



## Güneydoğu Anadolu Bölgesindeki Bozuk Meşe Baltalıklarının Atmosferik CO<sub>2</sub> Bağlama Potansiyeli<sup>a</sup>

Uğur KEZİK<sup>1,\*</sup>, Ferit KOCAÇINAR<sup>2</sup>

<sup>a</sup> Karadeniz Teknik Üniversitesi, Orman Fakültesi, Toprak ilmi ve Ekolojisi AD, Trabzon

<sup>2</sup> Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Orman Fakültesi, Silvikültür AD, K. Maraş

\*İletişim yazarı: kezik@ktu.edu.tr

### Özet

Dünyada küresel ısınmaya neden olan sera gazlarını başta CO<sub>2</sub> olmak üzere CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O, CFC gibi gazlar oluşturmaktadır. Küresel endüstrinin artan fosil yakıt kullanmasına paralel olarak atmosfere verilen CO<sub>2</sub> oranı artmaktadır ki; 1800'lı yıllarda 280 ppm olan yoğunluk günümüzde 380 ppm'e kadar ulaşmıştır. Yapılan Kyoto protokolüne göre CO<sub>2</sub> salımını azaltmaya yönelik Türkiye'nin de aralarında bulunduğu bazı ülkeler arasında anlaşma imzalanmıştır. Karasal ekosistemin önemli bir kısmını oluşturan orman ekosistemleri fotosentez yolu ile organik madde üretebilmek için atmosferdeki serbest CO<sub>2</sub>'i kullanmaktadırlar. Bu yüzden atmosferdeki CO<sub>2</sub> yoğunluğunu azaltmada, orman alanları büyük bir öneme sahiptir. Atmosferik CO<sub>2</sub>'i bağlayacak orman alanlarının artırılmasına yönelik bazı ülkelerde çalışmalar devam etmektedir. Ülkemizde de bu kapsamda bozuk ve verimsiz orman alanlarının rehabilitasyonu ile ilgili eylem planları yapılmıştır. Güneydoğu Anadolu bölgesindeki ormanların büyük bir kısmını antropojenik etkilerle tahrip edilmiş, bodurlaşmış çalılışmış meşe ormanları oluşturmaktadır. Bu ormanlar her ne kadar verimsiz ve bozuk olarak nitelendirilse de diğer tüm bitkiler gibi fizyolojik aktivitelerle birlikte atmosferik CO<sub>2</sub>'i bağlayabilme yeteneğine sahiptirler. Bu çalışma, Güneydoğu Anadolu bölgesinde herhangi bir bakım ve rehabilitasyon görmemiş bozuk, tepe yapısı düzgün bireylerin çapı 2-6 cm arasında olan, saf *Quercus branthii* L. baltalığında yapılmıştır. Tepe yapısı düzgün bireylerde fotosentez ve yaprak alanı ölçülerek günlük atmosferik CO<sub>2</sub>'i bağlama değeri bulunmuştur. Araştırma alanında hektarda ortalama 3800 adet tepe yapısı düzgün birey vardır. Nispeten optimum fotosentez koşullarında ortalama net CO<sub>2</sub> özümleme miktarı 3.83 µmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup> ve ortalama çap 3.9 cm olup ortalama yaprak alanı 2.2 m<sup>2</sup>'dir (r<sup>2</sup>=0.9 p<0.001). Bu bölgede bitkilerin stomalarının aktif olduğu, fotosentez faaliyeti günlük 6 saat olarak düşünüldüğünde (10:00-12:00, 13:00-17:00) ve yaprak alanlarının tam olarak gelişip optimum fotosenteze sahip zaman dilimi 6 ay olarak değerlendirildiğinde (Nisan-Eylül); bozuk *Q. branthii* meşçeresi 1 yılda hektarda 5.5 ton atmosferik CO<sub>2</sub> 'i bağlayabilmektedir. Bunun yanı sıra, bu ormanların rehabilite edilmesi durumunda bu oran 3 katına kadar çıkabilecektir. Sonuç olarak, orman ekosistemlerimizin atmosferik CO<sub>2</sub>'i bağlama değeri hesaplanıp bir kıymetlendirme yapılarak karbon ekonomisine katkısı tahmin edilebilir.

**Anahtar Kelimeler:** Küresel ısınma, Atmosferik CO<sub>2</sub> bağlama, *Quercus branthii* L., Karbon ekonomisi

<sup>a</sup> Bu çalışmada, "Güneydoğu Anadolu Bölgesindeki Bozuk Meşe Baltalıklarında Seyreltmenin Fotosentetik Özellikler ile Biyokütleye Etkileri" adlı yazarı Uğur Kezik olan Yüksek Lisans tezindeki fotosentez verilerinin bir kısmı kullanılmıştır.

## The Potential for Atmospheric CO<sub>2</sub> Sequestration in Degraded Oak Coppices Occuring Southeastern Anatolia Region

### Abstract

Greenhouse gases, mainly CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O, CFC forms, cause global warming in the world. The global industry's increasing use of fossil fuels, the CO<sub>2</sub> in the atmosphere is increasing in paralel. In the 1800s, while the CO<sub>2</sub> concentration was 280 ppm, today has reached up to 380 ppm. According to Kyoto protocol to reduce CO<sub>2</sub> emissions, where the contract has been signed between some countries including Turkey. Terrestrial ecosystems that make up an important part of forest ecosystems to produce organic matter through phosynthesis using released CO<sub>2</sub> in the atmosphere. So, in reducing the concentration of atmospheric CO<sub>2</sub>, forest lands have a great significance. Studies, in some countries, are taken to increase forest areas sqeustrating atmospheric CO<sub>2</sub>. Within this scope, action plans, related to rehabilitation of degraded and upproductive forest area, have been made also in our country. A large part of the forests in Southeastern anatolia has been destroyed and formed shrubby bunchy by anthropogenic effects. These forests, although may be regarded as unproductive and degraded as all other plants with physiological activity, have ability to sequestrate atmospheric CO<sub>2</sub>. This study has been made in degraded pure Branth's oak coppice is 20-25 years old and tree's diameter varying 2-6cm in Southeastern Anatolia. Photosynthesis and total leaf area of well crown shaped trees were measured and estimated daily tree's atmospheric CO<sub>2</sub> sequestration. In study area, there are average 3800 trees with well crown shaped in one hectare. Under the optimum photosynthesis conditions, mean net CO<sub>2</sub> assimilation is 3.83 µmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup> tree<sup>-1</sup> and mean diameter is 3.9 cm and average total leaf area is 2.2m<sup>2</sup> (r<sup>2</sup>=0.9, p<0.001). In this region, if considering photosynthesis period to be 6 hours per day (10:00am-12:00am, 13:00pm-17:00pm) when stomata is active and if evaluating that leaf area completely developed and trees have optimum CO<sub>2</sub> assimilation rate period as 6 months (April-september), degraded Branth's oak stand will may sequestrate approximately 5.5 tonnes atmospheric CO<sub>2</sub> in one hectare per year under the relatively optimal photosynhetical conditions. Besides, in case of rehabilitation of this forests, the ratio may be up to 3 times. As a result, the atmospheric CO<sub>2</sub> sequestration value of our forests and it's contribution to carbon economy can be estimated by calculating and using valorisation methods.

