
SERİ

B

CİLT

52

SAYI

1

2002

İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ

ORMAN FAKÜLTESİ

DERGİSİ



F.1

BİYOLOJİK AZOT BAĞLANMASININ ORMANCILIKTAKİ ÖNEMİ VE KULLANIMI

Ar.Gör.Dr. Fahrettin TİLKI¹⁾

Kısa Özet

Bitki gelişimini sınırlayan önemli besin elementlerinden olan azot (N) bitkiler tarafından havadan doğrudan doğruya alınamamaktadır. Atmosferik azotun (N₂) organik forma dönüştürülmesi (biyolojik azot bağlanması) mikroorganizmalar tarafından gerçekleştirilmektedir. Bunun sonucunda özellikle bitkiler tarafından alınabilen topraktaki azot miktarı önemli oranda artmaktadır. Biyolojik azot bağlanması muhtemelen bütün orman ekosistemlerinde meydana gelmekte ve bağlanabilen azotun orman topraklarındaki en önemli biyolojik kaynağını oluşturmaktadır. Azot bağlama yeteneğindeki otsu ve odunsu türler ile azot içeriğinin artırılması ve toprak koşullarının iyileştirilmesi bir silvikültürel araç olarak bazı ülkelerin ormancılığında kullanılmaktadır. Bu çalışmada biyolojik azot bağlanması ve ormancılıktaki kullanımı açıklanmaya çalışılmıştır.

Anahtar kelimeler: Azot, Biyolojik azot bağlanması, Silvikültür

BIOLOGICAL NITROGEN FIXATION AND ITS ROLE IN FORESTRY

Abstract

Nitrogen is one of the primary limiting factors for plant growth in the soil and can not be taken up by the trees from the atmosphere directly. Biological nitrogen fixation is the biochemical process to which elemental nitrogen is combined into organic forms. It is carried out by a number of organisms and increases the amounts of available nitrogen. It occurs in most, probably all, forest ecosystems, and thus is a factor in all silvicultural systems. Symbiotic nitrogen fixation provides the major biological source of fixed nitrogen in forest soils. Nitrogen fixing plants as a silvicultural tool have been used increasingly for land reclamation, soil protection, and increasing the amount of humus and available nitrogen content of the soils. Biological nitrogen fixation and its role in forestry were evaluated in this research.

Keywords: Nitrogen, Biological nitrogen fixation, Silviculture

¹⁾ İ.Ü. Orman Fakültesi Silvikültür Anabilim Dalı

1. GİRİŞ

Azot bitki için önemli bir besin maddesi olup çoğu zaman bitki gelişimini sınırlayan besin elementlerinin başında gelmektedir. Atmosferik hacmin % 78'i (3.9×10^{21} g) azottan oluşmasına karşın bitkiler element halindeki bu azotu havadan doğrudan doğruya alamamaktadırlar. Bitkiler ancak azotu NO_3^- (nitrat) ve NH_4^+ (amonyum) formunda alabilmektedir. Topraktaki inorganik azotun ana kaynağını organik maddeler, atmosferik azot ve azot gübreleri oluşturmaktadır (FRANCO 1982; AKKERMANS/HOUWERS 1983; PAUL/CLARK 1989; FAO 1993).

Toprak, iklim, ağaç türü ve meşcere yaşına bağlı olarak değişmekle birlikte yıllık azot alımı 34-123 kg/ha olup bunun 22-79 kg'ı tekrar toprağa dönmekte, 8-44 kg'ı ise biyokütlede tutulmaktadır (DUVIGNEAUD/DENAAYER 1970). Topraktaki toplam azot 15.000 kg/ha'a kadar ulaşabilmektedir. Örneğin Belçika yapraklı ormanlarında bu değer 4480-13760 kg/ha'dır. Toprak organik maddesinin azot içeriği % 1.5-3.0 arasında değişmektedir. Canlı biyokütle 100-400 kg/ha azot içermekte olup, ekosistemdeki toplam azot ile kıyaslandığında ağaçların yıllık ihtiyacı az gözükmesine karşın, toprak azotunun yalnızca yaklaşık % 1'inin alınabilir yapıda olması sorun olmaktadır (MIKOLA ve ark. 1983).

Atmosferik azotun organik forma dönüştürülmesinde, doğal abiyotik olaylar (yıldırım, volkanik aktiviteler ve yağış gibi) ve endüstriyel azot elde etmeden ziyade mikroorganizmalar tarafından bağlanan azot çok daha fazla önem taşımaktadır. Simbiyotik azot bağlanması ile 10-300 kg/ha/yıl azot sağlanabilmektedir, bunun yanında yağış yolu ile NO_3^- ve NH_3 girdisi 0.5-10 kg/ha/yıl gibi düşük bir oranda gerçekleşmektedir (PRITCHETT/FISHER 1987; PAUL/CLARK 1989; FAO 1993; PERRY 1994).

Köklerinde bulunan bakteriler vasıtasıyla azot bağlama yeteneğindeki bazı bitkiler ile azot eksikliğinin giderilmesi ve toprak iyileştirilmesi başta Avrupa ülkeleri, Avustralya ve ABD olmak üzere bazı ülkelerin ormancılığında kullanılmaktadır.

Bu çalışmada, biyolojik azot bağlama olayının ormancılıktaki önemi ve havanın serbest azotunu bağlayabilen bazı otsu ve odunsu türlerin, bir silvikültürel araç olarak ormancılığa kullanılması açıklanmaya çalışılmıştır.

