

KLASİK BİYOKÜTLE TAHMİN YÖNTEMLERİ VE YENİ YAKLAŞIMLAR

Oytun Emre SAKICI
İlker ERCANLI

KTÜ Orman Fakültesi, Orman Amenajmanı Anabilim Dalı, 61080 TRABZON
Aydın KAHRİMAN
KAÜ Artvin Orman Fakültesi, Orman Amenajmanı Anabilim Dalı, 08000 ARTVİN

Geliş Tarihi: 01.11.2004

Özet: Bu çalışmada, biyolojik enerji kaynaklarının temelini oluşturan ormanlardaki biyokütle miktarının belirlenmesinde kullanılan klasik yöntemler ile son yıllarda üzerinde birçok sayıda araştırma yapılan uzaktan algılama yöntemleri tanıtılmış ve bu yöntemlerin birbirlerine olan üstünlükleri tartışılmıştır. Özellikle orman alanlarındaki toplam biyokütle miktarının belirlenmesinde uzaktan algılama teknikleri ile yapılacak tahminlerin diğer yöntemlere göre daha pratik olduğu belirtilmiştir. Buna karşın tek ağaçlara ilişkin biyokütle tahmininde ise güvenilirlik düzeyi diğer yöntemlerden daha düşüktür.

Anahtar Kelimeler: Biyokütle, Biyokütle tahmini, Uzaktan algılama

CLASSICAL BIOMASS ESTIMATION METHODS AND NEW APPROACHES

Abstract: In this study, classical methods used to estimate biomass of forest stands the base of biological energy resources, and remote sensing methods on which many study have been done recently were explained. Furthermore, these methods were compared. It was determined that remote sensing methods are more practical than the others. Although remote sensing methods are very useful to estimate total biomass of forest, the other methods are more useful and reliable to estimate individual tree biomass.

Keywords: Biomass, Biomass estimation, Remote sensing

1. GİRİŞ

Dünya enerji ihtiyacının karşılanmasında geçmişten bugüne kadar yoğun bir kullanım alanına sahip olan petrol, kömür ve doğal gaz gibi fosil enerji kaynaklarının yakın bir gelecekte insanlığın ihtiyaçlarını karşılayamaz duruma geleceği ve buna bağlı olarak da bir enerji darboğazının yaşanacağı konusunda tüm dünyada bir görüş birliği söz konusudur. Sözü edilen darboğazın yaşanmaması için yenilenemeyen kaynaklarla birlikte yenilenebilir enerji kaynaklarının da belirlenerek kullanıma sunulması gerekmektedir. Biyolojik kökenli kaynaklar, insanlığın ilk dönemlerinden bugüne kadar enerji üretimi amacıyla kullanılan yenilenebilir kaynakların başında gelmektedir. Enerji amacıyla kullanılan biyolojik kaynakların en önemlisi ise orman ekosistemi içerisinde yer alan odunsu materyallerdir. Ağaç gövdelerinden elde edilen yapacak (tomruk, direk, sanayi odunu vb.) niteliğindeki ürünlerden geriye kalan gövde parçaları ile kabuk, kök, dal ve yaprakların enerji elde edilmesinde kullanılması, günümüzde oldukça önem kazanmıştır.

Son yıllarda hızlı sanayileşme, nüfus artışı, kentleşme ve yaşam standartlarının yükselmesi gibi etkenler enerji tüketimini artırırken, enerji kaynaklarının hızla tükenmesine yol açmıştır. Dünyada enerji tüketim miktarı son 100 yılda yaklaşık olarak 17 kat artmıştır. Bütün bunların sonucu olarak, enerji açığını karşılamak için dünyada biyokütle çalışmalarına büyük hız verilmiştir. Bu büyük potansiyelin yanı sıra biyokütlenin ekonomik ve çevresel açıdan olumlu özellikleri de göz önüne alındığında, biyoenerji konusuna ilgi giderek artmaktadır. Bir çok gelişmiş ülke biyoenerjiyi geleceğin temel enerji kaynağı olarak görmektedir. Örneğin; İsveç enerjisinin %16 sı gibi büyük bir kısmını biyokütleden elde etmektedir. Benzer şekilde Avusturya enerjisinin %13 ünü biyokütleden sağlarken, Finlandiya da biyokütle enerjisinden önemli ölçüde yararlanmaktadır (1).

