
SERİ

B

CİLT

50

SAYI

2

2000

1951-2000
50.yıl

İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ

ORMAN FAKÜLTESİ

DERGİSİ



**SERA GAZLARI EMİSYONLARININ AZALTILMASINDA
VE BU GAZLARIN ATMOSFERDEN ALINIP DEPOLANMASINDA
ORMANCILIK SEKTÖRÜNE DÜŞEN GÖREVLER**

Prof.Dr.Ertuğrul GÖRCELİOĞLU¹⁾

Kısa Özet

Son yıllarda bilim dünyasının en çok araştırma yapılan konularından biri, küresel ısınma ve iklim değişmesi olmuştur. Özellikle fosil yakıt kullanımından kaynaklanan ve atmosferin bileşimini değiştirerek "sera etkisi" yaratan "sera gazları"nın en önemlilerinden biri karbon dioksit (CO₂)'dir.

Atmosferden karbon dioksidi alarak biyokütleyle dönüştüren bitkiler, önemli karbon dioksit rezervuarlarıdır.

Dünyanın ve insanlığın geleceğini garanti altına almada bitki örtüsünün, özellikle de ormanların bu işlevi günümüzde daha iyi anlaşılmalı ve ormancılığın klasik görevlerine bir yenisi daha eklenmiştir.

Bu görevin evrensel bir seferberlik anlayışıyla ele alınıp yerine getirilmesi doğrultusundaki uluslararası çabalar, bazı kısa vadeli ekonomik düşünceler yüzünden aksamakla birlikte, yoğun biçimde sürdürülmektedir.

1.GİRİŞ

Dünya atmosferini oluşturan gazlar güneşin ısı ışınlarını tuzaklayarak canlıların yaşamasını sağlayan doğal bir "sera etkisi" yaratırlar. Bu etkiyi yaratan "sera gazları"nın en önemlilerinden biri karbon dioksittir. Çeşitli insan etkinlikleri, sera gazlarının ve özellikle karbon dioksidin atmosferdeki oranının artmasına yol açmıştır. Bu artış, yeryüzündeki ortalama sıcaklık artışının ve iklim değişmesinin başlıca nedenlerinden biri olarak kabul edilmektedir.

Yeryüzünde yıllık ortalama sıcaklık giderek yükselmektedir. Örneğin 1880 yılında dünyada ortalama sıcaklık 14,6 °C iken, giderek yükselen bu değer 1988 yılında 15,4 °C'a çıkmıştır. Bu sıcaklık artışında, diğer faktörlerin yanısıra dünya atmosferindeki karbon dioksit oranının giderek artışı etkili olmuştur. Bu oran 1880 yılında 295 ppm iken, 1980 yılında 350 ppm'e çıkmıştır. Başka bir kaynak, 1750 yılında atmosferdeki karbon dioksit oranının 280 ppm olduğunu, 1959 yılında bu oranın 316 ppm'e, 1993 yılında ise 357 ppm'e çıktığını göstermektedir (D+C 1995). Bu rakamlara dikkat edilirse, 1750 ile 1959 yılları arasında geçen 210 yıllık sürede gerçekleşen karbon dioksit artış oranı % 13 iken, bu kez sadece 1960 ile 1993 yılları arasında geçen 34 yıllık sürede-

¹⁾ İ.Ü.Orman Fakültesi Orman İnşaatı ve Transportu Anabilim Dalı

ki artış oranı % 13 olmuş, başka bir deyişle 1960 başlarından bu yana atmosferdeki karbon dioksit oranının artış hızı, daha öncekine göre yaklaşık 6 kat büyümüştür (GÖRCELİOĞLU 1995 (2000)).

Yeryüzünün ortalama sıcaklığı 2000 yılında da yükselme eğilimini korumuş, temel alınan 1961-1990 periyodundaki yıllık sıcaklık ortalamasından 0,32 °C kadar yüksek olmuştur. Bu durumda 2000 yılı, son 140 yılın en sıcak geçen yılları sıralamasında beşinci sırayı almaktadır (D+C 2001). Dünya Meteoroloji Örgütü (WMO)'nun belirlemelerine göre, termometrik ölçümlerin yapıldığı süre içinde en sıcak geçen ilk dört yıl ise sırasıyla 1998,1997,1995 ve 1990 yılları olmuştur Öte yandan en sıcak geçen ilk on yıllık sıralamaya giren yılların tümü 1983'ten sonradır ve bunlardan sekizi 1990'dan bu yana gerçekleşmiştir. Yeni bir yüzyıla başlarken küresel ortalama sıcaklık, 20.yüzyılın başındaki ortalama sıcaklığın 0,6 °C üzerindedir. Ayrıca 2000 yılı, 1961-1990 periyodundaki ortalama sıcaklığın üzerinde yıllık ortalama sıcaklığa sahip olan 22.yıl olmuştur (D+C 2001).

Bütün bu saptamalar, bilim adamlarının büyük bir bölümünün kabul ettiği gibi, petrol, kömür vb fosil yakıtların ve karbon bazlı kimyasal maddelerin enerji ve ısı üretimi amacıyla yakılmasından kaynaklanan emisyonların, daha açık bir söyleyişle atmosfere bırakılan karbon dioksitin yol açtığı küresel ısınma olgusuyla çakışmaktadır. Nitekim insan etkinlikleri sonucunda, dünya atmosferine verilen karbon dioksit miktarı 1950 yılında 5 milyar ton (5 gigaton) kadarken, bu miktar 2000 yılında 25 milyar tona ulaşmıştır. 1997 yılında yapılan hesaplamalara göre tüm dünyadaki karbon dioksit emisyonunun % 42'si enerji santrallerinden, % 21'i motorlu araç trafiğinden, % 20'si endüstriden, % 15'i ticari tesis ve konutlardan, % 2'si de diğer kaynaklardan atmosfere verilmektedir (D+C 2001).

Konunun ilginç yanı, insan etkinliklerine bağlı karbon dioksit emisyonunun olmadığı durumlarda dünya atmosferinin duyarlı bir dengeyi sürdürebilmesidir. Başta karbon dioksit olmak üzere sera gazları, çeşitli doğal kaynaklar tarafından atmosfere verilir ve atmosferden alınır. Örneğin, ormanlarda ve çayırılık alanlarda ölü ağaçlar gibi organik materyalin doğal bozunması, küresel olarak yılda yaklaşık 196 milyar ton karbon dioksitin atmosfere verilmesiyle sonuçlanmaktadır. Serbest kalan bu karbon dioksit, onu bağlayan ya da çözen fiziksel ve biyolojik süreçlerle az çok dengelenir. Karbon dioksidi çözen deniz suyu ve karbon dioksidi bağlayan bitkiler, doğal karbon dioksit rezervuarlarıdır.

Toplam karbon dioksit emisyonlarının yaklaşık % 97'sinin, Dünya üzerinde insanlar bulunmasa da meydana geleceği bilinmektedir (McPHERSON/SIMPSON 1999). İnsan etkinliklerine bağlı olarak atmosfere verilen sera gazları ise, yıllık toplam emisyon miktarının ancak % 3'ü düzeyindedir. İnsanın ürettiği sera gazları toplam emisyonun küçük bir yüzdesini oluşturmakla birlikte, bu miktar doğal rezervuarların dengeleyici etkilerinin aşılmasına yeterlidir (GÖRCELİOĞLU 1999 (2001)).

İnsan etkinliklerinden kaynaklanan en önemli iki sera gazı karbon dioksit ve metandır. Bilindiği gibi karbon dioksit, elektrik enerjisi ve ısı elde etme ya da motorlu araçları çalıştırma amacıyla fosil yakıtların kullanılmasından kaynaklanır. Metan ise kentsel ve kırsal alanlarda çöp ve atıkların çöp dökme alanlarında ayrışmasının ve atık su arıtma tesislerinin ürünüdür. Bu çalışmada metan ve diğer sera gazlarını bir yana bırakıp karbon dioksit üzerinde durmamızın nedeni, ormanların büyüme aşamasında havadan karbon dioksidi alarak biyokütleyle dönüştürmek suretiyle bağlayıp depolayabilmesidir.

Ağaçların daha sık olması nedeniyle kırsal ormanlar, kent ormanlarından yaklaşık iki kat daha fazla karbon dioksit absorbe ederler; kırsal ormanların birim alan başına bir vejetasyon dö-

neminde bağladığı karbon dioksit miktarı, ortalama olarak 4-8 ton/ha arasındadır (BIRDSEY 1992). Ancak, kentlerdeki ağaçların daha hızlı büyümeleri nedeniyle ağaç başına karbon dioksit absorpsiyonu kırsal ormanlardakine göre daha fazladır. Yapılan araştırmalar kent ağaçları tarafından bağlanan karbon dioksit miktarının, göğüs çapı 8-15 cm arasında olan küçük ve yavaş büyüyen ağaçlar için 16 kg/yıl ile, maksimum hızla büyüyen daha büyük ağaçlar için 360 kg/yıl arasında değiştiğini ortaya koymuştur (NOWAK 1994; JO/McPHERSON 1995).