**Keywords:** Global warming, Atmospheric CO<sub>2</sub> sequestration, *Quercus branthii* L., Carbon economy.

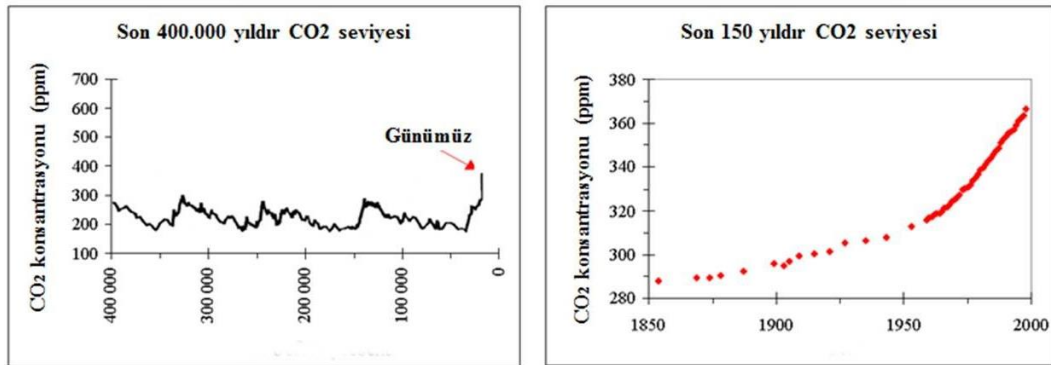
### 1. GİRİŞ

Üzerinde yaşadığımız yeryüzü, yalnız insanoğlu için değil diğer tüm canlı organizmalar için de muazzam bir yaşam ortamını oluşturmaktadır. Bu ortamda, yeryüzünü işgal eden en büyük organizmadan en küçüğüne kadar tüm varlıklar dolaylı ya da doğrudan birbirleri ile etkileşim içinde olmalarının yanı sıra birbirlerinin yaşam koşullarını da etkileme eğilimindedirler. Yağmur ormanlarındaki bir kelebeğin kanat çırpmasının bile Amerika kıtasında bir kasırgaya neden olabileceği kurgusu insana hayali gelebilir. Ancak şu bir gerçektir ki, tüm canlılar için aynı derecede öneme sahip yeryüzünde, canlı organizmalar arasındaki etkileşim açısından öyle bir ayırım vardır ki bu ayırım, tüm yaşam ekosistemini etkilediği gibi diğer canlı organizmaların da kaderini belirlemektedir. İşte bu olgu belki de insanoğlunun yeryüzünde diğer canlıların en baskını olması ve doğaya hükmetme isteği ile iktisadi manada ihtiyaçlarının sınırsız olmasından kaynaklanmaktadır. İnsanoğlu bu kadar etkin bir biçimde doğada varlığını devam ettirirken elbette ki yaptığı tüm faaliyetlerin çevresel bir etkisi olacaktır. Bu bağlamda, ilk insandan günümüze değin insan aktivitelerinin doğada birçok olumsuz etki oluşturduğuna tarihte şahitlik edilmiştir. Belki de bu olumsuz olaylardan en vahimi ve ürkütücüsü, insanoğlunun ve diğer canlıların yaşam kalitesini etkileyecek olan atmosferde gerçekleşen küresel ısınma ve iklim değişikliği senaryolarıdır.

Atmosfer, yeryüzünde sıcaklığın dağılımında ve iklimin ayarlanmasında canlılar için büyük bir öneme sahip olup canlıların yaşam koşullarını atmosferik olaylarla dengeleyen bir

sistemdir. Atmosferi oluşturan gaz kütlelerinin miktarındaki en küçük bir değişim bile bu dengeyi olumsuz yönde etkileyebilecektir. Çağımızın popüler konularından birisi olan küresel ısınma ve iklim değişikliği terimleri de atmosferdeki gaz yoğunluğunun değişimi ile alakalı ortaya çıkmış kavramlardır. Dünyada küresel ısınma ve iklim değişikliğine neden olan sera gazlarını atmosfere salınan başta CO<sub>2</sub> olmak üzere CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O, CFC gibi atmosferi oluşturan gazların yalnızca %1'inden bile küçük bir orana sahip gazlar oluşturmaktadır. Burada CO<sub>2</sub> gazının sera etkisine katkısının yaklaşık %60 oranında olduğu tahmin edilmektedir (Houghton, 1997). Bu yüzden atmosferik CO<sub>2</sub>'in yoğunluğu, salımı ve bağlanması konuları çevre bilimcilerin ve ekolojistlerin güncel problemi ve çalışma alanı haline gelmiştir. Atmosfere salınan CO<sub>2</sub>'in kaynağını insan aktiviteleri ve doğal olaylar oluşturmaktadır. Karbondioksitin yayılımı ve bağlanması doğada karbon döngüsü olarak anılır. Karbon, üç büyük karbon havuzu tarafından tutulur. Bunlar, okyanuslar, atmosfer ve ormanlar, bitkiler, topraklar ve fosil yakıt olarak jeolojik formları da içine alan karasal ekosistemlerdir (Houghton vd., 1995). Her ne kadar CO<sub>2</sub> in atmosfere salımında doğal olayların da etkisi olsa da antropojenik etkiler azımsanmayacak bir paya sahiptir ki; sanayi devriminden sonra aniden yükselmeye başlayan CO<sub>2</sub> seviyesi de bunu güçlü bir şekilde destekler niteliktedir (Şekil 1). Bunun yanı sıra, yeryüzünde tropikal ormanların yok edilmesi ve yanlış arazi kullanımı sonucu her yıl yaklaşık 2 milyar ton CO<sub>2</sub>'in atmosfere salındığı tahmin edilmektedir (Houghton vd., 1990). Daha genel ve güncel bir ifade ile atmosfere salınan CO<sub>2</sub>'nin yaklaşık %17,4'ü orman alanlarının zarar görmesi ve yok edilmesi sonucu oluştuğu bildirilmektedir (ICPP, 2007).