2. BİYOLOJİK AZOT (N_2) BAĞLANMASI

Bazı bitkilerin özellikle baklagil türlerinin köklerinde bulunan bakteriler havanın serbest azotunu bitkilerin alabileceği yapıya dönüştürebilmektedir. Biyolojik azot bağlama olayı olarak adlandırılan bu işlem kısaca toprakta serbest yaşayan bakteriler (veya mavi-yeşil yosun) ve bir mikroorganizma ile bir bitki veya mantarın simbiyotik birlikteliği tarafından gerçekleştirilmektedir (SHANTHARAM/MATTOO 1977; PRITCHETT/FISHER 1987; BURRIS 1988). Atmosferik azotun organik forma dönüştürülmesini sağlayan mikroorganizmalara azot bağlayıcılar veya diazotrofs denilmektedir (PERRY 1994).

2.1 Simbiyotik Olmayan (Serbest Yaşam) Azot Bağlanması

Serbest yaşayan bakteriler (veya mavi-yeşil algler) tarafından bağlanabilen azot miktarı oldukça az olup (1-2 kg/ha) orman topraklarında fazla bir önem taşımadığı ifade edilmektedir. *Azomonas*, *Azotobacter*, *Beijerinckia*, *Azospirillum* gibi aerobik (iyi havalanabilen topraklarda

faaliyet gösterebilme) ve *Clostridium* ve *Desulfovibrio* gibi anaerobik bakteriler (kötü havalandırılan topraklarda faaliyet gösterebilme) bu azot bağlama olayında rol oynamaktadır (MIKOLA ve ark. 1983; PRITCHETT/FISHER 1987; SPRENT/SPRENT 1990). Ilıman bölge topraklarında aerobik *Azotobacter*, tropik topraklarda *Beijerinckia* ve anaerobik ortamlarda *Clostridium* ana olarak rol oynamaktadır (PRITCHETT/FISHER 1987; SPRENT/SPRENT 1990).

2.2 Simbiyotik (Ortak Yaşam) Azot Bağlanması

Simbiyotik azot bağlanması çoğu orman topraklarında önemli bir rol oynamaktadır. Bu işlem, baklagil türleri ile *Rhizobium* cinsine ait bakteriler arasında ve Actinomycetlerin bir cinsi olan *Frankia* tipi bakteriler ile baklagil olmayan bitkiler (*Alnus*, *Myrica*, *Hippophae*, *Elaeagnus*, *Shepherdia*, *Casuarina*, *Coriaria* ve *Ceanothus*) arasındaki bir ortak yaşama ilişkisinin sonucu olarak meydana gelmektedir (PRITCHETT/FISHER 1987; BURRIS 1988; WHEELER 1991). Baklagil olmayan bazı türlerde de (*Ulmaceae* familyasına ait *Parasponia* cinsi) simbiyotik azot tutulmasında rhizobium bakterileri ile olan işbirliğinin önemli olduğu ifade edilmektedir. Gymnosperm taksonlarında ise simbiyotik azot bağlama yeteneği birkaç taksonda ve bazı koşullar altında mevcuttur. Örneğin *Podocarpus* ve *Cycas* taksonlarına ait bitki örnekleri yumruya benzer yapılarla sahip olup *Cycas*'ın bazı koşullar altında azot bağlayabildiği belirtilmektedir (AKKERMANS/HOUWERS 1983; PRITCHETT/FISHER 1987; PAUL/CLARK 1989). Global olarak simbiyotik azot bağlanması bitki azot alımının % 8.5' ini (120.10^{12} gr) oluşturmaktadır (PAUL/CLARK 1989).

Baklagil familyasını oluşturan türlerin yaklaşık % 20'si yumru oluşturabilmektedir. Ilıman bölge baklagillerinin dahil oldukları cins sayısı azdır (*Robinia*, *Prosopis* gibi) ve çoğu otsu niteliktedir. Bununla birlikte baklagil türleri tropik ormanlarda yaygındır ve genellikle kurak tropik ormanlarda ve savanalarda hakim durumdadırlar (HOGBERG 1986; PERRY 1994). Otsu baklagiller bazı ılıman orman ekosistemlerinde de yaygındırlar ve sisteme önemli oranda azot eklemektedirler. Actinorhizal bitkiler (*Frankia* ile simbiyotik ilişki kuran bitkiler) ılıman ve boreal orman ekosistemlerinde en önemli yumru oluşturabilen bitkilerdir (Tablo 1).

Tablo 1: Aktinorhizal Bitkiler (*Frankia* tipi bakteriler ile yumru oluşturabilen türler) (AKKERMANS/HOUWERS 1983; DAWSON 1983; WHEELER 1991; FAO 1993).

