeş, H., Özdemir, E., 2011. Kuzey Trakya koruya tahvil meşe ekosistemlerinde sağlık durumu, biyokütle, karbon depolama ve faunistik özelliklerin belirlenmesi. TÜBİTAK-TOVAG Proje No: 1070750.
- 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, M. S., 2004. Artvin-Genya Dağı yöresi doğu ladini (*picea orientalis lipsky*) ormanlarında topraküstü biyokütlenin belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Kafkas Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Sağlam, B., Bilgili, E., Küçük, O., Dinç Durmaz, B. 2008. Fire behavior in mediterranean shrub species (maquis). *African Journal of Biotechnology*, 7: 4122-4129.
- Saraçoğlu, N., 1998. Kayın (*Fagus orientalis Lipsky*) biyokütle tabloları. *Tr. J. of Agriculture and Forestry*, 22: 93-100.
- Saraçoğlu, N., 2000. Sakallı kızılgaç (*Alnus glutinosa* (L.) Gaertn subsp. *barbata* (C.A. Mey.) Yalt.) biyokütle tabloları. *Turk. J. Agric. For.*, 24: 147-156.
- Seo, Y. O., Lee, Y. J., Lumbres, R. I. C., Pyo, J. K., Kim, R. H., Son, Y. M., Lee, K. H., 2013. Influence of stand age class on biomass expansion factor and allometric equations for *Pinus rigida* plantations in South Korea. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 28 (6): 566-573.
- Somogyi, Z., Cienciala, E., Mäkiä, R., Muukkonen, P., Lehtonen, A., Weiss, P., 2007. Indirect methods of large-scale forest biomass estimation. *European Journal of Forest Research*, 126: 197-207.
- Sun, O., Eren, M. E., Orpak, M., 1978. Temel ağaç türlerimizde tek ağaç ve birim alandaki odun çeşidi oranlarının saptanması. TÜBİTAK-TOAG Proje No: 288.
- Sun, O., Uğurlu, S., Özer, E., 1980. Kızılçam (*Pinus brutia* ten.) ait biyolojik kütlelerin saptanması. Ormancılık Araştırma Enstitüsü Yayınları, Teknik Bülten Serisi, No: 104.
- Teobaldelli, M., Somogyi, Z., Migliavacca, M., Usoltsev, V. A., 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., Korzukhin, M. D., 1997. Biomass equations for sixty-five North American tree species. *Forest Ecology and Management*, 97: 1-24.
- Tolunay, D., 2004. Aladağ'da (Bolu) genç sarıçam meşcerelerinde bakım kesimlerinin ölü örtü ve toprak özelliklerine etkisinin belirlenmesi üzerine araştırmalar (10. yıl sonuçları). İstanbul Üniversitesi Araştırma Fonu Tarafından Desteklenen Proje, Proje No: 1606/30042001.
- Tolunay, D., 2009. Carbon concentrations of tree components, forest floor and understory in young *Pinus sylvestris* stands in north-western Turkey. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 24: 394-402.
- Tolunay, D., 2012. Bolu-Aladağ'daki genç sarıçam meşcereleri için oluşturulan bitkisel kütle denklemleri ve katsayıları. *Journal of the Faculty of Forestry, Istanbul University*, 62 (2): 99-113.
- Tolunay, D., 2013. Türkiye'de artım ve ağaç servetinden bitkisel kütle ve karbon miktarlarının hesaplamasında kullanılacak katsayılar. Ormancılıkta Sektörel Planlamanın 50. Yılı Uluslararası Sempozyumu, 26-28 Kasım 2013, 240-251.
- Uğurlu, S., Araslı, B., Sun, O., 1976. Stepe geçiş yörelerindeki sarıçam meşcerelerinde biyolojik kütlelerin saptanması. Ormancılık Araştırma Enstitüsü Yayınları, Teknik Bülten Serisi, No: 80.
- Ülker, C., 2010. Amasya orman bölge müdürlüğü sarıçam (*Pinus sylvestris* L.) meşcerelerinin biyokütle tablolarının düzenlenmesi (kunduz örneği). Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Ülküdür, M., 2010. Antalya orman bölge müdürlüğü sedir meşcerelerinin biyokütle tablolarının düzenlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Bartın Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Ünsal, A., 2007. Adana orman bölge müdürlüğü karaisalı orman işletme müdürlüğü kızılçam biyokütle tablolarının düzenlenmesi. Yüksek Mühendislik Tezi, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Varik, M., Aosaar, J., Ostonen, I., Lohmus, K., Uri, V., 2013. Carbon and nitrogen accumulation in belowground tree biomass in a chronosequence of silver birch stands. *Forest Ecology and Management* 302: 62-70.
- Yavuz, H., Mısır, N., Mısır, M., Tüfekçioğlu, A., Karahalil, U., Küçük, M., 2010. Karadeniz bölgesi saf ve karışık sarıçam (*Pinus sylvestris* L.) meşcereleri için mekanistik büyüme modellerinin geliştirilmesi, biyokütle ve karbon depolama miktarlarının belirlenmesi. TÜBİTAK-TOVAG Proje No: 1060274.
- Zeng, H.Q., Liu, Q. J., Feng, Z. W., 2010. Biomass equations for four shrub species in tropical China. *Journal of Forest Research*, 15: 83-90.
- Zhang, J., Huang, S., Hogg, E. H., Lieffers, V., Qin, Y., He, F., 2014. Estimating spatial variation in Alberta forest biomass from a combination of forest inventory and remote sensing data. *Biogeosciences*, 11: 2793-2808.
- Zianis, D., Muukkonen, P., Mäkipää, R., Mencuccini, M., 2005. Biomass and stem volume equations for tree species in Europe. *Silva Fenn. Monographs*, 4, 63 p.