Küresel endüstrinin artan fosil yakıt kullanmasına paralel olarak atmosfere verilen CO<sub>2</sub> oranı artmaktadır ki; 1800'lı yıllarda 280 ppm olan yoğunluk günümüzde 380 ppm'e kadar ulaşmıştır; ve bu yoğunluk, yılda yaklaşık 1,8 ppm artmaktadır (Heinemann vd., 2006) ki; 2100 yılı itibarıyla de 540 ppm'i bulacağı tahmin edilmektedir (Prentice *et al.* 2001). Yapılan Kyoto protokolüne göre CO<sub>2</sub> salımını azaltmaya yönelik Türkiye'nin de aralarında bulunduğu bazı ülkeler arasında anlaşma imzalanmıştır (IPCC, 2000). Bunun yanında, artan sera gazları etkisinin küresel çapta bir ısınmaya neden olacak olması senaryosu (IPCC, 2007) günümüzde bilim insanlarını sera gazlarının özellikle de atmosferik CO<sub>2</sub>'i azaltmaya yönelik bir arayışa itmiştir.



**Şekil 1.** Atmosferdeki CO<sub>2</sub> yoğunluğunun zamana bağlı değişimi (Neftel vd., 1994; Petit vd., 1999; Keeling ve Whorf, 2000)

Atmosferik CO<sub>2</sub>'i bağlayacak orman alanlarının artırılmasına yönelik bazı ülkelerde çalışmalar devam etmektedir (IPCC, 2000). Bu yolla 2020 yılı itibarıyla 3 milyar ton CO<sub>2</sub>' in atmosfere salımı engellenmiş olunacaktır (IPCC, 2007). Ülkemizde de bu kapsamda bozuk ve verimsiz orman alanlarının rehabilitasyonu ile ilgili eylem planları yapılmıştır (AGM, 2007).

Karasal ekosistemin önemli bir kısmını oluşturan orman ekosistemleri fotosentez yolu ile organik madde üretebilmek için atmosferdeki serbest CO<sub>2</sub>'i kullanmaktadırlar. Üretilen bu birincil organik maddenin bir kısmı solunumda kullanılarak atmosfere tekrar CO<sub>2</sub> formunda verilir (Lloyd ve Farquhar, 1996; Waring vd., 1998). Kalan kısmı da bitkilerin dokularında depo edilir. Bu olaya birincil net üretim adı verilir ki fizyolojik olarak bu da net CO<sub>2</sub> özümleme oranı olarak bilinir. Karasal ekosistemin her yıl 60 Petagram (gr x 10<sup>15</sup>)C bağladığı arazi çalışmaları sonucu tespit edilmiştir (Atjay vd.,1979; Saugier ve Roy,2001).

Atmosferik CO<sub>2</sub> in yaklaşık 1/3'ünün bitkiler tarafından bağlandığı tahmin edilmektedir (Farquhar vd.,1993; Ciais vd.,1997). Atmosferdeki CO<sub>2</sub> yoğunluğunu azaltmada, orman alanları büyük bir öneme sahiptir. Bu yüzden küresel ısınmaya ve iklim değişikliğine neden olacak atmosferik CO<sub>2</sub>'i azaltmada bitkilerin net CO<sub>2</sub> özümleme oranının bilinmesi gerekmektedir. Bu oran bitki türüne ve ekosistemlere, popülasyonlara göre farklılık gösterebilmektedir (Ackerly, 2003).

Bitkilerin yaprak özellikleri ve anatomileri net CO<sub>2</sub> asimilasyonunda önemli bir rol oynarken (Niklas, 2000) toplam yaprak alanı da bağlanan kümülatif atmosferik CO<sub>2</sub> miktarını etkilemektedir. Bu yüzden orman ekosistemlerinin atmosferik CO<sub>2</sub> bağlama potansiyelleri, bireylerin yaptıkları net fotosentez hızları ve toplam yaprak alanları ile ilişkilidir. Bunun yanı sıra seyreltme ve aralamalar da orman ekosistemlerinde fizyolojik iyileşmeler meydana getirmektedir. Aralamalarla birlikte meşe baltalıklarının atmosferik CO<sub>2</sub> bağlanma potansiyelinde de olumlu yönde değişimler olmuştur (Breda vd., 1995; Moreno ve Cubera, 2008; Kezik, 2011).

Optimum ışık ve yeterli suya sahip şartlar altında genel olarak C3 bitkileri 5-40 µmol m<sup>2</sup>/s, C4 bitkileri 30-60 µmol m<sup>2</sup>/s ve CAM bitkileri 5-10 µmol m<sup>2</sup>/s net CO<sub>2</sub> özümleme potansiyeline sahiptir (Larcher, 1995, Woodward ve Smith, 1994). Bunun yanında en önemlisi, orman formlarına ve ekolojik özelliklere göre anlık net CO<sub>2</sub> özümlemesi farklılıklar göstermektedir. İtalya ve Yunanistan'da yapılan çalışmalarda hektarda saatte asimile olan net CO<sub>2</sub> miktarı Güneydoğu Anadolu bölgesinin bozuk meşe baltalıklarındakinin yaklaşık 10 katı kadardır (Danalatos ve Archontoulis, 2005; Cosentino, Riggi, ve D'Agosta, 2004).

Ülkemizin yüzölçümünün %27,2'si ormanlarla kaplıdır ve bu oran dünya normlarına yakın gibi görünse de ormanlarımızın %49'u verimsiz ormanlardır. Bozuk ve verimsiz orman alanlarının da yaklaşık %40'ını meşe türü oluşturmaktadır. Bunun da büyük bir kısmı bozuk ve baltalık formda olup Güneydoğu Anadolu Bölgesinde yayılış göstermektedir (Kezik, 2011). Güneydoğu Anadolu bölgesindeki meşe ormanları zaman içinde antropojenik etkilerle tahrip edilmiş, bodurlaşmış ve çalılıştır. Bu ormanlar her ne kadar verimsiz ve bozuk olarak nitelendirilse de diğer tüm bitkiler gibi fizyolojik aktivitelerle birlikte atmosferik CO<sub>2</sub>'i bağlayabilme yeteneğine sahiptirler. Öyle ki, hektarda 1 saatte yaklaşık 5.0 kg atmosferik CO<sub>2</sub>'i bağlayabilmektedir (Kezik, 2011).