2. SERA GAZLARININ STABİLİZASYONUNA İLİŞKİN ULUSLARARASI MÜZAKERELER

Bilindiği üzere Haziran 1992'de Rio de Janeiro'da 172 ülkeden temsilcilerin katılımıyla gerçekleştirilen "Dünya Zirvesi"nde çevre konuları tartışılmıştır. Zirvede, iklim değişmesi konusunda Birleşmiş Milletler öncülüğünde "atmosferdeki sera gazları konsantrasyonlarının, insanın iklim sistemini tehlikeli boyutlarda etkileyecek müdahalelerini engelleyecek bir düzeyde stabilizasyonu ve bu düzeye, ekosistemlerin iklim değişmesine doğal olarak uyum sağlamasına yetecek, gıda üretimine zarar vermeyecek ve ekonomik gelişmenin sürdürülebilir biçimde devamına olanak sağlayacak bir zaman çerçevesinde ulaşılmaması" kararı alınmıştır. Varılan anlaşmanın bağlayıcı olmayan hedefi "sera gazları emisyonlarının 2000 yılına kadar geçecek sürede 1990'daki düzeylerine indirilmesi" olarak belirlenmiştir.

İlgili tarafların 1995'te yapılan ilk toplantısında, aradan geçen sürede özellikle gelişmiş ülkelerin bu hedefe yönelik gönüllü çabalarının yetersiz kaldığı saptanmış, bunun üzerine 2000 yılından sonra sera gazları emisyonlarına belirli limitler konması konusunda uzlaşmaya varılmıştır.

İlgili tarafların 1996'da yapılan ikinci toplantısında ise A.B.D., bu konudaki anlaşmanın Temsilciler Meclisinde ve Senatoda kabul edilip onaylanabilmesi için (1) gerçekçi ve bağlayıcı hedefler belirlenmesi, (2) uygulamada esneklik tanınması, (3) gelişmekte olan ülkelerin katılımının sağlanması isteklerini öne sürmüştür (JOYCE/BIRDSEY 2000).

İlgili tarafların Aralık 1997'de Kyoto'da yapılan üçüncü toplantısında imzalanan "Kyoto Protokolü"nde A.B.D.'nin ilk iki isteği kabul edilmiş, A.B.D.'nin 2008-2012 yıllarına kadar sera gazları emisyonlarını 1990'daki düzeylerinden % 7 daha aşağıya çekmesi üzerinde anlaşılmıştır. Bu süre içerisinde nüfus artışı ve ekonomik büyüme nedeniyle emisyonların önemli ölçüde artması beklendiğinden, anlaşmada öngörülen bu hedef önemli bir emisyon azalmasını ifade etmektedir. Aynı protokol, çeşitli ülkeler ve ülke gurupları için değişik azaltma hedefleri belirlemiş, bazı durumlarda ise belirli emisyon artışlarını da kabul etmiştir. Ancak, aradan üç yıldan fazla zaman geçtikten sonra A.B.D., Nisan 2001 başında "ülke ekonomisinde olumsuz etkiler yaratacağı" gerekçeyle bu protokole uymayacağını açıklamış, birkaç hafta sonra ise çevrecilerin baskıları sonucunda protokole imza koymayı kabul etmiştir.

Sözünü ettiğimiz uluslararası müzakere sürecinde ormancılığın ve arazi kullanma şeklindeki değişikliklerin rolü konusunda önemli tartışmalar olmuştur. Kyoto Protokolünde, ormancılığa ve arazi kullanma değişikliklerine ilişkin farklı görüşleri uzlaştırmaya çalışılmıştır.

A.B.D. örneğinde de görüldüğü gibi, küresel iklim değişikliğinin daha kötüye gitmesini engelleme doğrultusunda yapılması gereken çeşitli çalışmalar, bazı kısa vadeli ekonomik çıkarlar ön planda tutulduğu için yeterli ölçüde gerçekleştirilememektedir. Ancak, yine başta A.B.D. olmak üzere birçok ülke özellikle karbon dioksit emisyonunun azaltılması için ağaçlandırma programlarına hız vermiş, orman kaynakları yönetiminde de bu doğrultuda yapılması gereken değişiklikler üzerinde durmaya başlamıştır.

Bu incelemede, özellikle son yıllarda A.B.D.'de sayıları hızla artan konuya ilişkin araştırmalar ve yayınlar gözden geçirilmiş, ülkemiz ormancılığı ve orman endüstrisi açısından yararlı olacak önemli bazı hususlar ilgililerin bilgisine sunulmaya çalışılmıştır. Daha önceki bazı yayınların (GÖRCELİOĞLU 1986; GÖRCELİOĞLU 1999 (2001); ASAN 1999) da gözden geçirilmesi, konunun daha da aydınlanmasını sağlayabilir.

3. KARBON DİOKSİT EMİSYONLARININ AZALTILMASINDA VE ATMOFERDEKİ KARBON DİOKSİDİN DEPOLANMASINDA UYGULANABİLECEK ORMANCILIK SEÇENEKLERİ

Atmosferdeki karbon dioksit artışının hafifletilmesi amacıyla uygulanabilecek çeşitli ormancılık seçenekleri vardır. Bu seçenekler, emisyonların azaltılması üzerinde, emisyonların depolanmasının artırılması üzerinde, ya da hem emisyonların azaltılması, hem de depolanmasının artırılması üzerinde birinci derecede ya da doğrudan etkisi olanlar dikkate alınarak aşağıda gruplandırılıp kısa kısa gözden geçirilecektir. Seçeneklerden herbirinin dolaylı etkileri de söz konusudur ve bu nedenle bu üç grup, aslında birbirinden kesinkes ayrı ya da tümüyle farklı değildir. Örneğin, orman kaynakları yönetimi etkinlikleri sadece orman ekosistemleri içinde karbon depolanmasını etkilemekle kalmayıp, aynı zamanda kesilen ağaçlardan yapılabilecek olan ve enerji kullanımını (1) fosil yakıt yerine üretim artışı yan ürünlerin yakılması, (2) üretim sürecinde daha fazla enerji tüketilen benzer ürünler yerine ağaç ürünlerinin (ahşap ürünlerin) konulması suretiyle etkileyen ürünlerin çeşitleri üzerinde de etkili olabilmektedir.

3.1 EMİSYONLARIN AZALTILMASI

Atmosferdeki sera gazı konsantrasyonlarının stabilizasyonunda en etkili ve direkt yol, emisyonların azaltılmasıdır. Öte yandan ağaçları ve ormanları kapsayan etkinlikler de, örneğin bir ürünün yerine bir başkasının konması (ikame) ya da enerji talebinin azaltılması suretiyle, emisyonlarda dolaylı (endirekt) bir azalmayı sağlayabilir. Emisyonların azaltılmasında uygulanabilecek çeşitli ormancılık seçenekleri ve bunların sera gazı kaynaklarının ve depolarının kapsamlı değerlendirilmesinin bir parçası olarak dikkate alınmasının temel mantığı aşağıda açıklanmıştır.

3.1.1 Daha Yoğun Enerji Kullanımı Gerektiren Ürünler Yerine Ağaçtan Yapılan Ürünlerin Konulması

İnşaat işlerinde kullanılan bazı ahşap ürünler, bunların yerine kullanılan –alüminyum ve beton gibi- odun dışı ürünlerden daha az enerji kullanılarak üretilebilir. Böyle bir ikamenin pratik ve ekonomik olması ölçüsünde, ahşap ürünlerde bir artış ve buna bağlı olarak da diğer ürünlerde bir azalma olacak, bunun sonucunda enerji talebi ve enerji üretiminden kaynaklanan sera gazı emisyonları da azalacaktır. Ürün ikamesinin etki derecesi, girdilerin görece maliyetleri ve talep esnekliği gibi çeşitli faktörlere bağlıdır.

3.1.2 Ağaç Yetiştirmede, Üretimde ve Odunun İşlenmesinde Enerji Talebinin Azaltılması

Ağaçlandırmalarda, ormanların yönetiminde, tomruk üretiminde ve ahşap mamullerin hazırlanmasında enerji kullanılmaktadır. Enerji kullanımının etkinliği, ahşap mamullerin üretim sürecinin her aşamasında alınacak mühendislik önlemleriyle artırılabilir. Enerjinin daha etkin kullanılmasını sağlayacak uygulamalar, ekonomik değerlendirmelere bağlıdır.