Biyokütle bileşenlerinin enerji üretiminin yanında, üretim sektöründe de oldukça geniş kullanım alanları bulunmaktadır. Örneğin, yaprak ve ibreler yem sanayinde, yine

yaprak ve kabuklar kozmetik, parfümeri, ilaç ve boya sanayinde kullanılmaktadır. Bu bileşenlerin bazıları da yonga levha endüstrisinde hammadde olarak kullanılabilir (2).

Biyokütle, bir türe veya çeşitli türlerden oluşan bir topluma ait yaşayan organizmaların belirli bir zamanda sahip oldukları toplam kütle miktarı olarak tanımlanabilir. Orman alanlarında yer alan ağaç ve ağaççıkların kök, gövde ve dal odunu ile birlikte odunsu olmayan kabuk ve yapraklarından oluşan bütüne Orman Biyokütlesi adı verilmektedir. Böylece biyokütle, ormanın ölçülen zamandaki kapasitesini ifade etmektedir (3, 4, 5).

Ağaç hacim fonksiyonları veya hacim tabloları, gövde odununa ilişkin toplam hacim değerini verirken, gövde odunu ile birlikte yan dallar, kabuk ve kök gibi diğer bileşenleri de içeren biyokütle miktarının ortaya konmasında yetersiz kalmaktadırlar. Ağaçlara ilişkin biyokütle miktarlarının hesaplanabilmesi için bu amaca yönelik eşitliklerin ve tabloların düzenlenmesi gerekmektedir. Biyokütle miktarı; hacim, yaş veya kuru (70 °C fırın kurusu olarak) ağırlık ya da hacim yoğunluk biriminden ölçülebilmesine karşın genellikle kuru ağırlık birimi daha çok kullanılmaktadır (4).

Biyokütle konusundaki ilk çalışmalar, 1930'lu yıllarda çeşitli ağaç türlerine ilişkin toprak üstü biyokütle bileşenlerine ilişkin ağırlık miktarlarını tahmin etmek amacıyla yapılmıştır (6). Biyokütle tahmini ile ilgili ilk çalışmalardan günümüze kadar geçen sürede kullanılan yöntemlerin başında regresyon denklemleri gelmektedir. Bu denklemlerden yararlanılarak geliştirilen biyokütle fonksiyonları ile biyokütle tabloları oluşturulmaktadır. Son yıllarda ise biyokütle çalışmalarında uzaktan algılama tekniklerinden yararlanılmaya başlanmıştır. Hava fotoğrafları ve uydu görüntüleri yardımıyla biyokütle miktarının tahmin edildiği çeşitli çalışmalar bulunmaktadır (7).

Biyokütle üzerine yapılan çalışmalar incelendiğinde, özellikle gelişmiş ülkelerde hemen hemen tüm ağaç türleri için oldukça ayrıntılı bir biçimde biyokütle tablolarının düzenlendiği görülmektedir. Türkiye'de ise Doğu Karadeniz Bölgesi'ndeki Kızılağaç ve Kayın, Bartın Yöresi Meşe ve Kestane türleri ile Kızıldağ ve Sarıçam ağaç türleri için toprak üstü ağaç bileşenlerine ilişkin biyokütle tabloları düzenlenmiştir (4, 8, 9, 10, 11, 12). Bu çalışmalarından da anlaşılacağı üzere ülkemizdeki pek çok ağaç türü için henüz biyokütle tabloları düzenlenmemiştir.

2. KLASİK BİYOKÜTLE TAHMİN YÖNTEMLERİ

Biyokütle miktarı belirlenmek istenen bir meşcerenin tüm biyokütle bileşenlerini ölçmek hem pratik hem de ekonomik değildir. Bunun yerine birim alan ya da ağaçlara ilişkin biyokütle miktarının örnekleme yöntemleriyle tahmin edilmesi gerekir (3, 6, 13, 14).

Biyokütle miktarının tahmini için kullanılan klasik yöntemler üç grupta toplanmaktadır (15).