Bu çalışma, küresel ısınma ve iklim değişikliğinden en fazla etkilenecek bölgelerden olan (Demir vd., 2008) Güneydoğu Anadolu Bölgesinde yayılış gösteren bozuk meşe baltalıklarında gerçekleştirilmiştir. Bu ekosistemde atmosferik CO<sub>2</sub>'nin bitki bünyesine zamansal alım potansiyeli üzerinde durulmuştur. Elbette ki, atmosferik CO<sub>2</sub> bitki bünyesine alındıktan sonra biyokütle olarak depolanacak ve buna bağlı olarak da bir kısmı toprak organik maddesine katılacaktır. Atmosferik CO<sub>2</sub>'in bağlanma potansiyelini belirlerken daha ziyade bitkiler üzerinden gitmek gerekmektedir. Çünkü yapılan araştırmalara göre orman ekosistemlerindeki karbonun büyük çoğunluğu, yaklaşık 2/3'ünden fazlası toprak üstünde tutuluyor; ve bunun da yaklaşık 1/3'ü canlı olarak sürekli orman içinde kalmakta, 1/3'ü ayrışma ve çürüme ile atmosfere geri verilmekte ve kalan 1/3'ü ormanlardan elde edilen emvalde bulunmaktadır (Wayburn vd., 2000). Bu çalışmada bozuk orman formuna

sahip *Quercus branthii* L. meşçeresinde bitkilerin, nispeten optimum fotosentez koşullarında (Taiz ve Zeiger, 2008), net CO<sub>2</sub> özümleme miktarı, yaprak alanı ile birlikte değerlendirilerek birim alanda kümülatif atmosferik CO<sub>2</sub> bağlama potansiyeli tahmin edilmeye çalışılmıştır.

## 2. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu çalışma Türkiye'nin Güneydoğusunda bölgesinde yer alan bozuk formdaki *Quercus branthii* L. baltalıklarında, Mardin İli Mazıdağı Orman İşletme Şefliği sınırlarına dâhil olan Sultan köyü civarındaki 1087 rakımlı İnce Tepe'nin Kuzeydoğu yamaçlarında gerçekleştirilmiştir. Çalışma alanı 5.5 hektardan oluşmakta olup coğrafi konum olarak 37°25'43" - 37°25'52" Kuzey enlemleri ile 40°38'00" - 40°38'09" Doğu boylamları arasında kalmaktadır. Toprak yapısı sığ, taşlı ve ağır bünyeli bir yapıya sahiptir. Anakaya kalkerdir. Toprak türü olarak kil ve killi balçık yapıya sahiptir ve eğim %24-35 arasında değişmektedir. Bölgenin iklimi karasal iklim ile Akdeniz iklimi arasında bir geçiş özelliği gösterir. Yazlar çok sıcak ve kurak kışlar ise soğuktur. Erinç (1965) yağış etkinliği haritasına göre bu bölge kurak ve yarı-kurak mıntukalara dâhil olmaktadır. Araştırma alanında vejetasyon periyodu 20 Mart-5 Kasım tarihlerini kapsamakta olup 230 gündür (Kezik, 2011).

Bitki materyali olarak Fagacea familyasına ait *Quercus branthii* L. bozuk baltalık meşçeresi kullanılmıştır. Araştırma alanındaki meşçere 20-25 yaşlarında olup, 5.5 hektarlık alan içerisinde 10 metre uzunluğunda bir ip kullanılarak, 30 adet kare şeklinde 10×10=100 m<sup>2</sup>'lik (OGM, 1991) örnekleme alanları alınıp bu alanlara giren tepe çatısı düzgün bireyler ve ocaklar (kök sistemi) sayılmıştır. Tüm bu işlemlerin sonucunda 10×10=100 m<sup>2</sup> lik alana ortalama 38 adet tepe çatısı düzgün bireyin düştüğü ve ortalama 14 ocağın (kök sistemi) girdiği tespit edilmiştir (Kezik, 2011). Ortalama hektarda yaklaşık 3800 adet birey bulunmaktadır. Bireylerin göğüs çapları 2-6 cm arasında ve ortalama 3.9 cm'dir. Birey başına ortalama 2.2 m<sup>2</sup> yaprak alanı düşmektedir. Bunun yanı sıra birim alanda (ha) 10.7 ton toprak üstü biyokütle mevcuttur (Kezik, 2011).

Yukarıdaki özelliklere sahip çalışma alanında tepe yapısı düzgün bireylerde net fotosentez oranları (µmol m<sup>2</sup>/s) ile yaprak alanı (m<sup>2</sup>) ölçümleri yapılmıştır. Bu ölçümlerden sonra birim alanda optimum koşullarda bağlanan net atmosferik CO<sub>2</sub> miktarı tahmin edilmeye çalışılmıştır. Fotosentez ölçümleri 2010 yılının Ağustos ayında gerçekleştirilmiş olup, yaprak alanı ile ilgili veriler 2013 yılının Temmuz ayında elde edilmiştir.

### Yapılan Ölçümler

Fotosentez ölçümleri: Bozuk *Quercus branthii* L. meşçeresindeki araştırma alanında meşçereyi temsil eden 6 adet farklı bireyin sağlam yapraklarında Ağustos 2010 tarihinde GFS-3000 model (Walz, Effeltirch, Almanya) fotosentez floresans sistemi cihazı ile bilgisayar bağlantısı olmadan manüel olarak ölçülmüş, veriler cihaza kaydedilmiştir. Bitkilerde fotosentez esnasında, birim alanda saniyede atmosferden alınıp asimile edilen net karbondioksit miktarı (A=fotosentez, µmol CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup>s<sup>-2</sup>) tespit edilmiştir. Tüm ölçüm aşamaları süresince küvete giren fotosentez aktif radyasyonu (PARtop) 2000 µmol m<sup>-2</sup>s<sup>-2</sup> olarak ayarlanmış, küvete giren gaz akışı (Flow) 750 µmol/ s, yapraktan atmosfere olan su buharı açığı (VPD) 28 Pa/ kPa, küvetteki nispi nem oranı (RH %) %50, küvetteki CO<sub>2</sub> miktarı 380 ppm olacak şekilde ayarlanmıştır. Yaprak sıcaklığı (Tleaf) 30 °C'de sabit tutulmuştur. Bu şekilde birim alanda genel olarak bitkiler için nispeten optimum koşullardaki (Taiz ve Zeiger, 2008) net fotosentez oranları tespit edilmiştir (Şekil 2).



**Şekil 2.** Portatif fotosentez cihazı ile arazide verilerin elde edilmesi

Yaprak alanı ölçümleri: Orman ekosistemlerinin ve ağaçların yaprak alanlarını tespit etmek için doğrudan veya dolaylı olarak pek çok farklı yöntemler kullanılmaktadır (Vertessy vd., 1994; Peper ve Mcpherson, 1998; Liu vd., 2011; ICP, 2012).