3.1.3 Orman (Biyokütle) Yangınlarının Önlenmesi

Ormanların yangından korunması, mevcut biyokütlenin ayakta kalmasını ve artmasını sağlar. Ancak, bazı yer ve durumlarda ormanların yangına karşı sıkı şekilde korunması, meşcerelerin

fazlasıyla sıklaşması, ölmüş ve ölmekte olan ağaçlarda büyük miktarlarda biyokütle birikmesi ile sonuçlanmış, bu durum katastrofik orman yangınları ile böcek ve hastalık salgınları açısından önemli bir risk potansiyeli yaratmıştır. Bunun örnekleri A.B.D'nin batısında görülmüştür. Öte yandan orman yangınları kısa vadede karbon dioksit emisyonunun artmasına ve atmosferden karbon dioksidin alınıp bağlanması azalmaya yol açarken, uzun vadede ise –yanan orman yerine gelecek gençliğin yüksek performansı sayesinde- bu çift yönlü zarar ortadan kalkar. Bu nedenle ormanların yangına karşı sıkı şekilde korunması seçeneğinin değerlendirilmesinde, orman yangınlarının uzun ve kısa vadeli sonuçları dikkate alınmalıdır.

3.2 DEPOLANMANIN ARTTIRILMASI

Orman ekosistemlerinde ve ahşap ürünlerde daha fazla karbon depolamak suretiyle, atmosfere çeşitli şekillerde bırakılan karbon dioksidin oradan geri alınıp bağlanması amacıyla geliştirilmiş özel teknolojiler vardır. İşletme ormanlarında ağaçlandırma, doğal gençleştirme, bakım ve üretim aşamalarında, bir yandan odun ürünleri elde edilirken bir yandan da mevcut biyokütlenin ortalama miktarının artırılması olanakları vardır. Kesilerek ahşap ürünlere dönüştürülen, en sonunda da arazideki dolduru alanlarına gömülen¹⁾ odundaki karbon, hesaplamada genellikle depolanan toplam karbon miktarına eklenmektedir. Üretim süreci sırasında enerji üretimi amacıyla yakılan odun artıkları, bazen "fosil yakıt yerine kullanılan odun miktarı" olarak hesaplanmaktadır.

3.2.1 Marjinal Tarım ve Otlak Alanlarının Ağaçlandırılması

Tarım ve otlak alanlarının ağaçlandırılarak ya da çevredeki ormanın doğal gençleşmesine terk edilerek ormana dönüştürülmesi, genellikle daha önceki kullanıma oranla biyokütleye ve topraklarda depolanan karbon miktarını artırır. Böylece oluşan yeni orman alanları odun ürünleri elde etmek amacıyla işletilecekse, o takdirde depolanan karbonun odun ürünlerindeki, yan ürünlerdeki ve arazi dolgularındaki payları (miktarları) ayrı ayrı dikkate alınmalıdır.

3.2.2 Orman Arazisinin Başka Kullanım Şekillerine Dönüştürülmesinin En Aza İndirilmesi

Orman arazisinin orman dışı kullanım şekillerine dönüştürülmesi, genellikle canlı biyokütlenin tümüyle ya da büyük bir bölümüyle yitirilmesi, ayrıca topraklarda ve orman tabanında organik maddenin azalması anlamını taşır. Öte yandan, bu dönüştürme sırasında alandan temizlenen biyokütlenin ve organik maddenin yakılması ya da çürüyüp ayrışması durumunda, atmosfere karbon dioksit ve diğer sera gazları katılmış olacaktır. Bitki örtüsünün temizlenmesinden elde edilen biyokütle değerlendirilip çeşitli odun ürünlerine dönüştürülürse, bir miktar karbonun bu ürünlerde belirli bir süre bağlı tutulması mümkün olabilir.

3.2.3 Orman Amenajmanının Geliştirilmesi

Belirli yörelerde ve orman koşullarında, silvikültürel uygulamaları değiştirmek suretiyle karbon depolanmasını artırma olanakları sağlanabilir. Ancak, silvikültürel uygulamalar genellikle nitelikli tomruk üretimi sağlamak gibi amaçlara yönelik olduğundan, biyokütle artışında her zaman bir hızlanma ile sonuçlanmayabilir; bu nedenle de silvikültürel uygulamaların karbon depolanmasında sağladığı artış miktarının sayısal olarak belirlenmesi zordur. Maamafih bazı orman

¹⁾ Özellikle A.B.D.'de eskiyen ve kullanılamaz duruma gelen mobilya vb ahşap malzeme, çoğunlukla çöplüklere ya da çukur alanlara atılarak üzeri moloz ve toprakla örtülmek suretiyle gömülmekte, aynı şekilde arazi kazanma ve tesviye çalışmalarında dolgu (dolduru) materyali olarak kullanılmaktadır.

meşcereleri, fazlasıyla sık ya da fazlasıyla seyrek olmaları yüzünden, biyolojik potansiyellerine uygun bir büyüme göstermeyebilirler; böyle meşcereler karbon depolanmasının arttırılması açısından değerlendirilebilecek iyi birer fırsattır.

"Orman amenajmanının geliştirilmesi" ifadesinde kastedilen, karbon depolanmasının arttırılması stratejisine uygun olarak, işletme amaçları doğrultusunda bir işletme şeklinin ve idare süresinin belirlenip önerilmesidir. Örneğin en iyi karbon depolanması, kısa idare süreli endüstriyel plantasyonlarla ya da ormanları genel ortalama artırımın maksimum olduğu idare süresi ile planlama yoluyla gerçekleştirilebilir.

3.2.4 Üretimin (Kesimin) Azaltılması

Üretimin azaltılmasıyla karbon depolanması açısından sağlanacak etkinin derecesi, meşcerenin sıklığıyla, yaşıyla, zaman ve mekânla bağlantılıdır. Üretimin azaltılması, ormanlarda depolan karbon miktarında kısa süreli bir artışa neden olabilir; çünkü biyokütlenin ormandan kesilip çıkarılması ve ağacın işlenmesi sırasındaki karbon kayıpları önlenmiş olacaktır. Ancak uzun vadede, sürekli bir üretim, biyokütlenin etkin biçimde değerlendirilmesi ve gençleştirme/ağaçlandırma çevrimi sayesinde, üretim yapılmaması seçeneğinden daha fazla karbon bağlanıp depolanabilir.

3.2.5 Tarımsal Ormancılığın Geliştirilmesi

Tarımsal ormancılık (agroforestry), biyokütle üretimi düşük olan tarım ekosistemlerine biyokütle katkısı sağlar. Aynı zamanda orman alanlarından kaçak kesimleri ve tarla açma girişimlerini de azaltabilir. Tarımsal ormancılık bir yandan karbon depolanmasına katkıda bulunurken, bir yandan da tarımsal ürünlerde verimi artırıcı rol oynar.

3.3 EMİSYON AZALTMA VE DEPOLANMAYI ARTTIRMA KOMBİNASYONLARI

Bazı teknolojiler hem doğrudan doğruya karbon dioksit emisyonlarını azaltma, hem de karbonun depolanmasını arttırma potansiyeline sahiptir. Sera gazlarının azaltılmasına potansiyel katkılarının ne olacağını belirleyebilmek için, her iki etkinin de analiz edilmesi gerekir.

3.3.1 İleri Yaşlardaki Ormanların Kesilip Gençleştirilmesi

Karbon dioksidin atmosferden alınıp ağaçlar tarafından bağlanmasını, başka bir deyişle biyokütleye dönüştürülüp depolanması arttırmak için, ormanlardaki artırım olabildiğince geliştirilmesi gerekir. Bu, ileri yaşlardaki ormanların kesilmesi ve gençleştirilmesi demektir. Böyle bir uygulama sonunda elde edilecek hammadde odunun da uzun ömürlü ahşap ürünlere dönüştürülmesi ve en son aşamada da geri kazanım (recycling) yoluyla yeni ürünlerin yapımında kullanılması uygun olur.