1. Birim Alan Yöntemi
2. Orta Ağaç Yöntemi
3. Regresyon Yöntemi

Bu yöntemlerden Birim Alan Yöntemi'nde biyokütle miktarı belirlenmek istenen alandan alınan örnek alanlardaki tüm ağaçların biyokütle miktarları belirlenerek hektar değerlerine dönüştürülmektedir. Orta Ağaç Yöntemi'nde ise örnek alanı temsil eden orta ağaç belirlenmekte ve bu ağaca ilişkin biyokütle miktarı hesaplanarak örnek alandaki ağaç sayısı ile çarpılıp, sonuçlar hektara çevrilmiştir. Bu yöntemlerden birincisinin pratik olmaması, ikincisinin ise güvenilirliğinin düşük olması nedeniyle çok fazla tercih edilmemektedirler. Regresyon Yöntemi'nde ise ağaçların kök, gövde, dal, yaprak ve kabuklarına ilişkin biyokütle miktarları ayrı birer regresyon modeli kullanılarak, genellikle göğüs çapı veya göğüs çapı ve ağaç boyunun fonksiyonu olarak tahmin edilmektedir (15). Bu yöntem,

özellikle pratik açıdan en çok tercih edilen yöntemdir. Ülkemizde Kızılağaç için düzenlenen biyokütle tablosu regresyon yöntemi (4), Kayın için düzenlenen biyokütle tablosu ise orta ağaç yöntemiyle (8) düzenlenmiştir.

Regresyon yöntemi ile biyokütle tablolarının düzenlenebilmesi için; biyokütle miktarı ile göğüs çapı veya göğüs çapı-ağaç boyu arasındaki ilişkinin modelinin bilinmesi gerekmektedir. Bu amaçla kullanılan çeşitli regresyon denklemleri (1)-(12) nolu eşitliklerde verilmiştir.

$$W = b_0 + b_1d \quad (1)$$

$$W = b_0d^{b_1} \quad (2)$$

$$W = e^{b_0+b_1Lnd} \quad (3)$$

$$W = b_0 + b_1d^2 \quad (4)$$

$$W = b_0 + b_1d + b_2d^2 \quad (5)$$

$$W = b_0 + b_1d + b_2d^2 + b_3d^3 \quad (6)$$

$$W = b_1d^2h \quad (7)$$

$$W = b_0 + b_1d^2h \quad (8)$$

$$W = b_0 + b_1 \frac{d}{h} \quad (9)$$

$$W = b_0d^{b_1}h^{b_2} \quad (10)$$

$$W = b_0 + b_1d + b_2h + b_3d^2h \quad (11)$$

$$W = b_1d^2 + b_2h + b_3d^2h \quad (12)$$

Bu eşitliklerde;

W: Biyokütle Miktarını,

d: Göğüs Çapını,

h: Ağaç Boyunu

göstermektedir.

Bir meşçereye ilişkin biyokütle miktarı, bu meşçereden rasgele yöntemle seçilecek örnek alandaki ağaçların regresyon modelleri yardımıyla biyokütle miktarları hesaplanıp, toplandıktan sonra hektara çevrilerek tahmin edilebileceği gibi, tek ağaçlar yerine doğrudan çeşitli meşçere ögeleri ile ilişkiye getirilerek de tahmin edilebilir. Bir meşçeredeki biyokütle miktarı; meşçere yaşının, sıklığının ve yetiştirme ortamı verim gücünün (bonitet) bir fonksiyonudur. Örneğin, meşçere yaşı (*A*) ve göğüs yüzeyinin (*G*) üssel fonksiyonu olarak biyokütle (*W*) miktarını tahmin eden bir regresyon modeli geliştirilmiştir (16).

$$W = e^{b_0+b_1A+b_2G}$$

Geliştirilen bir başka regresyon modelinde ise biyokütle miktarı meşçere yaşı (*A*) ve yetiştirme ortamı verim gücünün (*SI*) fonksiyonu olarak tahmin edilmiştir (17).