Çalışma alanında birim alanda yaprak alanı tespit edilirken istatistiki modellemelerden yararlanılmıştır. Bunun için araziden 0.1 mm hassasiyetteki elektronik el kumpası yardımı ile çapları 0.4-18.9 mm olan 24 adet sürgün alınıp vakit kaybetmeden ofise getirilmiş ve bunların yaprak alanı LI-COR 3000C marka yaprak alan ölçer cihazı ile ölçülmüştür (Şekil 3). Sürgün çapları ile yaprak alanı arasında, göğüs çapları ile yaprak alanı arasında güçlü bir ilişkinin varlığı söz konusudur (Katsuno ve Hozumi 1987; Katsuno ve Hozumi 1988; Turner vd., 2000; Kigomo vd., 2013). Bu çalışmada, SPSS paket programında ilişki katsayısı yüksek, değerlerimize uygun karelik model ile bir regresyon denklemi oluşturulmuş ve bu denklemle çalışma alanında ortalama çapa denk gelen yaprak alanı bulunmuş ve birim alandaki toplam yaprak alanı tahmin edilmiştir.



**Şekil 3.** Yaprak alan ölçer ile sürgünlerde yaprak alanlarının belirlenmesi

Tüm bunlardan sonra bozuk formdaki *Quercus branthii* L. meşçeresinin hektardaki atmosferik CO<sub>2</sub>'i bağlama potansiyeli tahmin edilmiştir. Bu aşamada, bu orman ekosisteminde bireylerin yapraklarının tam olarak gelişip optimum fotosenteze sahip olduğu zaman dilimi 6 ay olarak (Nisan-Eylül) alınmış, günlük fotosentez süresi ise gün içinde stomaların aktif olduğu 6 saat olarak alınmıştır (10:00-12:00, 13:00-17:00). Çalışma alanında ortalama çapa düşen yaprak alanı hesaplandıktan sonra ortalama özümlenen net atmosferik CO<sub>2</sub> miktarı ile eşleştirilmiştir. Sonuç olarak meşçere orta çapına denk gelen bireyin saniyede bağladığı atmosferik CO<sub>2</sub> miktarı  $\mu\text{mol}$  olarak hesaplanmıştır. Daha sonra bu değer 1 000 000 katsayısına bölünerek mol'e çevrilmiştir. Daha sonra bulunan mol değeri CO<sub>2</sub> bileşiğinin kütle ağırlığı olan 44 gr ile çarpılmış, bir bireyin 1 saniyede özümlediği net atmosferik CO<sub>2</sub> gram cinsinden bulunmuştur. Bu değeri yine 1 000 000 katsayısına bölerek ton değeri elde edilmiştir. Daha sonra bir bireyin dakikalık, saatlik, günlük (günde 6 saat aktif özümleme zamanı varsayılarak), aylık ve yıllık net özümleme miktarı tahmin edilmiştir. Sonuç olarak, bu değer hektardaki birey sayısı ile çarpılarak bu orman ekosisteminin yıllık hektardaki atmosferik CO<sub>2</sub> bağlama potansiyeli ton olarak tahmin edilmiştir.

### 3. BULGULAR

#### Yaprak alanı

Çalışma kapsamında herhangi bir bakım müdahalesi görmemiş *Quercus branthii* L. meşçeresinde alınan sürgün örneklerinin çapları ve yaprak alanları ölçülmüştür. Buna göre en düşük sürgün çapı 0.4 mm ve yaprak alanı 32.12 cm<sup>2</sup> olarak ölçülmüş ve en yüksek sürgün çapı ise 18.9 mm olup bunun yaprak alanı da 5273.0 cm<sup>2</sup> olarak ölçülmüştür (Tablo 1). Ölçülen 24 değer kullanılarak bir regresyon denklemi oluşturulmuş (Şekil 4) ve bu denkleme göre ortalama 3.9 cm çapa denk gelen yaprak alanı 2.2 m<sup>2</sup> olarak bulunmuştur.

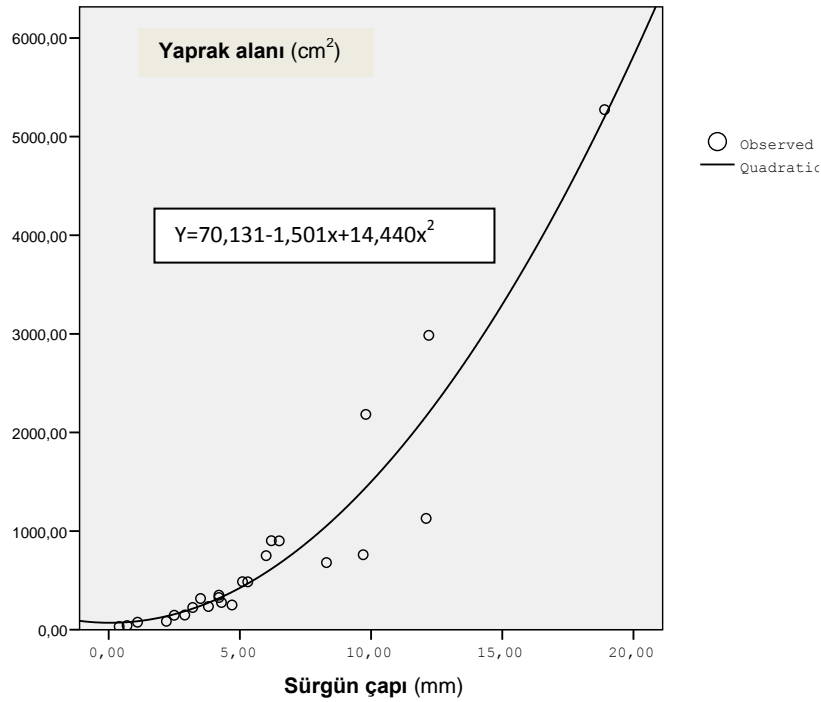
**Tablo 1.** Sürgün çapı ve yaprak alanlarının minimum, maksimum ve ortalama değerleri

	N	Minimum	Maksimum	Ortalama
Çap (mm)	24	0.40	18.9	5.74
Yaprak alanı (cm <sup>2</sup> )	24	32.12	5273.0	793.38
Valid N (listwise)	24			

#### Net fotosentez hızı

*Quercus branthii* L. türünün bozuk baltalık meşçeresinde net fotosentez hızı, başka bir ifadeyle saniyede metrekaare yaprak alanında asimile olan mikro mol olarak karbondioksit miktarı (A,  $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ), 2000  $\mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  fotosentetik aktif radyasyon altında tepe yapısı düzgün 6 adet farklı bireyin sağlam yapraklarında ölçülmüş olup ortalama  $3.83 \pm 1.02 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  net CO<sub>2</sub> özümlediği tespit edilmiştir.