Familya	Cins
Betulaceae	<i>Alnus</i>
Casuarinaceae	<i>Allocasuarina</i> , <i>Casuarina</i> , <i>Gymnostoma</i>
Coriariaceae	<i>Colletia</i> , <i>Coriaria</i>
Datisceae	<i>Datisca</i>
Elaeagnaceae	<i>Elaeagnus</i> , <i>Hippophae</i> , <i>Shepherdia</i>
Myricaceae	<i>Comptonia</i> , <i>Myrica</i>
Rhamnaceae	<i>Ceanothus</i> , <i>Discaria</i> , <i>Kentrothamnus</i>
	<i>Colletia</i> , <i>Talguenea</i> , <i>Trevoa</i>
Rosaceae	<i>Cercocarpus</i> , <i>Chamaebatia</i> , <i>Cowania</i>
	<i>Dryas</i> , <i>Purshia</i> , <i>Rubus</i>

Frankia ile ortak yaşama ilişkisi kuran (Actinorhizal) bitkiler birinci ve ikinci süksesyon boyunca öncü bitkiler olarak yaygındırlar. Bu bitkiler toprağa azot (N) ve karbon (C) ekleyerek önemli bir ekolojik rol oynarlar. *Frankia* ile simbiyotik ilişki kuran bitkiler tarafından bağlanabilen yıllık azot miktarı baklagillerde olduğu gibi tür, arazi, bitkilerin sıklığı ve yaşı gibi etkenlere bağlı olarak değişmektedir. Cyanobacteria olan *Nostoc* gibi türler, bazı bitki (*Gunnerea* türleri), yosun, ve mantar ile simbiyotik birliktelik oluşturabilmekle birlikte bağlanabilen azot ılıman bölge ormanlarında önem taşımamaktadır (PAUL/CLARK 1989; SPRENT/SPRENT 1990; PERRY 1994).

Genel olarak, biyolojik azot bağlanması ile orman ekosistemine 100-400 kg N/ha/yıl azot sağlanabilmektedir. Serbest yaşayan bakteriler <15 kg N/ha/yıl, Cyanobakteriler 7-80 kg N/ha/yıl, baklagil olmayan türlerin *Frankia* cinsi bakteriler ile 2-362 kg N/ha/yıl ve en yüksek olarak da Rhizobium-Baklagil işbirliği ile 24-584 kg N/ha/yıl azot toprağa verilebilmektedir (ELKAN 1992; FAO 1993). Bazı türlere ait yıllık bağlanabilen azot miktarına ait değerler Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2: Bazı Türler Ait Azot Bağlama Değerleri

(TRIPP ve ark. 1979; PERMAR/FISHER 1983; PRITCHET/FISHER 1987; FAO 1993).

Tür	Bağlanan N Miktarı (kg/ha/yıl)
<i>Myrica gale</i>	3-25
<i>Alnus rubra</i>	60-300
<i>Alnus glutinosa</i>	<56
<i>Casuarina equisetifolia</i>	60-200
<i>Eleagnus</i>	<15
<i>Robinia pseudoacacia</i>	100-200
<i>Hippophae</i>	2-180
<i>Wax myrtle</i>	<132

2.3 Yumru Oluşumu

Toprakta bulunan bakteriler önce kök emici tüylerinin hücreleri içerisine girerler. Kök içinde asimile edilebilir bol miktarda besin maddeleri bulunduğundan kısa zamanda fazla miktarda çoğalırlar ve kökün dip tarafına doğru bir enfeksiyon uzantısı yaparlar. Bu enfeksiyon bitki kökünü zedeler. Enfeksiyonun uyarıcı etkisi ile bakterilerin zararını önlemek için meristem dokusu hücrelerinde hızlı bir çoğalma başlar. Bu durum bakterilerin etrafında bir yumrunun oluşumu ile sonuçlanır (PAUL/CLARK 1989; BERRY/SUNELL 1990; WHEELER 1991; FAO 1993). Çok nemli ortamlarda yumru gövde üzerinde de oluşabilmektedir (PAUL/CLARK 1989; SPRENT/SPRENT 1990; PERRY 1994).

Ortak yaşayan bakterilerin topraktaki faaliyetleri ve yumru oluşturabilmeleri; toprağın pH, sıcaklık, tuzluluk, havalanma durumu, topraktaki besin elementlerinin (P, Ca, K, Mn, Fe, Al ve mikro besin elementleri) durumu ile çeşitli bitkisel etkenlere (kök salgıları, toksik tohum maddeleri gibi) bağlı olarak değişmektedir (GRAHAM 1984; FREIRE 1984; PRITCHET/FISHER 1987; BURRIS 1988; WHEELER 1991; TILKI/FISHER 1998). Ortak

yaşayan bakteriler hafif asit-nötr-hafif alkali ve yeterli havanın bulunduğu ortamlarda yaşayabilmektedirler. Özellikle asit ortamlarda yumru oluşamamakta olup, pH doğrudan ve dolaylı olarak yumru oluşumunu ve azot bağlamayı etkilemektedir. Asiditesi yüksek ortamlarda (pH=3-5) azot bağlama yeteneğindeki türler ile çalışmalar özellikle Amerika, Afrika ve Asya'da devam etmekte ve bu çalışmalar sonucunda *Acacia* sp., *Leacuanea* sp., *Gliricidia* sp. gibi türler ile olumlu sonuç alınmaktadır (FISHER/JUO 1995; POWELL 1995; TILKI/FISHER 1998). Fosfor gibi bazı besin elementlerinin azlığı yumru oluşumunu ve azot bağlamayı olumsuz etkilemekte ve yüksek orandaki Al, N, Mn, Fe gibi elementler ile düşük toprak sıcaklığı ve su stresi havanın serbest azotunun bağlanmasını olumsuz yönde etkilemektedir (COVENTRY/EVANS 1989; SPRENT/SPRENT 1990).