3.3.2 Fosil Yakıt Enerjisinin Yenilenebilir Biyokütleden Karşlanması

Fosil yakıt kullanımının azaltılması için kısa idare süreli enerji ormancılığı yolu ile odunsu biyokütle üretimi yapılabilir. Sürdürülebilir bir biyokütle üretimine geçildiği ve bu üretim fosil yakıtların yerine kullanıldığı takdirde, biyokütlenin enerjiye dönüştürülmesi (yakılması) sırasında atmosfere bırakılan karbon dioksit yeni biyokütlenin büyümesiyle atmosferden geri alınıp fotosentezle bağlanacağı için, net karbon dioksit emisyonları, başka bir deyişle atmosfere fazladan sera gazı katılımı önlenmiş olur. Özellikle kâğıt endüstrisinde, kâğıt hamurunun ve kâğıdın üretim aşamalarında atık olarak ortaya çıkan biyokütlenin fosil yakıtlar yerine yakacak olarak kullanılmasıyla net karbon dioksit emisyonları büyük ölçüde azaltılabilir. Ancak, enerji etkinliğindeki farklar ve

enerji piyasasında önceden kestirilemeyen fiyat hareketleri nedeniyle yakıt türünde bire bir değişiklik söz konusu olamaz.

3.3.3 Dayanıklı Ahşap Ürünlerdeki Karbon Oranının Arttırılması

Orman ağaçlarında bağlanmış olan karbon, ağaçların kesilmesini izleyen bir dizi işlemde sonra çeşitli ahşap ürünlere ve yan ürünlere dönüştürülür. Odun hammaddesinin etkin biçimde değerlendirilmesiyle ürünlerdeki karbon miktarının maksimum düzeye çıkarılması, yan ürünlerin (üretim artıklarının) yakacak olarak kullanılması ya da yakılmayan atıkların arazi dolgularında kullanılıp üzerlerinin toprakla örtülmesi gibi uygulamalar, atmosfere bırakılan karbon dioksit miktarını en düşük düzeye indirecektir. Öte yandan ürünlerin, kullanım sürelerinin uzatılması amacıyla daha dayanıklı üretilmesi de yeni ürün yapımı için daha az ağaç kesilmesine olanak sağlayarak, canlı biyokütleinin karbon depolamayı sürdürmesini mümkün kılacaktır.

3.3.4 Kâğıt ve Odun Lifleri Geri Kazanımının Arttırılması

Odun liflerinin ve ahşap ürünlerin geri kazanımı ve bunların yeni ürünlerin yapımında kullanılması (recycling), iki yoldan karbon dioksit emisyonlarını azaltabilir ki bunlar (1) kullanılmamış odun lifleri elde etmek amacıyla ormandan kesim yapılması gereksiniminin azalması, (2) odun hammaddesi elde etmek üzere ağaçlandırma, üretim ve işleme aşamalarında harcanan enerjiden daha az enerji ile kullanılmış materyalin hammadde olarak geri kazanılması sayesinde gerçekleşir. Kâğıdın geri kazanımı yaygın biçimde uygulanmaktadır. Ahşap ürünler ise günümüzde başta A.B.D olmak üzere gelişmiş ülkelerde çoğunlukla arazi dolgularında kullanılmak ve çöplüklere atılmak suretiyle elden çıkarılmakta, bunların geri kazanımı pek düşünülmemektedir.

3.3.5 Kentlerin ve Kent Çevrelerinin Ağaçlandırılması

Kent içi ve kent çevresi ağaçlandırmaların kentlerde lokal iklimi çeşitli yollardan etkilediğini biliyoruz. Ayrıca kent ortamında doğru ağaç türlerinin amaca uygun biçimde konumlandırılmasıyla, tek ağaçların ya da birkaç ağaçlık gurupların da konutların ve küçük ticari binaların ısıtılmasında ya da serinletilmesinde kullanılan enerjiyi önemli ölçüde azaltabildiği bilinmektedir (GÖRCELİOĞLU 1986; GÖRCELİOĞLU 1999 (2001)).

4. ORMANCILIK UYGULAMALARININ KARBON DİOKSİT EMİSYONLARINI AZALTICI POTANSİYELİNİ TAHMİN YÖNTEMLERİ

Genel olarak, karbon dioksit emisyonlarının azaltılmasında ormancılık alanında söz konusu olabilecek seçeneklerin analizinde, karbonun bağlanmasıyla ve karbon dioksit emisyonlarının azaltılmasıyla sağlanması beklenen faydaların büyüklükleri, yani uygulama sonucunda atmosferden belli sürede ne miktarda karbon dioksitin alınıp bağlanacağı ve atmosfere verilen karbon dioksit ve metan (CH₄) miktarında ne kadar azalma sağlanacağı belirlenmeye çalışılır. Örneğin atmosferdeki karbon stoğunda meydana gelecek azalmanın yıllık miktarı aşağıdaki şekilde ifade edilebilir (pozitif terimler atmosferden alınan miktarları, negatif terimler atmosfere verilen miktarları temsil etmektedir.) (SKOG/NICHOLSON 2000):

$$S = G - WB - ECO_2 - ECH_4$$

Burada S = atmosferden alınan net karbon miktarı; G = orman ağaçlarında ve toprakta bağlanan yıllık toplam karbon miktarı (daha sonra yıl içinde kesilen sanayi odunu ve yakacak odun da dahil); WB = ağacın ve kâğıdın yanmasından ya da enerji üretimi amacıyla metanın yakılmasından çıkan CO₂ şeklindeki karbon emisyonları; ECO₂ = çürümeden ya da yavaş yanmadan çıkan CO₂ şeklindeki karbon emisyonları; ECH₄ = arazi doldurularındaki ayrışmadan kaynaklanan

(atık su arıtma sistemleri gibi yerlerdeki odun ürünlerinden çıkan CH_4 hariç) metan şeklindeki karbon emisyonlarıdır.

Emisyonların azaltılmasına yönelik ormancılık seçenekleri, öngörülen etkinliklerin hem biyolojik olarak yapılabilir, hem de toplum açısından kabul edilebilir olup olmadıklarının belirlenmesine yardımcı olur. Analizler ülke düzeyinde yeterli ayrıntı içermeli, böylece politikaların değerlendirilmesinde orman kaynaklarındaki uzun vadeli eğilimler, arz ve talep ekonomisi, geleneksel olan ve olmayan orman ürünleri, enerji ödenleşmeleri ve arazi kullanma değişiklikleri gibi konularda toplum yararının dikkate alınması sağlanmalıdır.

Ormancılık etkinliklerinin karbon bağlama potansiyelinin değerlendirilmesinde en sık kullanılan yaklaşım, bir politikanın ya da etkinliğin uygulamaya geçirilmesinin biyolojik ve toplumsal sonuçlarının net etkilerini tahmine yarayan analitik modellerden yararlanılmasıdır. Atmosfere verilmesi önlenen karbon dioksit ve metanla atmosferden geri alınan karbon dioksit sayesinde gerçekleşmesi beklenen karbon kazanımları, önlemlerin alınması ve alınmaması durumlarında hesaplanan sera gazlarının miktarları arasındaki farktan bulunmaktadır.

Atmosferde sera gazları birikiminin azaltılmasına yönelik araştırmaların çoğunda ekolojik sistemlerin karmaşık yapıları, envanterlere, ekosistem etütlerine ve çeşitli orman büyüme modellerinden elde edilen artım miktarlarına dayandırılan oldukça basite indirgenmiş bir şekilde temsil edilmektedir.

Toplumsal sistemlerin karmaşık yapıları ekonometrik modellerle temsil edilebilir. Ekonomik davranış aynı zamanda pazarlardaki kısıtları dikkate alan optimizasyon süreçleriyle de modelendirilebilir.

Muhasebe sistemi, çeşitli değerlendirme seçeneklerinin kritik bir parçasıdır. Muhasebe sistemi geniş kapsamlı olmalı ve karbon üzerindeki hem olumlu, hem olumsuz etkileri içermelidir. Geniş kapsamlı bir muhasebe sistemi bir etkinliğin atmosferdeki karbon dioksit konsantrasyonu üzerindeki gerçek etkisini temsil eden doğrulukta sonuç verecektir; buna karşılık bir kısmi muhasebe sistemi, yanıltıcı sonuçlar verebilir.

Analizin amaç ya da alanlarının belirlenmesi, atmosferdeki karbonun herhangi bir etkinlikle azaltılması potansiyelinin sayısallaştırılmasında kritik bir öneme sahiptir. Zaman, coğrafi mekân ve sektör açısından analiz alanlarının belirlenmesi, sonucu doğrudan etkileyecek ölçüde önemlidir. Zaman ölçeğinin kritik önemi, kısa vadede anlamlı olan etkinliklerin uzun vadede anlamını yitirebilmesinden kaynaklanmaktadır. Örneğin odun üretiminin azaltılmasına yönelik kısa vadeli bir strateji ormanlarda depolanan karbon miktarını birkaç yıl için arttıracak, fakat daha uzun vadede odun ürünlerinde bağlanan karbon miktarında azalmaya yol açacaktır. Aynı zamanda, ormanlar yaşlandıkça hastalıklardan ya da yangınlardan zarar görme olasılığı da artmaktadır ki böyle bir ya da birkaç afet büyük miktarlarda karbonun karbon dioksit şeklinde atmosfere verilmesi demektir. Coğrafi mekânın kritik önemi ise, bir bölgedeki etkinliklerin başka bir bölgede karşıt ya da güçlendirici bir harekete neden olabilmesinden kaynaklanır. Örneğin bir bölgedeki ormanlarda üretimin durdurulması, başka bir bölgedeki ormanlarda üretimin arttırılmasına yol açabilir.