Tüm bu ölçümlerden sonra oluşturulan  $Y=70,131-1,501x+14,440x^2$  denklemi kullanılarak çalışma alanındaki orta çapa denk gelen 3.9 cm<sup>2</sup> lik bir bireyin yaklaşık 2.2 m<sup>2</sup> yaprak alanına sahip olduğu elde edilmiştir. Hektarda ise bu rakam  $3800 \times 2.2 = 8360 \text{ m}^2$  olarak tahmin edilmiştir. İlgili hesaplamalar yapıldıktan sonra Güneydoğu Anadolu Bölgesinde yayılış gösteren bozuk formdaki *Quercus branthii* L. meşçeresinin 1 yılda yaklaşık 5.5 ton atmosferik CO<sub>2</sub>'i bağlayabildiği tahmin edilmektedir.



Şekil 4. Sürgün çapına göre yaprak alan ilişkisini gösteren regresyon denklemi ve grafiği ( $r^2=0,9$   $p<0,001$ )

#### 4. TARTIŞMA VE SONUÇ

Ülkemizde bozuk baltalık ormanları genel olarak yarı kurak ve kurak alanlarda, insan ve hayvan baskılarının yoğun olduğu, çölleşmeye müsait bölgelerde bulunmaktadır. Dolayısıyla, gelecekte küresel ısınma ve iklim değişikliğinin olumsuz etkilerini ilk hissedecek alanlar böyle alanlar olacaktır. Bu nedenle öncelikle bu bölgelerdeki bozuk baltalıkların rehabilite etmek gerekir. Aksi takdirde iklim değişikliği ve küresel ısınmanın da olumsuz etkileriyle çölleşme süreci hızlanmış olacaktır. Bunun sonucunda bu bölgeler daha hızlı çoraklaşıp verimsizleşecektir.

Ülkemizde kurak ve yarı-kurak bölgelere dâhil olan Güneydoğu Anadolu bölgesinde yayılış gösteren bozuk formdaki *Quercus branthii* L. meşçeresinin nispeten optimum fotosentez koşullarında 1 yılda hektarda 5.5 ton atmosferik CO<sub>2</sub>'i bağlayabilme potansiyeline sahip olduğu tahmin edilmiştir. Ülkemiz ormanlarının %17'sini oluşturan bozuk baltalıkların rehabilite edilmesi durumunda bu rakam 3 katına kadar çıkabilir (Kezik, 2011). Peki bozuk meşe baltalıklarında hektarda bağlanan bu 5.5 ton atmosferik CO<sub>2</sub> ne anlama geliyor? Birincisi küresel ısınma ve iklim değişikliği olaylarında büyük bir paya sahip ve son 150 yıldır endüstriyel faaliyetlerle giderek artan CO<sub>2</sub> miktarının yılda 5.5 ton azalmasına katkı sağlıyor. İkincisi de bu meşe ekosisteminde 5.5 ton CO<sub>2</sub> miktarı ile bir yılda bir hektarda yaklaşık 3.72 ton karasal net birincil üretim gerçekleşebilir (Fotosentez denkleminde 1mol C<sub>6</sub>H<sub>12</sub>O<sub>6</sub> üretmek için 6 mol CO<sub>2</sub> tüketildiği varsayımına göre). Bu değer karasal ekosistemde en fazla net birincil üretim potansiyeline sahip tropikal yağmur ormanlarında ise hektarda 22.0 ton olarak gösterilmektedir (web 1)

Bir orman ekosisteminde bitkilerin yanı sıra yetiştirme ortamının da organik madde bağlama potansiyeli araştırılıp buna göre bir sınıflandırma yapılabilir. Örneğin topraktaki organik madde miktarının, üzerindeki orman formundan ve bitki türünün özelliğinden etkilendiği



gibi toprağın rengi de o ekosistemin organik madde bağlama potansiyeli hakkında önemli ip uçları vermektedir (Kort, 1996). Diğer yandan, atmosferik CO<sub>2</sub>'in 2/3'ü orman ekosistemlerinde dikili haldeki ağaçlarda tutulduğu için (Wayburn vd., 2000) orman ekosistemlerinin fotosentez ile CO<sub>2</sub> bağlama potansiyelleri belirlenerek karbon ekonomisine katkısı hakkında bir değerlendirme yapılabilir.

Gerçekten de ormanı oluşturan bireylerin formu ve yapısı atmosferik CO<sub>2</sub> bağlama potansiyelini önemli derecede etkilemektedir. Güneydoğu Anadolu bölgesindeki bozuk meşe baltalığındaki ortalama 3.9 cm çapına sahip 25 yaşındaki bir *Quercus brantii* L. bireyi yılda yaklaşık 1.4 kg atmosferik CO<sub>2</sub>'i bağlayabilir iken, normal bir yetişme ortamında gelişimini devam ettiren hemen hemen aynı yaşa sahip şeker akçaağacında bu değer yaklaşık 3.0 kg'dır (Frelich, 1992). Bu da bize yetişme ortamının atmosferik CO<sub>2</sub>'i bağlama potansiyelini ne kadar değiştirdiği hakkında bilgi vermektedir. Yine farklı ekosistemler ve arazi kullanımı da bağlanan atmosferik CO<sub>2</sub> miktarı üzerinde etkili olmaktadır. Amerika'da yapılan bir araştırmaya göre (Anderson vd., 2008) hektarda, orman alanlarında 12.2 ton/yıl, prairie ekosistemlerinde 9.9 ton/yıl, tarım alanlarında 0.9 ton/yıl ve tek yıllık bitkilerde 0.2 ton/yıl atmosferik CO<sub>2</sub> bağlanabilmektedir.

Bir orman ekosisteminde birim alandaki atmosferik CO<sub>2</sub> bağlama miktarı üzerinde ağaçların yapmış oldukları net fotosentez hızı ve yaprak alanları etkili olmaktadır. Bu yüzden bu iki parametrenin tespiti önem arz etmektedir. Bitkilerde net fotosentez hızı ekolojik faktörlerden etkilendiği gibi (Küppers, 1988; Ball, vd., 1988) yaprağın anatomisinden, yaşından ve morfolojisinden (Yong vd., 2013) de etkilenebilmektedir. Ancak genel olarak değerlendirildiğinde orman ağacı türlerinin vejetasyon periyodu boyunca aylara göre yaptıkları net CO<sub>2</sub> asimile hızları arasında önemli değişim olmadığı bildirilmektedir (Gratani ve Varone, 2004). Bir orman ekosisteminin yıllık atmosferik CO<sub>2</sub> bağlama potansiyelini tespit ederek hem karbon tutulmasına katkısı tahmin edilebilir hem de gerekli formül ve dönüşüm katsayıları kullanılarak (Görücü ve Eker, 2009) yıllık Karbon bağlanması ve bağlanan karbonun fiyatlandırılması yapılabilir.