3. AĞAÇLARIN AZOT EKSİKLİĞİNİN GİDERİLMESİ

Topraktaki alınabilir azotun artırılmasında iki ana yol vardır:

- a. Toprağın organik maddesinin ayrışmasına yardımcı olmak ve azot mineralizasyonunu hızlandırmak,
- b. Toprağa alınabilir formda azot eklemek (mineral gübreleme)

Her birisinin olumlu ve olumsuz yönleri bulunmakta ve değişik biyolojik ve ekonomik faktörler bunların kullanılmasında rol oynamaktadır (MIKOLA ve ark. 1983).

Azot eksikliğini gidermenin en kolay yolu toprağa gübre vermektir. Bu nedenle azot gübrelemesi ham humus sahalalarında ve az azot içeren sahalarda kullanılmaktadır. Bununla birlikte gübrelemenin pahalı olması, çevreye olan olumsuz etkisi, etkisinin kısa dönem sürmesi ve etkili olabilmesi için sık sık uygulamanın tekrar edilmesi gibi olumsuz yönleri vardır. Ham humusu azaltmak ve azot mineralizasyonunu teşvik etmek için kontrollü yakma, toprak işleme, potasyum ve fosfor gübreleme v.b. yöntemler kullanılabilirle birlikte en iyi sonuç biyolojik olarak azot bağlayabilen türlerin sisteme eklenmesiyle elde edilmiştir (GORDON 1983; MIKOLA ve ark. 1983).

Gübreleme ve azot mineralizasyonunu artırma sorunlarından kaçmak için biyolojik azot bağlama olayı Avrupa silvikültüründe önerilmiştir. Azot bağlayan türler doğrudan azot eklemenin aksine ağaçlar üzerindeki olumlu etkisini uzun süre sonra göstermekte fakat uzun bir süre etkili olabilmektedir. Ayrıca, azot bağlama yeteneğindeki bitkiler genellikle toprağın humus içeriğini ve humus özelliklerini iyileştirmektedir. Bu amaçla, kumlu topraklarda düşük olan humus ve azot miktarı, azot bağlayabilen bitkiler ile düzeltilebilmekte olup bu konuda Türkiye dahil bir çok ülkede çalışmalar yapılmıştır (ATAY 1964; MIKOLA ve ark. 1983; TARRANT 1983).

4. BİR SİLVİKÜLTÜREL ARAÇ OLARAK BİYOLOJİK AZOT BAĞLANMASININ OLUMLU VE OLUMSUZ YÖNLERİ

Biyolojik azot bağlanmasının özellikle ılıman bölge ormanlarında azot gübreleri ile kıyaslanması sonucu ortaya çıkan olumlu ve olumsuz yönleri aşağıdaki şekilde sıralanabilir (GORDON 1983; MIKOLA ve ark. 1983; SPRENT/SPRENT 1990):

Olumlu yönleri;

- Uzun süre düzenli olarak toprağa azot sağlamaktadır.
- Çeşitli nedenlerden (yıkınma gibi) kaynaklanan azot kaybı daha az olmaktadır.
- Kimyasal bir zararı yoktur.
- Toprağın organik maddesine katkıda bulunmaktadır.
- Ucuzdur ve teknik açıdan uygulanması daha kolaydır.

Olumsuz yönleri;

- Azot bağlama yeteneğindeki türlerin biyolojisi ve silvikültürü az bilinmektedir.
- Büyüme artışına olan etkisi endüstriyel gübrelemeye göre daha geç görülmektedir.
- Muhtemelen daha kompleks bir ekosistem üretilmektedir.
- Bazı baklagil türlerinin alana getirilmesi pahalı olabilmektedir.
- Alandaki rekabet artabilmektedir.
- Azot bağlayan türlerin ekonomik değerleri genellikle düşüktür.

5. AZOT BAĞLAYABİLEN OTSU TÜRLERİN KULLANIMI

Azot bağlama yeteneğindeki otsu baklagil türleri ile toprak iyileştirmesi başta Avrupa olmak üzere Amerika, Ukrayna, Rusya, Yeni Zelanda, Avustralya, ve Baltık ülkelerinde kullanılmaktadır (REFHUESS 1979; MIKOLA ve ark. 1983; TARRANT 1983; TURVEY / SMETHURST 1983; SMETHURST ve ark. 1986). Azot bağlama yeteneğindeki türler alana ana tür ile aynı anda, ana tür alana getirilmeden önce veya var olan türler altına sonradan getirilme şeklinde kullanılmaktadır (TURVEY/SMETHURST 1983).