$$W = b_0 + b_1A + b_2SI \times A + b_3SI \times A^3$$

Regresyon yöntemleri ile tek ağaç ya da meşçere bazında biyokütle tabloları düzenlenirken karşılaşılan en önemli sorunlar; hangi açıklayıcı değişken veya değişkenlerin modelde kullanılacağına karar verilmesi ve en uygun regresyon modelinin belirlenmesidir. Yukarıda çeşitli araştırma sonuçlarına bağlı olarak tek ağaç ve meşçere için verilen regresyon modelleri dikkate alındığında; tek ağaç için doğrusal, parabolik ve üssel modellerin, meşçere için ise doğrusal modellerin iyi sonuçlar verdiği görülmektedir. Biyokütle tahmininde, bu modellerin her birine ilişkin katsayılar aynı veri grubu ile hesaplanıp, belirtme katsayısı, standart hata ve sistematik hata (bias) gibi istatistiksel ölçütlere göre en iyi sonucu veren regresyon modeli seçilebileceği gibi, tek ağaç için *d*, *d*², *d*³, *lnd*, *d*¹, *h*, *h*², *lnh*, *h*⁻¹, *dh*, *d*²*h*,

d^2h^2 , $ln d^2h$ ve meşcere için A , A^2 , $A.SI$, $A.G$, $A^2.G^2$, $A^2.SI^2$, $A.SI.G$, lnA , lnG ve $lnSI$ gibi değişkenler oluşturulup, SPSS ya da SAS gibi kapsamlı istatistiksel paket programlardaki “İleri Doğru Seçim”, “Geriye Doğru Eleme” ya da “Aşamalı Regresyon” tekniklerinden yararlanarak, en uygun değişken grubu ve regresyon modeli belirlenebilir.

3. YENİ YAKLAŞIMLAR

Biyokütle tahmininde genellikle toplam biyokütle ile seçilen ağaç bileşenleri arasındaki bağıntıyı kapsayan istatistiksel modellerden yararlanılmaktadır. Bu istatistiksel ilişkiler, ilgilenilen orman alanından seçilen örnek ağaçlar yardımıyla belirlenmektedir. İstatistiksel eşitlikler genellikle bir orman alanındaki her bir hakim (dominant) ağaç türü için geliştirilirler. Birçok ağaç türü için biyokütle ile ağaç boyu ve gövde çapı arasında kuvvetli bir korelasyon bulunmaktadır. Biyokütle eşitliklerinin kullanılabilmesi için, eşitlikte yer alan ağaç parametrelerinin (çap ve boy gibi) birer veri olarak önceden belirlenmesi gerekmektedir (18).

Ağaç parametreleri, uzaktan algılama verileri kullanılarak tahmin edilebilirler. Hava fotoğrafları ve uydu görüntüleri bu hususta kullanılacak uygun veri kaynaklarıdır. Uzaktan algılama verileri, toprak üstü biyokütle miktarının belirlenmesinde kullanılabilirler (7).

Son yıllarda SAR (Synthetic Aperture Radar) sistemlerinin biyokütle tahmininde kullanılması konusunda çok sayıda araştırma yapılmıştır. Bu araştırmaların temeli, SAR sisteminin geri-saçılımı (backscatter) ile topraküstü biyokütle miktarı arasındaki ilişkiye dayanmaktadır. SAR geri-saçılım miktarı, biyokütle miktarının artışına bağlı olarak doğrusal olarak artmakta ve belli bir doyum noktasına ulaşıldığında bu doğrusal artış durmaktadır. Sözü edilen doyum noktası, ilgilenilen ormanın birim alandaki biyokütle miktarının belirlenmesinde kullanılmaktadır. Örneğin, iğne yapraklı ve yapraklı türlerden oluşan ormanlarda yapılan bir çalışmada AIRSAR radarının geri-saçılımı, biyokütle miktarının yaklaşık 150 ton/ha olduğu noktada doyuma ulaşmıştır, diğer bir ifadeyle ilgilenilen ormanın biyokütle miktarı yaklaşık olarak 150 ton/ha'dır. Bir başka çalışmada yağmur ormanları için JERS-1 radarının geri-saçılımına ilişkin doyum noktası ise yaklaşık olarak 100 ton/ha olarak bulunmuştur (19).