Dünyada ve ülkemizde, orman ekosistemlerinin karbon depolama potansiyeli ile alakalı birçok çalışma yapılmış ve yapılmaya da devam edilmektedir. Fakat orman ekosistemlerimizin atmosferik CO<sub>2</sub>'i anlık olarak ne kadar bağladığı ile alakalı hemen hemen hiç çalışma yoktur. Her ne kadar bu olgu bitki fizyolojisi ve ekofizyoloji konularını ilgilendirse de fizyolojik ekoloji konuları kapsamında özellikle de orman ekosistemlerinin değişimi ile ilgilenen orman ekolojistlerini, karbon ekonomisi çalışanlarını ve orman ekosistemlerini planlayanları da bu konu yakından ilgilendirmektedir. Bu yüzden disiplinler arası çalışmalarla birlikte ormanlarımızın canlı halde bağladıkları atmosferik CO<sub>2</sub> miktarı belirlenerek, bir bakıma orman ekosistemlerimizin de ekofizyolojik özellikleri de ortaya konmuş olacaktır. Belki de ileride orman amenajman planları, orman ekosistemlerimizin meşçere türü bazında atmosferik CO<sub>2</sub> bağlama potansiyelleri göz önüne alınarak planlanacaktır ki; bu da ormancılıkta üzerinde çalışılması gereken geleceğin konuları arasında yer almaktadır.

## KAYNAKLAR

- Ackerly D.D. (2003) Community assembly, niche conservatism, and adaptive evolution in changing environments. *International Journal of Plant Sciences*. 164:165-S184.
- AGM. 2007. Çevre ve Orman Bakanlığı, Ağaçlandırma ve Erozyon Kontrolü Seferberliği Eylem Planı, 2008-2012 s.7-63. Ankara.
- Anderson, J., Beduhn, R., Current, D., Espeleta, J., Fissore, C., Gangeness, B., Harting, J., Hobbie, S., Nater, E. Ve Reich, P., 2008. The Potential for Terrestrial Carbon Sequestration in Minnesota. A Report to the Department of Natural Resources from the Minnesota Terrestrial Carbon Sequestration Initiative University of Minnesota, St. Paul, MN.

- Atjay, G.L., P. Ketner, ve P. Duvigneaud, 1979: Terrestrial primary production and phytomass. In: The Global Carbon Cycle [Bolin, B., E.T. Degens, S. Kempe, and P. Ketner (eds.)], John Wiley & Sons, Chichester, pp. 129-181.
- Ball, M. C., Cowan, I. R. ve Farquhar, G. D., 1988. Maintenance of leaf temperature and the optimization of carbon gain in relation to water loss in a tropical mangrove forest. *Australian Journal of Plant Physiology*, 15: 263-276.
- Bréda, N.; Granier, A. & Aussenac, G. (1995). Effects of thinning on soil and tree water relations, transpiration and growth in an oak forest (*Quercus petraea* (Matt.) Liebl.). *Tree Physiology*, Vol.15, pp. 295-306, ISSN 0829-318X.
- Ciais, P., A.S. Denning, P.P. Tans, J.A. Berry, D.A. Randall, G.J. Collatz, P.J. Sellers, J.W.C. White, M. Trolrier, H.A.J. Meijer, R.J. Francey, P. Monfray, and M. Heimann, 1997: A three-dimensional synthesis study of  $\delta^{18}O$  in atmospheric CO<sub>2</sub>. 1. Surface Fluxes. *Journal of Geophysical Research - Atmosphere*, 102, 5857-5872.
- Cosentino, S.L., Riggi, E., ve D'Agosta, G., 2004. Leaf photosynthesis in kenaf (*Hibiscus cannabinus* L.) in response to water stress. *Proceedings of the 2nd World Biomass Conference*, 10-14 May, Roma, Italy, pp. 374-376.
- Danalatos, N.G. ve Archontoulis, S.V., 2005. Sowing time and plant density effects on growth and biomass productivity of two kenaf varieties in central Greece. *Proceedings of the International Conference on Industrial Crops and Rural Development*, 17-21 September 2005, Murcia, Spain, pp. 889-901.
- Demir, İ., Kılıç, G. ve Coşkun, M., 2008. *Precis Bölgesel İklim Modeli ile Türkiye için İklim Öngörülleri: HaDAMP3 SRES A2 Senaryosu*. Iv. Atmosfer Bilimleri Sempozyumu, Bildiriler Kitabı, 25-28 Mart İstanbul, s.365-373.
- Erinç, S. 1965. Yağış Müessiriyeti Üzerine Bir Deneme ve Bir İndis. *İ.Ü. Coğrafya Enstitüsü Yayınları* No:35.
- Farquhar, G.D., J. Lloyd, J.A. Taylor, L.B. Flanagan, J.P. Syvertsen, K.T. Hubick, S.C. Wong, ve J.R. Ehleringer, 1993: Vegetation effects on the isotope composition of oxygen in atmospheric CO<sub>2</sub>. *Nature*, 363:439-443.
- Frellich, L.E., 1992. Predicting Dimensional Relationship for Twin Cities Shade Trees. Department of Forest Resources, University of Minnesota—Twin Cities, St. Paul, MN.
- Görücü, Ö., Eker, Ö., 2009. Kahramanmaraş Ayvalı Baraj Havzasında Karbon Emisyonu ve Ekonomisi Üzerine Araştırmalar. II. Ormancılıkta Sosyo-Ekonomik Sorunlar Kongresi 19-21 Şubat 2009, SDÜ, Isparta.
- Gratani, L. ve Varone, L., 2004. Adaptive photosynthetic strategies of the mediterranean maquis species according to their origin. *Photosynthetica* 42 (4): 551-558.
- Heinemann, A.B., Maia, Aline de H.N., Neto, D.D., Ingram, K.T., ve Hoogenboom, G., 2006. Soybean (*Glycine max* (L.) Merr.) growth and development response to CO<sub>2</sub> enrichment under different temperature regimes. *European Journal of Agronomy*, 24:52-61.
- Houghton, J., "Global Warming: The Complete Briefing", Cambridge University Press, 1997.
- Houghton, J.T., Jenkins G.J. ve Ephraums J.J., 1990. *Climate Change: The IPCC Scientific Assessment*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Houghton, J.T., L.G.M. Filho, J. Bruce, H. Lee, B.A. Callander, E. Haites, N. Harris, ve K. Maskell. 1995. *Climate Change 1994: Radiative Forcing of Climate Change and an Evaluation of the IPCC IS92 Emissions Scenarios*. Cambridge: Cambridge University Press.
- ICP, 2012. *Manual on Methods and Criteria for Harmonized Sampling, Assessment, Monitoring and Analysis of the effects of air pollution on forests*. ICP Forest Expert Panel on Meteorology and Phenology, ICP Forest Expert Panel on Foliage and Litterfall. Thünen Institute for World Forestry. Hamburg, Germany.
- IPCC, 2000. *Land Use, Land-Use Change, and Forestry. A Special Report of the IPCC*. [Watson, R.T., I.R. Noble, B. Bolin, N.H. Ravindranath, D.J. Verardo and D.J. Dokken (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- IPCC, 2007. *Climate Change 2007. The Scientific Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Summary for Policy Makers*.
- Katsuno, M. ve Hozumi, K., 1987. Needle Area Measurement by the Cut Method and Estimation of Specific Leaf Area in *Cryptomeria japonica*. *Ecol. Res.* 2:203-213. Japan.
- Katsuno, M. ve Hozumi, K., 1988. Relations between Specific Leaf Area of *Cryptomeria japonica* Foliage Shoot Segment and its Diameter. *Ecol. Res.* 3:279-289. Japan.