Azot bağlama yeteneğindeki *Lupinus ssp.* (acı bakla) türleri doğal yapısı bozulmuş orman topraklarının iyileştirilmesi için Almanya, Rusya ve Amerika'da uzun zamandan beri kullanılmakta olup, lüpen ile iyileştirme bazı ormanlarda düzenli bir silvikültürel uygulama olmuştur (MIKOLA ve ark. 1983). Almanya'da *Lupinus polyphyllus* Ladin meşcerelerinde bu amaçla kullanılmaktadır (REFHUESS 1979). *Lupinus ssp.* ile iyileştirme sonucu toprağın azot ve humus içeriği artmakta, humusun fiziksel özellikleri iyileşmekte ve hatta çamların potasyum içeriğinin arttığı da MIKOLA ve ark. (1983) tarafından ZILKI/LAHTANOVA (1972) ve ZILKIN/RIHTER'e (1973) atfen ifade edilmektedir. Ayrıca *Lupinus* türlerinin derin kök sistemleri yardımıyla toprağın alt kısımlarından mineral elementleri yukarı tabakalara taşıdığı belirtilmektedir. Bir çok ülkede (ABD, Avustralya, Yeni Zelanda ve Avrupanın değişik ülkeleri gibi) yapılan diğer araştırmalarda da bazı baklagillerin (*Lupinus ssp.*, *Lathyrus ssp.*, *Vicia ssp.*, *Trifolium ssp.* gibi) iğne yapraklı ağaçların (*Pseudotsuga menziesii*, *Larix*, *Pinus taeda*, *Pinus radiata*) çap ve boylarında olumlu iyileşmeler yaptığı ve yaşama yüzdesini artırdığı belirlenmiştir (JORGENSEN 1980; MIKOLA ve ark. 1983). Almanya ve Amerika'da *Lupinus ssp.* ve *Melilotus albus* ile kavak yetiştiriciliğinde de olumlu sonuçlar alınmıştır (REFHUESS 1979; TURVEY/SMETHURST 1983). MIKOLA ve ark. (1983) ZILKIN/BEREGOVA (1973)'ya atfen., Rusya'da 40 yıllık bir süre sonucunda Lüpenlerin çam ağaçlandırma alanlarında bir üretim süresince ürünü 120-140 m³/ha artırdığını ifade etmektedir. TURVEY/SMETHURST (1983) LAKHTANOVA/BEREGOVA (1976)'ya atfen., yapılan bir araştırmada *Lupinus polyphyllus* 33 yaşındaki sarıçam meşceresine getirildiğinde 7 yıl sonunda üretimin %19 arttığı tespit edilmiştir. Yine *Lupinus* türleri çam ve çam+larix ağaçlandırma sahalarına dikimden 1-3 yıl sonra getirildiğinde, idare süresi sonunda ağaç hacminin %122-169 oranında *Lupinus* getirilmeyen

ağaçlandırma sahalарına oranla arttığı belirtilmektedir. Almanya'da da sarıçam ormanlarında uzun zamandan beri *Lupinus* kullanılmaktadır (REFHUESS 1979). Kumlu topraklarda acı bakla türlerinin çam ile birlikte alana getirilmesi, diğer sahalarda ise çamlardan 2-4 yıl sonra getirilmesi tavsiye edilmektedir. *Lupinus* dışında *Cytisus* ve *Ulex* gibi baklagiller ile azot bakımından fakir orman topraklarının iyileştirilmesi yönünde Avrupa'da yapılan çalışmalarda olumlu sonuçlar alınmıştır (MIKOLA ve ark. 1983).

Avustralya ve Yeni Zelanda'da yapılan çalışmalarda, Lüpen gibi baklagiller özellikle kumul ağaçlandırma alanlarına ve azot bakımından fakir topraklardaki *Pinus radiata* ağaçlandırma sahalарına, alanı ağaçlandırmadan önce, ağaçlandırma ile birlikte veya ağaçlandırmadan sonra getirilmiş olup, sonuçta ağaçların büyüme hızlarının ve azot içeriklerinin arttığı belirlenmiştir (TURVEY/SMETHURST 1983; SMETHURST ve ark. 1986).

6. AZOT BAĞLAYABİLEN ODUNSU TÜRLERİN KULLANIMI

Frankia tipi bakteriler ile simbiyotik ilişki kurarak yumru oluşturabilen ve havanın serbest azotunu bağlayabilen türler tropiklerde de bulunmakla birlikte ılıman ve boreal orman ekosistemlerinde en büyük rolü oynamaktadır. Avrupa'da doğal olarak bulunan Aktinorhizal türler (*Frankia* ile yumru oluşturabilen bitkiler) az sayıdadır (*Coriaria*, *Dryas*, *Datisca*, *Myrica*, *Alnus*, *Hippophae*, *Eleagnus*) ve muhtemelen Avrupa ormanlarında en önemli azot bağlayan bitki kızılâğaçtır (MIKOLA ve ark. 1983; WHEELER/MILLER 1990).

Avrupa'da atmosferik azotu bağlayabilen kızılâğaçın toprağı iyileştirme yeteneğinde olduğu uzun zamandan beri bilinmektedir. Bütün kızılâğaç türleri yumru oluşturabilmekte, toprağın organik madde miktarını, toplam azotunu ve alınabilir azot miktarını düşen yapraklar ve azot bağlama ile artırmakta, ayrıca toprak koşullarını iyileştirmekte ve bazı organik bileşikler salgılayarak (fenol, aminoasit v.b.) patojenleri bastırmaktadır (DUVIGNEAND/ DENAEYER 1970; BINKLEY ve ark. 1984; FAO 1993; HARRINGTON 1996).

İki yaşındaki *Alnus rubra* fidanlarının bulunduğu alanda bağlanan azot miktarı 22 kg/ha/yıl olmaktadır. 5 yaşında 2000 ağaç/ha bulunan bir alanda ise 1 yıl içerisinde bağlanabilen azot miktarı 62 kg/ha'dır. Bu miktar 10000 ağaç/ha durumunda 85 kg/ha'a kadar çıkabilmektedir (BORMANN/GORDON 1984). Sağlıklı, yaşlı bir *A. rubra* meşçeresinde bağlanabilen azot miktarı 300 kg/ha/yıl, *A. glutinosa* meşçeresinde ise 56 kg/ha/yıl olabilmektedir (TRIPP ve ark. 1979; FAO 1993).