Biyokütle miktarının belirlenmesinde radar verilerinin kullanılabilirliği konusunda yapılan çalışmaların sayısı son yıllarda oldukça artmıştır. Örneğin, Avustralya *Eucalyptus* ormanlarında topraküstü biyokütle miktarının belirlenmesinde radar (SAR) görüntülerinin kullanılabilirliği araştırıldığı bir çalışmada başarılı sonuçlar elde edilmiştir. Bu çalışmada yersel ölçümler ile radar görüntülerinden elde edilen veriler arasındaki ilişkiler karşılaştırılmaya çalışılmıştır. Yersel ölçümler için 3600 m² (60x60 m) büyüklüğünde 12 adet örnek alan alınmış, bu örnek alanların alınmasında radar görüntüleri üzerinde etkili olan gölge etkisinin ortadan kaldırılması için eğimin düşük olduğu düz arazilerin tercih edilmesine dikkat edilmiştir. Alınan örnek alanlarda göğüs çapı 20 cm'den büyük olan tüm ağaçların göğüs çapları ve boyları ölçülmüş, ayrıca örnek alanın eğimi ve bakışı belirlenmiştir. İstatistiksel eşitlikler yardımıyla örnek alanlarda ölçülen ağaçların biyokütle miktarları ince dallar (<2 cm), gövde ve ana dallar ile tüm ağaç için ayrı ayrı olmak üzere ton/ha olarak hesaplanmıştır. Radar verilerinin elde edilmesinde dalga boyu 23.5 cm olan L- bandındaki JERS-1 SAR (Japanese Earth Resources Satellite Synthetic Aperture Radar) sisteminden yararlanılmıştır. İstatistiksel yöntemle hesaplanan biyokütle miktarları 0 ile 725 ton/ha arasında değişmektedir. Çalışma sonucunda, biyokütle miktarı ile ortalama geri-saçılım katsayısı (mean backscattering coefficient) arasında pozitif korelasyon belirlenmiş, elde edilen belirtme katsayısı (R^2) değerleri 0.70 ile 0.85 arasında bulunmuştur. En yüksek

belirtme katsayısı ince dallara ilişkin biyokütle miktarında elde edilirken ($R^2=0.85$), gövde ve ana dallara ilişkin biyokütle miktarı ile toplam biyokütle miktarında daha düşük belirtme katsayısı değerleri ($R^2=0.71$ ve $R^2=0.70$) elde edilmiştir. Bu çalışmada JERS-1 radarına ilişkin biyokütle doyum noktası 600 ton/ha olarak bulunmuştur (18).

Yapılan bir diğer çalışmada, SAR verilerinden yararlanarak *Pinus taeda* ormanları için toprak üstü biyokütle miktarı ile radar geri-saçılımı arasındaki ilişkiler ortaya konulmaya çalışılmış ve SAR verilerinin biyokütle miktarlarının (toplam biyokütle ile gövde, dal ve yapraklara ilişkin biyokütle miktarları) tahmininde kullanılabilirliği araştırılmıştır. Çalışmada, radar görüntülerine ilişkin her üç frekans (C-, L- ve P- bandları) için $p=0.001$ önem düzeyinde güvenilir ilişkiler elde edilmiştir. Biyokütle hesaplamalarında kullanılacak denklemlerin belirlenebilmesi için Çoklu Doğrusal Regresyon (Multiple Linear Regression) analizinden yararlanılmıştır. Sonuç olarak en yüksek korelasyon katsayıları ($R=0.93$) ve en düşük standart hata ($S_{yx}=0.15$) değerleri toplam biyokütle tahminine ilişkin eşitliklerde sağlanmıştır. Ayrıca, gövde bileşenlerine ilişkin biyokütle miktarları için de yüksek korelasyon katsayıları ($R=0.85$) ve düşük standart hata ($S_{yx}=0.16$) değerleri elde edilmiştir. Ancak bu yüksek korelasyon katsayısı ve düşük standart hata değerlerine rağmen, gövde bileşenlerine ilişkin biyokütle miktarlarının hesaplanan değerlerinin gerçek değerlerle karşılaştırılması sonucunda elde edilen doğruluk oranlarının düşük seviyelerde (hata miktarı %26 ile %140 arasında) olduğu belirlenmiştir. Bu nedenle, gövde bileşenlerine ilişkin biyokütle miktarlarını daha doğru tahmin edebilmek için radar görüntüleri ile elde edilen toplam biyokütle miktarlarından yararlanan ikinci bir yöntem geliştirilmiştir. Geliştirilen bu yeni yöntemle tüm biyokütle bileşenlerine ilişkin doğruluk seviyeleri yüksek değerler (hata miktarı %16 ile %27 arasında) almıştır. Çalışma sonucunda SAR görüntülerinin toprak üstü biyokütle miktarının belirlenmesi amacıyla kullanılabilmesi sonucuna varılmıştır (20).