- Keeling C.D. ve Whorf, T.P., Scripps Institution of Oceanography, University of California, La Jolla, California, U.S.A., 2000.
- Kezik, U. 2011. Güneydoğu Anadolu Bölgesindeki Bozuk Meşe Baltalıklarında Seyreltmenin Fotosentetik Özellikler ile Biyokütleyle Etkileri. KSÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Orman Müh. Anabilim Dalı. KSÜ, p. 72.
- Kigomo, J.N., Sweda, T., Tsuzuki, H., 2013. Improved model for estimation of leaf area index using airborne laser profiling. *Journal of Horticulture and Forestry*. 5(4):53-60.
- Kort, John. 1996. Draft Report: Biomass Production on the Prairies, Green Plan #4. Indian Head: Indian Head, Saskatchewan: Prairie Farm Rehabilitation Administration.
- Küppers, M., 1988. Water vapour and carbon exchange of leaves as affected by different environmental condition. *Acta Horticulturae* 229.
- Larcher, W. 1995: Gas exchange in plants. In W. Larcher: *Physiological plant ecology*. 3rd edition. Pp. 74-128. Berlin: Springer.
- Liu, Z., Jin, G. ve Qi, Y., 2011. Estimate of Leaf Area Index in Old-Growth Mixed Broadleaved-Korean Pine Forest in Northeastern China. *Plos ONE* 7(3): e32155. doi:10.1371/journal.pone.0032155.
- Lloyd, J., ve Farquhar, G.D., 1996. The CO<sub>2</sub> dependence of photosynthesis, plant growth responses to elevated atmospheric CO<sub>2</sub> concentrations, and their interaction with soil nutrient status. I. General principles and forest ecosystems. *Functional Ecology*, 10, 4-32.
- Moreno, G. ve Cubera, E., 2008. Impact of stand density on water status and leaf gas exchange in *Quercus ilex*. *Forest Ecology and Management*, Vol.254, No.1, pp. 74-84, ISSN 0378-1127
- Neftel A., Friedli, H., Moor, E., Lötscher, H., Oeschger, H., Siegenthaler, U., Stauffer, 1994. B., Physics Institute, University of Bern, Switzerland.
- Niklas K.J., 2000. The evolution of leaf form and function. In: *Leaf Development and Canopy Growth* (eds B.Marshall & J.A.Roberts), Sheffield Academic Press, Sheffield.
- OGM, 1991. Orman Amenajman Planlarının Düzenlenmesi, Uygulanması, Denetlenmesi ve Yenilenmesi Hakkında Yönetmelik (Madde 46). Orman Dairesi ve Planlama Dairesi Başkanlığı. Ankara.
- Peper, J. P. ve MCPHERSON, E.G., 1998. Comparison of Five Methods for Estimating Leaf Area Index of Opengrown Deciduous Trees. *Journal of Arboriculture* 24(2): 98-111.
- Petit, J. R., Jouzel, J., Raynaud, D., Barkov, N. I., Barnola, J.-M., Basile, I., Bender, M., Chappellaz, J., Davis, M., Delaygue, G., Delmotte, M., Kotlyakov, V. M., Legrand, M., Lipenkov, V. Y., Lorius, C., Pépin, L., Ritz, C., Saltzman, E., ve Stievenard, M., 1999. "Climate and atmospheric history of the past 420'000 years from the Vostok ice core, Antarctica", *Nature*, 399
- Prentice, I.C., Farquhar, G.D., Fasham, M.J.R., Goulden, M.L., Heimann, M., Jaramillo, V.J., Khashgi, H.S., Que' re, C.L., Scholes, R.J., Wallace, D.W.R.: The carbon cycle and atmospheric carbon dioxide. – In: Houghton, J.T., Ding, Y. (ed.): *Climate Change 2001: The Scientific Basis*. Pp. 204-237. Cambridge University Press, Cambridge 2001.
- Saugier, B., ve J. Roy, 2001. Estimations of global terrestrial productivity: converging towards a single number? In: *Global terrestrial productivity: past, present and future* [Roy, J., B. Saugier and H.A. Mooney (eds.)]. Academic Press.
- Taiz, Lincoln ve Zeiger, Eduardo., 2008. Bitki Fizyolojisi, üçüncü baskıdan çeviri (Prof..Dr.İsmail TÜRKAN), palme yayıncılık, Ankara. Sayfa 171-192.
- Turner, D.P., Acker, S.A., Means, J.E., Garman, S.L., 2000. Assessing alternative allometric algorithms for estimating leaf area of Douglas-fir trees and stands. *Forest Ecology and Management* 126: 61-76
- Vertessy, R.A., Benyon, R.G., O'Sullivan, S.K. ve Gribben P.R., 1994. Relationships between stem diameter, sapwood area, leaf area and transpiration in a young mountain ash forest. *Tree Physiology* 15, 559-567.
- Waring, R.H., J.J. Landsberg, ve M. Williams, 1998: Net primary production of forests: a constant fraction of gross primary production? *Tree Physiology*, 18, 129-134.
- Wayburn, L.A, F.J. Franklin, J.C.Gordon, C.S. Binkley, D.J. Mladenoff, ve N.L. Christian, Jr. 2000. Forest Carbon in the United States: Opportunities & Options for Private Lands. The Pacific Forest Trust, Inc., Santa Rosa, CA.
- Web, 1 <http://bio1903.nicerweb.com/Locked/media/ch54/SAVE/npp.html>
- Woodward, F.I. ve Smith, T.M., 1994. Predictions and measurements of the maximum photosynthetic rate, A<sub>max</sub>, at the global scale, In: Schulze, E.D. Caldwell, M.M (Eds.), *Ecophysiology of photosynthesis*, Ecol. Studies, vol, 100 Springer-Verlag, New York, pp. 491-509.