Alnus türleri kumul alanlarının stabilizasyonunda ve toprak taşınmalarının görüldüğü alanlarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Yine yapraklı ve iğne yapraklı türlerle karışık olarak dikilmekte olan *Alnus* türleri (*A. incana*, *A. cordata*, *A. rubra*, *A. glutinosa*), bazen araziye tekrar ağaçlandırmadan önce de toprak iyileştirmesi için açık alanlarda dikilmektedir. Kızılâğaç, kayın, dışbudak gibi türlerin büyümesine hizmet etmek amacıyla da kullanıldığı gibi baltalık, kısa idare süreli orman ve biyokütle üretimi amacıyla da Avrupa'da (Almanya, İsveç, Finlandiya, İngiltere, Avusturya) kullanılmaktadırlar (TARRANT 1983; TURVEY/SMETHURST 1983; WHEELER ve ark. 1986; SPRENT/SPRENT 1990; WHEELER/MILLER 1990). *Alnus rubra* ve *Alnus süchensis*'in maden ocağı artık materyallerinin durağan hale getirilmesinde de kullanılabileceği ifade edilmektedir (HEILMAN/EKUAN 1982).

Amerikan ormancılığında aktinorhizal bitkiler azot bağlama özelliklerinden dolayı önemli oranda kullanılmaktadır. *Alnus rubra*'nın *Pseudotsuga menziesii* ile, *Alnus glutinosa*'nın da iğne yapraklı ve yapraklı türler ile karışık yetiştirilmesi sonucu toprağın azot içeriğinin, buna paralel olarak da büyümenin arttığı ifade edilmektedir (PERMAR/FISHER 1983; TURVEY/SMETHURST 1983; WHEELER/MILLER 1990). *Alnus rubra* ve *Populus trichocarpa*'nın karışık olarak yetiştirilmesi ile *Populus trichocarpa*'nın saf olarak yetiştirilmesine kıyasla daha fazla verim alındığı belirtilmektedir (TARRANT 1983; BINKLEY ve ark. 1984). 4 yaşında azot eksikliği bulunan *Pseudotsuga menziesii* (Duglaz) ağaçlandırma alanına daha sonra *Alnus rubra* getirildiğinde, 48 yıl sonunda bu alandaki Duglaz'ın çap ve boyu'nun % 20'den daha fazla artmış olduğu görülmüştür (MILLER/MURRAY 1978). Türkiye'de Rize-Pazar ve Artvin-Arhavi'de yapılan bir çalışmada kızılğacın yayılış alanlarındaki topraklarda azot bakımından bir sorun olmadığı belirlenmiş olup bunun kızılğacın havanın serbest azotunu bağlayabilmesinden kaynaklanabileceği ifade edilmektedir (YILMAZ 1996).

Kızılğaç dışında, *Robinia pseudoacacia*'nın doğal çam ormanları altında veya hızlı büyüyen yapraklı ormanlarda karışık olarak yetiştirilmesinin yararlı olduğu Amerika'da belirlenmiştir. Alt tabakaya dikilen *R. pseudoacacia*'nın *Juglans nigra*, *Liriodendron tulipifera*, *Acer sacharinum* ve *Maclura pumifera*'nın boy büyümesine olumlu yönde etki yaptığı araştırmalarda ortaya konmuştur. Ayrıca daha önce saf olarak yalancı akasya yetiştirilen alanlara başka türler (*Quercus rubra*, *Juglans nigra* gibi) getirildiğinde bu türler üzerine, daha önce alanda bulunan *R. pseudoacacia*'nın olumlu etkisi tespit edilmiştir (ASHBY/BAKER 1968; TURVEY/SMETHURST 1983). Kuzey Amerikanın yerli türü olan *Robinia pseudoacacia* Avrupada da önem taşımaktadır ve azotça fakir sahalarda, toprak taşınmasına uğramış alanlarda ve kömür artıkların durağan hale getirilmesinde kullanılmaktadır (SPRENT/SPRENT 1990). *Robinia pseudoacacia* iğne yapraklı türler ile aynı anda alana getirildiğinde ve sık dikim uygulandığında onları ezemektedir (TURVEY/SMETHURST 1983; KANTARCI ve ark. 1998). Bu nedenle, iğne yapraklı türlerin altına getirilmesinin veya hızlı büyüyen yapraklı türler ile birlikte yetiştirilmesinin yararlı olacağı ifade edilmektedir (TURVEY/SMETHURST 1983).

Türkiye'de de açık maden ocaklarının işletmelerinden arta kalan materyallerin ağaçlandırılmasında toprağı azotça zenginleştirebilmek amacıyla azot bağlayabilen *R. pseudoacacia* gibi türlerden yararlanılabileceği ifade edilmektedir (KANTARCI 1997).

Öncü bir tür olan *Myrica* türleri, Avrupa ve özellikle Amerika da kullanılmakta ve *Pinus elliottii* ile birçok *Pinus taeda* ormanlarında alt tabakada bulunmaktadır ve 10-100 kg/ha/yıl azot toprağı sağlayabilmektedir (PERMAR/FISHER 1983; PRITCHETT/FISHER 1987). *Alnus* gibi *Eleagnus* ve *Hippophae*'de arazi stabilizasyonu ve toprak taşınmasının önlenmesi için Avrupa'da kullanılmaktadır (WHEELER/MILLER 1990).