4. ÖNERİLER

Dünya enerji ihtiyacını sürekli ve kendini yenileyebilir bir biçimde karşılayabilecek tek enerji türü biyokütle enerjisidir. Bu enerji, yukarıda da açıklandığı gibi biyolojik kaynaklardan ve özellikle orman alanlarından elde edilebilmektedir. Bu denli önemli bir kaynağın mevcut yapısının ve potansiyel miktarının ortaya konulması ile ilgili çalışmalara önem verilmesi gerekmektedir. Gelişmiş ülkelerin tamamı ile gelişmekte olan ülkelerin bir bölümünde ormanlardan çok yönlü yararlanma ilkelerine bağlı olarak, birçok ağaç türü için biyokütle tabloları düzenlenmiştir. Sözü edilen bu ülkelerde, ağaçların kerestelik gövde odunu dışında kalan gövde bileşenleri de (dal, kabuk, yaprak ve kök gibi) üretime katılmakta, bu bileşenlerden çok yönlü olarak (kozmetik, boya, ilaç yapımı vb.) yararlanılmaktadır. Enerji üretimi de bu yararlanma şekillerinden biri olmaktadır. Bu ülkelerde birçok ağaç türüne ilişkin biyokütle tabloları hazırlanmış ve kullanıma sunulmuş durumdadır. Ayrıca biyokütle tabloları bulunmayan ağaç türleri için biyokütle tablolarının hazırlanması çalışmaları yapılmakta ve bunun yanında mevcut biyokütle tablolarının güncellenmesi de gerçekleştirilmektedir.

Ülkemizde yapılan çalışmalara bakılacak olursa, biyokütle konusunda yapılan araştırmalar oldukça sınırlı sayıdadır. Ülkemiz orman işletmeciliğinde, üretime konu ormanlardan sadece kabuksuz gövde odunu elde edilmekte ve ağacın diğer bileşenleri orman içerisinde bırakılmaktadır. Böylece büyük bir ekonomik kayıp oluşmaktadır. Bu atıkların çeşitli şekillerde üretime katılması ile bu kayıp önlenabilir ve bunun yanında endüstrinin ilgili kollarına hammadde sunumu gerçekleşmiş olur. Tüm bu kullanım alanlarının dışında ormanda bırakılan atıkların büyük bir kısmı enerji kaynağı olarak kullanılabilir. Bu amaçla

öncelikle ülkemizde geniş yayılış alanına sahip ağaç türleri için biyokütle tabloları düzenlenmelidir.

Biyokütle tablolarının düzenlenmesinde klasik yöntemlerin yanında, uzaktan algılama verilerinin kullanılabilirliğinin de araştırılması gerekmekte ve SAR görüntülerinin mevcut olması veya sağlanabilmesi durumunda, özellikle orman alanlarına ilişkin toplam biyokütle miktarının belirlenmesinde bu görüntülerden yararlanılmalıdır. Toplam biyokütle ve gövde bileşenlerine ilişkin biyokütle miktarlarının belirlenmesinde radar görüntülerinden yararlanarak başarılı sonuçların elde edildiği çeşitli çalışmalar mevcuttur. Bu çalışmalarda geliştirilen eşitliklerin Ülkemiz ağaç türleri için uygunlukları araştırılmalı ve bu ağaç türlerine ilişkin parametre tahminleri yapılmalıdır.

Biyokütle tahmini amacıyla kullanılacak SAR görüntüleri sağlanırken bulutluluk oranının kabul edilebilir oranlarda olmasına ve görüntülerde gölge etkisinin olmamasına dikkat edilmeli ve özellikle düz ve az eğimli arazilerde bu görüntüler kullanılmalıdır.