Hangi ekonomik sektörlerin analize sokulacağı ve sektörler arası girdi-çıkıtların nasıl analiz edileceğinin kararlaştırılması en karmaşık sorun olabilir. Örneğin biyokütlenin yakacak olarak kullanımının arttırılması, fosil yakıtların kullanımında her zaman eşdeğer miktarda bir azalmaya yol açmayabilir; çünkü dünya enerji piyasaları karmaşık bir yapıdadır ve tam olarak arz ve talep ekonomisinin gereklerine uygun biçimde işlemezler.

Çeşitli seçeneklerle bağlantılı karbon kazanç ve kayıplarının hesaplanması da veri yokluğu ya da yetersizliği nedeniyle oldukça zor ve karmaşıktır. Örneğin orman amenajmanının toprakta depolanan karbona etkileri henüz pek iyi anlaşılammış, birkaç spesifik örnek dışında açık şekilde ortaya konulamamıştır.

Son olarak, çeşitli etkinlikler arasındaki karşılıklı etkileşimlerin de bir politika paketinde dikkate alınması gerekir. Farklı seçenekler birbirleriyle çelişebilir ya da arzu edilmeyen sonuçlara yol açabilirler. Örneğin, ahşap ürünlerdeki karbon miktarını arttırmak amacıyla daha fazla ağaç kesilmesi, ormanlarda bağlanan karbon düzeyini yükseltmek üzere üretimin (kesimin) azaltılmasıyla çelişir. Bu etkinliklerin ikisi de ülke düzeyinde orman ürünleri arzını etkileyen sonuçlar yaratır.

4.1 A.B.D.'DE KULLANILAN BAŞLICA MODELLER

4.1.1 "FORCARB" VE ORMAN SEKTÖRÜ MODELLERİ

FORCARB modeli çeşitli amaçlarla kullanılmaktadır. Bu amaçlar (1) A.B.D. ormanlarında ve orman ürünlerinde (ahşap mamullerde) geçmişteki, günümüzdeki ve gelecekteki karbon depolanmasının ve ülke düzeyinde karbon depolanmasındaki değişikliklerin hesaplanması, (2) ormanların ve orman ürünlerinin karbon depoları olarak rollerinin daha iyiye götürülmesini hedef alan alternatif politika seçeneklerinin simülasyonu, (3) çevredeki değişikliklerin ormanlardaki ve orman ürünlerindeki karbon depolanmasını nasıl etkileyebileceğinin tahmin edilmesi şeklinde sıralanabilir. FORCARB, küresel iklim değişiminin ormanlar ve orman ürünleri üzerindeki etkilerinin, aynı zamanda da bu etkilerin hafifletilmesinde ve değişikliğe uyum sağlanmasında izlenecek stratejilerin değerlendirilmesinde kullanılmak üzere orman sektörü için daha önce geliştirilmiş olan bütünlük (entegre) modeller gurubundandır (ADAMS/HAYNES 1996). Bu bütünlük modelleme sistemi çevresel değişikliklerin verimlilik, orman tipi değişimleri, üretim, ormanların doğal olaylardan olumsuz etkilenmesi, odun üretimi ve karbon depolanması üzerindeki etkilerinin simülasyonunda kullanılmaktadır. Sistem, Kaynakların Planlanması Yasası (Resources Planning Act-RPA) gereğince ulusal kıymet takdirlerinin yapılmasında kullanılan sosyoekonomik modelleri içermektedir. Bu sosyoekonomik modeller, orman vejetasyonunun durumu üzerinde büyük etkileri olan arazi kullanma şekli değişiklikleri ve odun üretimi gibi insan etkinliklerinin miktar olarak belirlenmesine ve bunlardan ileriye dönük projeksiyonlar çıkarılmasına olanak sağlarlar.

FORCARB modeli, farklı ekosistemlerin, bölgelerin, sahiplik (mülkiyet) durumlarının ve amenajman entansitelerinin yeterince temsil edildiği ulusal düzeyde çok sektörlü bir analiz yapmayı ve böylece ulusal politika kapsamında seçeneklerin ayrıntılı analizini mümkün kılacak güçtedir. Modelin bir kısıtı, enerji sektörü ile bağlantısının olmamasıdır. Bu nedenle enerji girdileri ve çıktıları direkt olarak analize sokulamaz. Bu modelin işletilmesinde dikkate alınabilecek zaman da halihazırdaki modelin konfigürasyonu nedeniyle kısıtlıdır ve geleceğe ait envanterlerin simülasyonu ancak önümüzdeki 50 yıl için yapılabilmektedir (BIRDSEY ve ark. 2000).

4.1.2 "FASOM" MODELİ

Orman ve Tarım Sektörü Optimizasyon Modeli "FASOM", özel ormanların amenajmanını, arazi kullanımını ve atmosferdeki karbonun (karbon dioksidin) küresel düzeyde azaltılması politikalarının pazardaki etkilerini incelemek amacıyla kullanılmıştır. FASOM modeli, FORCARB modelinin bağlantılı olduğu diğer orman sektörü modellerinde olduğu gibi ampirik esasa dayandırılmış odun üretimlerini kullanır. FASOM modeli, diğer modellerden farklı olarak politika seçeneklerinin incelenmesinde, iyileştirme (karbon bağlama) stratejileri kapsamında optimal arazi kullanımının ve orman amenajmanı yatırımlarının da hesaplanmasına olanak vermektedir.

Ormanlık sektörü de dahil olmak üzere iyileştirme (atmosferdeki karbon dioksit artışını engelleme) stratejileri incelenirken, orman alanlarının artırılması ve mevcut ormanlarda verimliliğin geliştirilmesi, karbonun ormanlarda ve orman ürünlerinde bağlanması artırılmasına yönelik tipik seçenekler olmaktadır. Geçmişte yapılmış birçok çalışmada arazi kullanımında ormancılıkla tarım arasında gerçekleşen değişikliklerin politikalar üzerindeki etkileri incelenmiştir. Ancak bu çalışmalarda ya bir sektörün diğeri içinde yer alan dağınık parçaları gözardı edilmiş, ya da arazi piyasasındaki geri beslemeler ve/veya karşılıklı etkileşimler dikkate alınmadan iki sektörün etkileri birbirine eklenmekle yetinilmiştir. FASOM modelinde, arazi için sektörler arasındaki rekabet de dikkate alınarak ormanlarda karbon depolama politikaları incelenirken hem arazi kullanma şekli, hem de orman amenajmanı yatırımı içsel (endojen) kararlar olarak göz önünde tutulmaktadır.

FASOM modelinde de bir öncekinde olduğu gibi enerji sektörüyle bağlantı yoktur ve bu nedenle enerji girdileri ve çıktıları direkt olarak analize sokulamaz. Geleceğe dönük simülasyonların kapsayabileceği peryot bilgisayar kapasitesiyle, eldeki veri ve kabullerle ve politikanın ilgi alanıyla sınırlıdır (BIRDSEY ve ark. 2000).

4.1.3 "TAMM" MODELİ

Asal Orman Ürünü (Odun Çeşitleri) Pazar Modeli "TAMM", orman sektörü modelleri denilen sistemlerin en tanınmışlarından biridir. Bu "modeller sistemi", kullanılmaya başlandığı 1970'li yılların sonlarından bu yana sürekli geliştirilip genişletilerek, verdiği projeksiyonların gerçekliği ve çıktıların kaynak analizi yapanlara ve politikayı kararlaştıranlara yararlı olması sağlanmıştır. TAMM, bütünlük bir yapı ortaya koyan biyoekonomik bir modeldir; bu yapı (strüktür) sayesinde bölgesel fiyatların, tüketimin ve üretimin davranış ve eğilimlerini dikkate almak mümkün olmakta, aynı zamanda da odun kaynaklarıyla odun arzını karşılıklı olarak bağıntıya getirme olanağı sağlanmaktadır. Bugünkü şekliyle TAMM, kâğıt ürünleri için geliştirilmiş olan Kuzey Amerika Kâğıt Endüstrisi Modeli "NAPAP"'ı ve yapacak odun kaynaklarını modellemede kullanılan "ATLAS"'ı da içermektedir (MILLS ve ark. 2000).