Fakir kurak alanlarda *Acacia* türleri ağaçlandırmalardan önce alanı ıslah etmek amacıyla kullanılmaktadır. Örneğin, *Acacia cyanophylla* kumul stabilizasyonu için Yunanistan'da bu amaçla başarıyla kullanılmış (NAKOS 1977) ve yine *Acacia holoserica* nın kömür artık alanlarının ıslahı için Avustralya'da kullanıldığı ifade edilmektedir (LANGKAMP ve ark. 1979).

Türkiye'de (Side-Sorgun) yapılan kumul tespit çalışmalarında *Acacia cyanophylla*'lardan meydana gelen ve birkaç sıradan ibaret olan koruyucu şeritlerin siperinde olan *Pinus pinea*

ağaçlarının gayet iyi boylandığı ve iğne yapraklarının daha yeşil olduğu, kendilerinden daha uzakta olan aynı yaşlı ve aynı türe ait diğer çamlar ile kıyaslandığında görülmüştür. *Acacia cyanophylla* siperinde bulunan çamlarda meydana gelen bu hızlı gelişimin nedeni araştırıldığında bunun *Acacia*'nın toprağı azotça zenginleştirmesinden kaynaklandığı belirlenmiştir (ÇEPEL 1971). Türkiye'deki kumulların tespiti ve ağaçlandırılması çalışmalarında *Acacia cyanophylla* dışında *Casuarina equisetifolia* yaygın olarak kullanılmış olup hızlı büyüme ve toprağı ıslah etme özellikleri sonucunda birçok sahada başarılı olunmuştur (ATAY 1964).

Casuarina equisetifolia, *Leucaena leucocephala*, *Acacia mangium*, *Acacia glauca*, *Albizia falcataria*, *Albizia lebbek*, *Gliricidia sepium*, *Alnus japonica* ve *Erythrina arborescens* gibi azot bağlayabilen diğer türlerle dünyanın birçok yöresinde ve özellikle Asya'da yakacak ve mobilya odunu üretmek amaçları için değerlendirilmektedir. Agroforestry (tarımsal ormancılık) uygulamalarında da kullanılan bu türler ile ayrıca organik maddeyi artırmak, toprağı ıslah etmek, kumul alanlarını tespiti amaçları içinde ağaçlandırmalara gidilmektedir (DOMINGO 1983; DOMMERGUES ve ark. 1984; DIEM/DOMMERGUES 1990; HUANG ve ark. 1992).

7. SONUÇ

Simbiyotik olarak bağlanabilen azottan faydalanma özellikle Avrupa, Amerika ve Avustralya ormancılığında büyük önem taşımakta olup bu konu ile ilgili çalışmalar uzun zamandan beri devam etmektedir. Aşağıda kısaca 3 madde halinde özetlenebilen değişik uygulama şekilleriyle biyolojik azot bağlama olayının gelecekte ormancılıkta daha da önem kazanacağı muhtemeldir.

- Özellikle meşcerelerin ilk büyüme döneminde azot bağlayıcıların bir çeşit alt tesis olarak kullanımı
- Karışık meşcereler olarak azot bağlayıcıların kullanımı
- Azot bağlayıcı bitkiler ile daha ekonomik değere sahip ağaçların dönüşümlü olarak kullanımı.

Ülkemizde gerek otsu gerekse odunsu azot bağlayabilen türlerin ormancılıkta kullanılması ile ilgili olarak yeterli çalışma yapılmamış olup otsu baklagiller ile toprak iyileştirmesi daha çok orman fidanlıklarında yapılmaya çalışılmaktadır. Öncelikle *Alnus ssp.*, *Elaeagnus angustifolia*, *Casuarina ssp.*, *Acacia ssp.* ve *Robinia pseudoacacia* gibi türlerden besince fakir sahalarda yararlanabilme imkanları araştırılmalıdır. Ancak egzotik türlerin kullanımında dikkatli olunması unutulmamalıdır. Azot bağlayabilen türler ağaçlandırma alanlarına ana tür ile aynı anda getirilebildiği gibi daha önceden alanı ıslah etmek amacıyla veya var olan türler altına sonradan getirilmesi şeklinde de uygulanabilmektedir. Ağaçlandırmalarda olduğu gibi doğal ormanlarımızda da havanın serbest azotunu köklerindeki yumrular vasıtasıyla bağlayabilen doğal otsu bitkilerden yararlanabilme imkanları araştırılmalıdır. Ancak azot bağlama yeteneğindeki türleri kullanırken ekonomikliğı ve kullanılabilirliğı göz ardı edilmemelidir.