KAYNAKLAR

1. Anonim, 2004, www.youthforhab.org.tr/tr/yayinlar/enerji/biyokutle/Dunyada.html
2. Yavuz, H., Mısır, N., Sakıcı, O. E., Tüm Ağaç Değerlendirmesi ve Kullanılan İstatistiksel Yöntemler, Orman ve Av, (1) (2004) 42-48.
3. Alemdağ, İ.Ş., Manual of Data Collection and Processing for the Development of Forest Biomass Relationships, Petawawa National Forest Institute, Canadian Forest Service, Information Report PI-X-4, 1980, 38 p.
4. Saraçoğlu, N., Kızılağaç (*Alnus glutinosa* var. *barbata* (C. A. Mey.) Ledeb.) Gövde Hacim ve Biyokütle Tablolarının Düzenlenmesi, Doktora Tezi, K.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, 100 s., Trabzon, 1988.
5. Saraçoğlu, N., Sakallı Kızılağaç (*Alnus glutinosa* (L.) Gaertn subsp. *barbata* (C.A. Mey.) Yalt.) Biyokütle Tabloları, Turkish Journal of Agriculture and Forestry, 24 (2000) 147-156.
6. Young, H.E., Forest Biomass as a Renewable Source of Energy: Inventory, Productivity and Availability, UNITAR Conference on Long Term Energy Resources, Montreal, Quebec, Canada, November 26- December 7, 1979, 18 p.
7. Bergen, K.M., Dobson, M C., Pierce, L.E., Ulaby, F.T., Characterising Carbon in a Northern Forest by Using SIR-C/X SAR Imagery, Remote Sensing Environment, 63 (1998) 24-39.
8. Saraçoğlu, N., Kayın (*Fagus orientalis* Lipsky) Biyokütle Tabloları, Turkish Journal of Agriculture and Forestry, 22 (1998) 93-100.
9. Durkaya, B., Zonguldak Orman Bölge Müdürlüğü Meşe Meşcerelerinin Biyokütle Tablolarının Düzenlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, 1998.
10. İkinci, O., Zonguldak Orman Bölge Müdürlüğü Kestane Meşcerelerinin Biyokütle Tablolarının Düzenlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Z.K.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, 2000, 86 s.
11. Sun, O., Uğurlu, S., Özer, E., Kızılcım Türüne Ait Biyolojik Kütlelerin Saptanması, Ormancılık Araştırma Enstitüsü Teknik Bülten Serisi No: 104, 1978.

12. Uğurlu, S., Araslı, B., Sun, O., Stepe Geçiş Yörelerindeki Sarıçam Meşcerelerinde Biyolojik Kütlenin Saptanması, Ormancılık Araştırma Enstitüsü Teknik Bülten Serisi No: 80, 1976.
13. Alemdağ, İ.Ş., Aboveground-Mass Equations For Six Hardwood Species From Natural Stands of The Research, Forest at Petawawa, Petawawa National Forest Institute, Canadian Forest Service, Information Report PI-X-6, 1981, 9 p.
14. Blankenhorn, P.R., Bowersox, T.W., Weyers, R.E., Energy Relationships For Selected Cultural Investments, Forest Science, 28 (3) (1982) 459-469.
15. Günel, A., Orman Hasılat Bilgisi, Ders Notları, 88 s., İstanbul, 1981.
16. Hepp, T.E., Brister, G.H., Estimating Crown Biomass in Loblolly Pine Plantations The Carolina Flatwoods. Forest Science, 28 (1982) 115-127.
17. Williams, R.A., Hoffman, B.F., Seymour, R.S., Comparison of Site Index and Biomass Production of Spruce-Fir Stands By Soil Drainage Class in Maine, Forest Ecology and Management, 41 (1991) 279-290.
18. Austin, J.M., Mackey, B.G., Van Niel, K.P., Estimating Forest Biomass Using Satellite Radar: An Exploratory Study in A Temperate Australian *Eucalyptus* Forest, Forest Ecology and Management, 6040 (2002) 1-9.
19. Spinelli deAraujo, L.S., dos Santos, J.R., da Costa Freitas, C., Xaud, H.A.M., The Use Of Microwave and Optical Data For Estimating Aerial Biomass of The Savannah And Forest Formations at Roraima State, Brazil, IEEE, 1999, IGARSS Proceedings.
20. Kasischke, E.S., Christensen, N.L., Bourgeau-Chavez, L.L., Correlating Radar Backscatter With Components of Biomass in Lonblolly Pine Forests, IEEE Trans. Geosci. Remote Sensing, 33 (3) (1995) 643-659.