4.1.4 "NAPAP" MODELİ

Kuzey Amerika Kâğıt Endüstrisi Modeli "NAPAP", mekân itibariyle spesifik olan pazarlarda pazar dengesi için çözüm bulmada doğrusal programlamayı kullanır. Bu model kâğıt odunu ve geri kazanılmış kâğıt için bölgesel arz fonksiyonlarını ve başlıca kâğıt hamuru, kâğıt ve karbon üretim kapasitesi ile arz miktarlarını ayrıntılı olarak kapsamaktadır. Model aynı zamanda bütün son (nihai) ürünler için talep fonksiyonlarını da içermektedir (INCE 1994).

4.1.5 "ATLAS" MODELİ

"ATLAS" modeli, bir envanter projeksiyonu sistemi olarak kullanılır ve mevcut (kullanılabilir) odun çeşitleri envanterine ilişkin tahminler her bölge ve kaynak sahibi için odun çeşitleri arz ilişkilerinde değerlendirilir. ATLAS, alt bölgeler, bölgeler ve ülke ölçeğinde odun envanterlerini modelleştirmek amacıyla geliştirilmiştir ve bu modelleştirme Amerikan Orman Örgütü'nün Orman Envanteri ve Analizi Birimleri tarafından toplanan orman (işletme ormanı) envanteri verileri kullanılarak gerçekleştirilir. Bu veriler tür gurubu (orman tipi), yetişme ortamı verimliliği ve beklenen amenajman sınıfı itibariyle gruplandırılıp ayrı ayrı toplanmaktadır. Büyüme ve artım modelleri, geniş bir koşullar ve amenajman eğilimleri yelpazesini temsil edecek şekilde ortaya konur. Her bir simülasyon periyodunda, envanter değişimi büyümenin, alan itibariyle değişikliğin ve üretimin sonucu olarak ortaya çıkar (MILLS/KINCAID 1992).

4.1.6 "WOODCARB" MODELİ

"WOODCARB", "TAMM" modeline ek olan ve ülkenin tümünden elde edilen birincil orman ürünlerindeki karbonla ülkeye dışalımla giren tomruk, kereste, ahşap mamul ve kâğıt ürünlerindeki karbonu izlemeye yarayan bir modeldir.

Örneğin A.B.D. için NAPAP ve TAMM/ATLAS modellerinden elde edilen tarihsel verilerle projeksiyonlar WOODCARB modeli ile işleme sokularak 2040 yılına kadar karbon tahminleri yapılmıştır. Bu projeksiyonlarda;

- kullanılan ürünlerde bağlanan net karbon miktarının yıllar itibariyle büyüklüğü,
- arazi dolgularında ya da çöp dökme alanlarında bağlanan net karbon miktarının yıllar itibariyle büyüklüğü,
- kullanılabilir enerji üretilen yerlerde yakma sonucu atmosfere bırakılan yıllık karbon miktarları,
- enerji üretilmeksizin ayrışma (çürüme) ya da yanma sonucu atmosfere bırakılan yıllık karbon miktarları

belirlenmiştir (SKOG/NICHOLSON 2000).

5. DEĞERLENDİRME VE SONUÇ

Küresel ısınma uzun süredir devam etmekte, bunun olumsuz etkileri tüm dünyada çeşitli biçimlerde görülmekte, insanlığın geleceğini tehdit eden bu gidişin sürmesindeki en önemli faktörlerden birinin türlü insan etkinliklerine bağlı olarak atmosfere bırakılan sera gazlarındaki artış olduğu kabul edilmektedir.

Sera gazlarının en önemlisi karbon dioksittir. Yerküreden atmosfere verilen karbon dioksidin yaklaşık % 97'sinin kaynağı, doğal süreçlerdir. İnsan etkinliklerine bağlı karbon dioksit emisyonu ise, yıllık toplam emisyonun sadece % 3'ü düzeyindedir. Ancak emisyonunda insan etkinliklerine bağlı olarak ortaya çıkan bu küçük artış, doğal rezervuarların dengeleyici etkilerinin aşılmasına ve olumsuz sonuçların ortaya çıkmasına yeterlidir.

Son yıllarda sera gazları emisyonlarının azaltılması doğrultusunda uluslararası girişimler hız kazanmıştır. Bu alanda tüm ülkelerin tereddütsüz kabul ettiği ve gerçekleştirme çabalarına giriştiği önlem, atmosferdeki karbon dioksidi alarak biyokütleye dönüştürmek suretiyle bağlayan ormanların genişletilip geliştirilmesi olmuştur. Bu konuda başta A.B.D. olmak üzere gelişmiş ülkelerde ayrıntılı programlar hazırlanıp uygulamaya geçirilmektedir.

Atmosferdeki sera gazlarının stabilizasyonunda uygulanabilecek stratejiler genel olarak;

- (1) emisyonların azaltılması,
- (2) depolanmanın (fiksasyonun) artırılması,
- (3) hem emisyonların azaltılması, hem depolanmanın artırılması önlemlerinin birlikte uygulanması

doğrultusunda olabilir.

Ormanlık ve orman ürünleri endüstrisi sektörlerinde karbon dioksit emisyonlarının azaltılması, karbon dioksit depolanmasının artırılması ya da bu ikisinin kombinasyonu doğrultusunda uygulanabilecek seçenekler şöyle özetlenebilir:

1. Emisyonların Azaltılması
 - (a) Daha yoğun enerji kullanımını gerektiren ürünler yerine ağaçtan yapılan ürünlerin konulması
 - (b) Ağaç yetiştirmede, üretimde ve odunun işlenmesinde enerji talebinin azaltılması
 - (c) Orman (biyokütle) yangınlarının önlenmesi
2. Depolanmanın Arttırılması
 - (a) Marjinal tarım ve otlak alanlarının ağaçlandırılması
 - (b) Orman arazisinin başka kullanım şekillerine dönüştürülmesinin en aza indirilmesi
 - (c) Orman amenajmanının geliştirilmesi
 - (d) Üretimin (kesimin) azaltılması
 - (e) Tarımsal ormancılığın geliştirilmesi
3. Emisyon Azaltma/Depolanmayı Arttırma Kombinasyonları
 - (a) İleri yaşlardaki ormanların kesilip gençleştirilmesi
 - (b) Fosil yakıt enerjisinin yenilenebilir biyokütleden karşılanması
 - (c) Dayanıklı (uzun ömürlü) ahşap ürünlerdeki karbon oranının arttırılması
 - (d) Kâğıt ve odun lifleri geri kazanımının arttırılması
 - (e) Kentlerin ve kent çevrelerinin ağaçlandırılması.

Bu konularda en kapsamlı ve ayrıntılı araştırma ve uygulamaların Amerika Birleşik Devletleri'nde yapıldığı görülmektedir. Bu ülkede ormancılıkta ve orman ürünleri endüstrisinde yapılabilecek emisyon azaltıcı ve karbon dioksit bağlayıcı uygulamaların potansiyel etkileri, geliştirilen çeşitli modeller aracılığıyla yapılan simülasyonlarla araştırılmaktadır. Bu amaçla A.B.D.'de kullanılan belli başlı modeller;

- FORCARB
- FASOM
- TAMM
- NAPAP
- ATLAS
- WOODCARB

modelleridir.

Sera gazları emisyonlarının doğrudan ya da dolaylı azalmasıyla sonuçlanan ormancılık etkinlikleri, küresel ısınmanın hiç değilse yavaşlatılmasında önemli bir rol oynayabilir. Ormanlardaki karbon depolanmasının arttırılması potansiyeli oldukça büyüktür. Karbon depolama potansiyelini etkileyen hususlar orman arazisinin biyokütleyi barındırma açısından sahip olduğu biyolojik potansiyel, yeni ormanlar kurmak için uygun arazinin bulunabilirliği, ormanlarda daha fazla karbon depolamanın ve bu durumu sürdürmenin maliyetleri ve gerektirdiği ödünleşmelerdir. Tüm ormanların eşzamanlı olarak hem maksimum büyüme yapmasına, hem de maksimum miktarda karbonu bağlayarak depolamasına pratik açıdan olanak yoksa da, büyüme hızının ve depolanan karbon miktarının arttırılması biyolojik ve ekonomik bakımdan olanaklıdır.

A.B.D. için yapılan projeksiyonlar, ormanlarda karbon depolanmasını arttırma amacına yönelik bir program uygulanmasa bile, halihazırdaki tomruk piyasası etkinliklerinin ve ormancılık politikalarının sonucunda ormanlarda depolanan karbon miktarında önemli artışlar olabileceğini göstermiştir. Ancak, özellikle iklim değişikliğinin ekosistemler üzerindeki olumsuz etkilerinin önemli boyutlarda olması ve bunun –orman ekosistemlerinin bu değişikliğe uyum sağlaması aşamasında- biyoküttele fazlasıyla azalmaya yol açması durumunda, ormanlarda depolanan karbonun ne kadar zamanda artışa geçeceği konusunda bazı belirsizlikler vardır. Karbonun depolanma-

sında ormanların rolü, bu kısıtlar nedeniyle genellikle kısa vadeli bir etkiye sahiptir. Buna karşın atmosferdeki karbon dioksit stoğunda olabildiğince kısa vadede bir azalma arzu edildiği için, ormancılık etkinlikleri geniş kapsamlı sera gazı azaltma stratejisinin ayrılmaz bir parçasını oluşturmaktadır. A.B.D. için karbon depolanmasının artırılmasında uygulanabilecek başlıca ormancılık seçeneklerine ilişkin tahminler Tablo 1'de özetlenmiştir.

Tablo 1: A.B.D.'de Başlıca Ormancılık Seçeneklerinin Karbon Depolanmasına Katkıları

| Seçenek | Programın Büyüklüğü | Karbon Depolanmasındaki Artış (Gigaton C/yıl) | Hedefe Ulaşma Süresi (yıl) |
|--|------------------------------|---|----------------------------|
| Marjinal tarım ve otlak alanlarının ağaçlandırılması | 9,2-18 milyon ha | 50 | 20-30 |
| Orman amenajmanının geliştirilmesi | 12-20 milyon ha | 50 | 0-10 |
| Üretimin (kesimin) azaltılması | 6,23 milyon m ³ | 50 | 0-10 |
| Geri kazanımın artırılması | Kullanılan elyafın % 40-45'i | 10 | 0-10 |
| Uzun ömürlü ahşap ürünlerdeki karbonun artırılması | % 50 artış | 10 | 0-10 |
| Kent ormancılığı | 100 milyon ağaç dikimi | 10 | 20-30 |
| Biyokütle enerjisi kullanımının artırılması | 0,5 milyon ha plantasyon | 30 | 10-20 |

(Kaynak: BIRDSEY/ALIG/ADAMS 2000)

Kullanılan ya da dolgu alanlarında ve/veya çöplüklerde toprağa gömülerek yok edilen ahşap ürünlerde depolanmış karbon miktarının artırılması, ormancılık etkinliklerinin önemli bir yönüdür. Aynı zamanda odunun çeşitli ürünlere dönüştürülmesinde enerjinin etkin kullanımını geliştirmek suretiyle orman ürünleri sektöründen atmosfere verilen sera gazı emisyonlarının azaltılması da mümkündür.

Çeşitli etkinlik seçeneklerinin potansiyel etkileri ve maliyetleri dikkate alındığında ve bazı seçeneklerin henüz yeterince analiz edilemediği düşünüldüğünde, "orman amenajmanının geliştirilmesi"nin, başka bir deyişle orman kaynakları yönetiminde, karbon depolanmasını artırma stratejisi dorultusunda gerçekleştirilecek planlama ve uygulamaların, orman ekosistemlerinde kısa vadede daha fazla karbon depolanmasında en düşük maliyetli seçenek olduğu görülmektedir. Nitekim Tablo 1'de ayrıntıları verilen seçeneklerin uygulanmasında yıllık maliyetlerin, örneğin marjinal tarım ve otlak alanlarının ağaçlandırılması için 350-770 milyon dolar, kent ormanları oluşturulması için 50-250 milyon dolar, buna karşılık orman amenajmanının geliştirilmesi için ise sadece 40-80 milyon dolar olduğu hesaplanmıştır. Üstelik hedefe ulaşmak için gerekli süreler marjinal tarım ve otlak alanlarının ağaçlandırılması ve kent ormanları oluşturulması seçenekleri için 20-30 yıl iken, orman amenajmanının geliştirilmesi seçeneğinde bu süre sadece 0-10 yıldır.

Ormanların korunması, hastalık ve yangın gibi doğal afetler katastrofik boyutlara ulaşmadığı sürece, kısa vadede ormanda bağlanan karbon miktarının aynı kalmasında ya da artmasında etkili olacaktır.

Sera gazı emisyonlarının azaltılmasında ve küresel ısınmanın şiddet ve etkilerinin hafifletilmesinde kullanılabilir çok sayıda politika araçları vardır. Ormancılık etkinlikleri ve orman alanlarının kentleşmeye ve tarıma bağlı olarak elden çıkması sonucundaki ormansızlaşmanın yavaşlatılması da bu araçlardandır. Ormanlarda karbon depolanmasının artırılmasına yönelik politikalar, gelecek onyıllar içinde nüfusta gerçekleşecek artışlar da göz önünde tutularak belirlenmek zorundadır. Gelecekteki bu nüfus artışlarının ileride yeni orman alanları oluşturulması olanağını da ortadan kaldıracığı unutulmamalıdır.

Bilindiği gibi atmosferdeki bazı gazlar ve bunların oranındaki artış, atmosferin sıcaklığını arttırıcı bir etki yaratmakta ve bu gazlara topluca "sera gazları" denilmektedir. Başlıca sera gazları karbon dioksit, metan, azot oksitler, kloroflorokarbonlar ve su buharıdır.

Arazi amenajmanı (kullanım) etkinlikleri, sera gazlarının emisyonunu ve atmosferden alınıp bağlanmasını etkiler. Bu karbon akışlarının işlemlerini etkileyen süreçler, farklı mekân ve zaman çerçevelerinde yürür. Günümüzde karbon dioksitin ana kaynaklarının başında fosil yakıt kullanımı ve arazi kullanımındaki değişiklikler, özellikle de tropik kuşaktaki ormansızlaşma gelmektedir. Karbonun depolandığı ana rezervuarlar atmosfer, okyanuslar ve jeotasyondur. Karbonun jeotasyon tarafından bağlanması en hızlı süreçtir ve yıl içinde atmosferdeki karbon dioksit konsantrasyonlarının değişimi, jeotasyonun büyüme eğiliminin de bir göstergesi durumundadır. Toprağa ve okyanusun derinliklerine olan karbon dioksit transferlerinin zaman ölçeği ise on yıl ile yüz yıl arasında değişen boyutlardadır.

Küresel ölçekte atmosfer, okyanuslar ve karalar arasındaki karbon dioksit transferleri bir bilanço yaklaşımıyla incelendiğinde, bilinen karbon kaynakları arasında en büyük payı fosil yakıt kullanımından ve çimento üretiminden çıkan emisyonların aldığı görülmektedir (Tablo 2). Atmosferik örneklemeler ve orman envanterleri, tropik kuşaktaki ormanların yok edilmesinden ve arazinin başka kullanımlara dönüştürülmesinden ortaya çıkan karbon dioksit artışlarının (karbon kaynaklarının), Kuzey Yarıküredeki yeni ve/veya yeniden yetişen ormanların bağlayıcı/depolayıcı etkileri ile aşağı yukarı dengelendiği göstermektedir.

Tablo 2: 1980-1989 Peryodu İçin Yıllık Ortalama Antropojen Karbon Bilançosu

| CO ₂ Kaynakları | Miktarlar (Gigaton C/yıl) |
|---|---------------------------|
| (1) Fosil yakıt kullanımından ve çimento üretiminden emisyonlar | 5,5 ± 0,5 |
| (2) Tropik kuşakta ormansızlaşmadan kaynaklanan net emisyonlar | 1,6 ± 1,0 |
| (3) Toplam antropojen emisyonlar = (1) + (2) | 7,1 ± 1,1 |
| Rezervuarlara Dağılım | |
| (4) Atmosferde depolanma | 3,3 ± 0,2 |
| (5) Okyanuslarda çözünme/depolanma | 2,0 ± 0,8 |
| (6) Kuzey Yarıküredeki yeni ormanlarda depolanma | 0,5 ± 0,5 |
| (7) Çökelip yoğunlaşma = (3) - [(4) + (5) + (6)] | 1,3 ± 1,5 |

(Kaynak: JOYCE/BIRDSEY 2000)

Deneyisel araştırmalar, karbonun jeotasyon tarafından bağlanıp depolanmasının, atmosferdeki karbon dioksit artışından ve atmosferdeki azot birikiminden kaynaklanan "azot gübrelemesi"nden olumlu yönde etkilenebileceğini göstermiştir (KAUPPI ve ark. 1992; MAGILL ve ark. 1997; ABER ve ark. 1998). Jeotasyonun küresel karbon bütçesinde gelecekteki rolünün ne olacağı büyük ölçüde belirsizdir; bunun nedeni, atmosferdeki karbon dioksit ve azot birikiminin jeotasyon üzerinde gübre etkisi yapması gibi kimi konularda henüz net bilgi ve anlayıştan yoksun olmamız, ayrıca gelecekte tropik kuşaktaki orman azalmasının ve orta enlemlerde yeni orman oluşturma ve mevcut ormanları gençleştirme çalışmalarının hangi hız ve boyutlarda gerçekleşeceğini kestiremememizdir (JOYCE/BIRDSEY 2000).

A.B.D.'de 1974'te çıkarılan Orman ve Otlak Alanları Yenilenebilir Kaynaklar Planlama Yasası (Forest and Rangeland Renewable Resources Planning Act), Tarım Bakanlığına 1975 yılı içerisinde bir Yenilenebilir Kaynaklar Değerlendirmesi hazırlama ve değerlendirmeyi 1979'dan başlayarak onar yıllık periyotlar için "güncelleştirme" görevi vermiştir. Bu değerlendirmenin "yenilenebilir kaynakların halihazırdaki ve ileride beklenen kullanımının, bunlara ilişkin talep ve arzın uluslararası kaynak durumu da dikkate alınarak yapılacak, ayrıca buna göre arz, talep ve fiyat ilişkilerinin eğilimini ortaya koyacak bir analizini de içermesi" gerekmektedir. Yasanın çık-

tığı 1974 yılından bu yana tüm ülkeyi kapsayan 3 değerlendirme ve 2 güncelleştirme yapılmış ve bunlarda yaban hayatı, su, birincil orman ürünleri, rekreasyon ve orman içi otlaklar ve madenler dahil orman ve otlak kaynaklarının mevcut ve gelecekteki olası durumları gözden geçirilmiştir. Değerlendirmeler tipik olarak;

- (1) kaynağın mevcut durumunun tanıtımını,
- (2) kaynak çıktıları için bir arz ve talep projeksiyonunu,
- (3) projeksiyonların toplumsal, ekonomik ve çevresel etkilerini,
- (4) kaynağın geliştirilmesinde kullanılabilir yönetim (amenajman) uygulamalarını,
- (5) Orman Örgütünün programlarının ve sorumluluklarının tanıtımını

kapsamaktadır. Bu değerlendirmelerin sonuçları, ileride uygulanacak yenilenebilir kaynak yönetimi (amenajman) programlarının formüle edilmesinde veri tabanı olarak kullanılmaktadır.

Ormanların küresel karbon çevriminin normal ölçülerde sürdürülmesindeki önemi, 1995'te Avustralya, Kanada, şili, Çin, Japonya, Kore Cumhuriyeti, Meksika, Yeni Zelanda, Rusya Federasyonu ve Amerika Birleşik Devletleri hükümetleri tarafından imzalanan Santiago Deklarasyonunda ılıman kuşak ormanları ve boreal ormanlar için resmen tanınmıştır. Bu deklarasyon, hükümetlerin politikalarını belirlerken kullanmaları için ormanların korunmasına ve sürdürülebilir yönetimine ilişkin bir dizi kriter ve göstergeleri kapsamlı biçimde tanımlamıştır. Bu kriterlerden biri (Kriter 5) de "küresel karbon çevrimlerine ormanların katkısının korunup geliştirilmesi"dir.

Sera gazları arasında ağırlıklı olarak karbon dioksit üzerinde durulmasının nedeni, başta da belirtildiği gibi endüstri devriminden bu yana bu gazın emisyonunda insan etkinliklerine bağlı olarak çok hızlı bir artışın meydana gelmesi ve bu artışın katlanarak sürmesidir. Nitekim atmosferdeki karbondioksit konsantrasyonundaki artış 1994 yılında hacim cinsinden 1,5 ppm/yıl (% 0,4/yıl) olarak belirlenmiştir (JOYCE/BIRDSEY 2000). Öte yandan karbon dioksitin atmosferdeki ömrü 50-200 yıl arasında (yaklaşık 100 yıl) dır ve bu süre, diğer sera gazlarının ve aerosollerin ömründen çok daha uzundur. Ayrıca insan yapısı aerosoller tüm dünya atmosferine dağılmayıp lokal olarak kaldığı halde, karbon dioksit tüm atmosfere dağılmakta ve küresel iklim üzerinde etkili olmaktadır.

Bütün bunlar dikkate alındığında, ormanların işlevlerine ve ormancılığın görevlerine bir yenisinin daha eklendiğini söyleyebiliriz. Küresel ekosistemde çeşitli insan etkinlikleri sonucunda meydana gelen, giderek hız kazanan ve insanlığın geleceğini karartan bozulmaların önüne geçilmesi, büyük ölçüde ormanların korunması, geliştirilmesi ve daha iyi yönetilmesi ile sağlanabilecektir.

KAYNAKLAR

ABER, J.; McDOWELL, W.H.; NADELHOFFER, K.J. [et al.] 1998: Nitrogen Saturation in Temperate Forest Ecosystems. Bioscience 48: 921-934.

ADAMS, D.M.; HAYNES, R.W. 1996: The 1993 Timber Assessment Market Model/Structure, Projections and Policy Simulations. USDA Forest Service General Technical Report PNW -358, Portland, Oregon.

ASAN, Ü. 1999: Ormancılık Bilgisi. İ.Ü.Orman Fakütesi Yayın No. 4197/461, İstanbul.

- BIRDSEY, R. 1992: Carbon Storage and Accumulation in United States Forest Ecosystems. USDA Forest Service General Technical Report WO-GTR-59, Radnor, PA.
- BIRDSEY, R.; ALIG, R.; ADAMS, D. 2000: Mitigation Activities in the Forest Sector to Reduce Emissions and Enhance Sinks of Greenhouse Gases. "The Impact of Climate Change on America's Forests". USDA Forest Service General Technical Report RMRS-GTR-59, Fort Collins, Colorado.
- D+C 1995: Sweating Over Global Warming. Development and Cooperation, No.3.
- D+C 2001: Global Warming Continues. Development and Cooperation, No.2.
- GÖRCELİOĞLU, E. 1986: Peyzaj Düzenlemelerinde Güneş Açılarının Değerlendirilmesi. İ.Ü.Orman Fakültesi Dergisi, Seri B, Cilt 36, Sayı 4.
- GÖRCELİOĞLU, E. 1995 (2000): Ekosistem, Kent ve İnsan. İ.Ü.Orman Fakültesi Dergisi, Seri B, Cilt 45, Sayı 3-4.
- GÖRCELİOĞLU, 1999 (2001): Kent Ormanları ve İklim Değişmesi. İ.Ü.Orman Fakültesi Dergisi, Seri B, Cilt 49, Sayı 1-2-3-4.
- INCE, P.J. 1994: Recycling and Long-Range Timber Outlook. USDA Forest Service General Technical Report RM-242, Fort Collins, Colorado.
- JO, H.K.; McPHERSON, E.G. 1995: Carbon Storage and Flux in Urban Residential Greenspace. Journal of Environmental Management 45.
- JOYCE, L.; BIRDSEY, R. (Ed.) 2000: The Impact of Climate Change on America's Forests. USDA Forest Service General Technical Report RMRS-GTR-59, Fort Collins, Colorado.
- KAUPPI, P.E.; MIELKÄINEN, K.; KUUSELA, K. 1992: Biomass and Carbon Budget of European Forests. Science 256; 70-74.
- MAGILL, A.H.; ABER, J.; HENDRICKS, J.J. [et al.] 1997: Biogeochemical Response of Forest Ecosystems to Simulated Chronic Nitrogen Deposition. Ecological Applications 7: 402-415.
- McPHERSON, E.G.; SIMPSON, J.R. 1999: Carbon Dioxide Reduction Through Urban Forestry. USDA Forest Service General Technical Report PSW-GTR-171, Albany, California.
- MILLS, J.R.; KINCAID, J.C. 1992: The Aggregate Timberland Assessment System-ATLAS/A Comprehensive Timber Projection Model. USDA Forest Service General Technical Report PNW-281, Portland, Oregon.
- MILLS, J.R.; ALIG, R.; HAYNES, R.W.; ADAMS, D.M. 2000: Modeling Climate Change Impacts on the Forest Sector. "The Impact of Climate Change on America's Forests". USDA Forest Service General Technical Report RMRS-GTR-59, Fort Collins, Colorado.
- NOWAK, D.J. 1994: Atmospheric Carbon Dioxide Reduction by Chicago's Urban Forest. "Chicago's Urban Forest Ecosystem". USDA Forest Service General Technical Report NE-GTR-186, Radnor, PA.
- SKOG, K.E.; NICHOLSON, G.A. 2000: Carbon Sequestration in Wood and Paper Products. "The Impact of Climate Change on America's Forests". USDA Forest Service General Technical Report RMRS-GTR-59, Fort Collins, Colorado.