KAYNAKLAR

- AKKERMANS, A.D.L., HOUWERS, A. 1983: Morphology of Nitrogen Fixers in Forest Ecosystems. In: Biological Nitrogen Fixation in Forest Ecosystems: Foundations and Applications (Gordon,J.C., Wheeler,C.T., eds.). M. Nijhoff/W. Junk P., pp: 7-54, The Hague.
- ASHBY, W.C., BAKER, M.B. 1968: Soil Nutrients and Tree Growth Under Black Locust and Shortleaf Pine Overstories in Strip-Mine Plantings. J. For. 66: 66-71.
- ATAY, İ., 1964: Türkiye'de Sahil Kumullarının Tespiti Ve Ağaçlandırılması Üzerine Araştırmalar. OGM Seri No: 39, 112 s. İstanbul.
- BERRY, A.M., SUNELL, L.A., 1990: The İnfection Process and Nodule Development. In: The Biology of *Frankia* and Actinorhizal Plants. (Schwintzer, C.R., Tjepkema, J.D., eds.), Acad. P., Inc., pp: 61-81, San Diego, CA.
- BINKLEY, D., LOUSIER, K., CROMACK, K., 1984: Ecosystem effects of Sitka alder in a Douglas-fir plantation. For. Sci. 30: 26-35.
- BORMANN, B.T., GORDON, J.C., 1984: Stand Density Effects in a Young Red Alder Plantation: Production, Photosynthide Partitioning and Nitrogen Fixation. Ecology 65: 394-402.
- BURRIS,R.H., 1988: Biological Nitrogen Fixation:A Scientific Perpective. Plant Soil 108:7-14.
- COVENTRY, D.R., EVANS, J., 1989: Symbiotic Nitrogen Fixation and Soil Acidity. In: Soil Acidity and Plant Growth. (Robson, A.D., ed.). Acad. P., pp: 103-138, Sydney.
- ÇEPEL, N., 1971: Antalya Orman Başmüdürlüğü Bölgesinde Yapılan Ağaçlandırmalarda Karşılaşılan Bazı Ekolojik Problemler Üzerine Araştırmalar. İ.Ü. Orman Fak.,Yay. No: 56. 76 s.
- DAWSON, J.O., 1983: Dinitrogen Fixation in Forest Ecosystems. Can. J. Microb. 29: 979-989.
- DIEM, H.G., DOMMERGUES, Y.R., 1990: Current and Potential Uses and Management of *Casuarinaceae* in the Tropics and Subtropics. In: The Biology of *Frankia* and Actinorhizal Plants (Schwintzer, C.R., Tjepkema, J.D., eds.). Acad. P., pp: 317-342, San Diego, CA.
- DOMINGO, I.L., 1983: Nitrogen Fixation in Southeast Asian Forestry: Research and Practice. In: Biological Nitrogen Fixation in Forest Ecosystems (Gordon,J.C., Wheeler,C.T., eds.). M. Nijhoff/W. Junk Publ., pp. 295-317.29, The Hague.
- DOMMERGUES, Y.R., DIEM, H.G., GAUTHIER, D.L., BREYFUS, B.L., 1984: Nitrogen-Fixing Trees in the Tropics: Potentials and Limitations. In: Advances in Nitrogen Fixation Research. (Veeger, C., Newton, W.E.,eds.). M. Nijhoff Publ. pp:7-14, The Hague.
- DUVIGNEAUD, P., DENAEYER, S.S., 1970. Biological Cycling of Minerals in Temperate Deciduous Forests. In: Analysis of Temperate Forest Ecosystems (Reichle, D.E., ed.). Springer-Verlag, pp:199-225, Berlin.
- ELKAN, G.H., 1992: Biological Nitrogen Systems in Tropical Ecosystems: an Overview. In: Biological Nitrogen Fixation and Sustaniability of Tropical Agriculture (Mulongoy, K. ve ark. eds.). John Wiley&Sons, pp: 27-40. Chichester. UK.
- FAO., 1993: Technical Handbook of Symbiotic Nitrogen Fixation. Legume/Rhizobium, Rome

- FISHER, R.F., JUO, A.S.R., 1995: Mechanisms of Tree Growth in Acid Soils. In: Nitrogen Fixing Trees for Acid Soils. (Evans, D.O., Scott, L.T., eds.). pp: 1-18, Morrilton, AR.
- FRANCO, A.A., 1982. Plant Assimilation and Nutrient Cycling. *Plant Soil* 67: 1-13.
- FREIRE, J.R., 1984: Important Limiting Factors in Soil for the Rhizobium-Legume Symbiosis. In: Biological Nitrogen Fixation Ecology, Technology and Biology (Alexander, M., ed.). Plenum P., pp: 51-74, New York.
- GORDON, J.C., 1983: Silvicultural Systems and Biological Nitrogen Fixation. In: Biological Nitrogen Fixation in Forest Ecosystems: Foundations and Applications. (Gordon, J.C., Wheeler, C.T., eds.). M. Nijhoff/W. Junk Publ., pp. 1-7, The Hague.
- GRAHAM, P.H., 1984: Plant Factor Affecting Nodulation and Symbiotic Nitrogen Fixation in Legumes. In: Biological Nitrogen Fixation Ecology, Technology and Biology. (Alexander, M., ed.). Plenum P., pp: 75-99, New York.
- HARRINGTON, C.A., 1996: Ecology of Red Alder. In: Ecology and Management of B.C. Hardwoods. (Comeau, P.G. ve ark. eds.). FRDA Report 255. Canada, pp: 119-136.
- HEILMAN, P., EKUAN, G., 1982: Nodulation and Nitrogen Fixation By Red Alder and Sitka Alder on Coal Mine Spoils. *Can. J. For. Res.* 12: 992-997.
- HOGBERG, P., 1986: Nitrogen Fixation and Nutrient Relations in Savanna Woodland Trees. *J. Appl. Ecol.* 23: 675-688.
- HUANG, W.N., CAI, K.Q., CAI, L.X., WU, Y.D., XU, Z.W., LAN, G., ZOU, X.L., 1992: Symbiotic Nitrogen Fixation in Tropical and Subtropical Leguminous Trees. In: The Nitrogen Fixation and Its Research in China (Hong, G. ed.), Springer-Verlag, pp: 567-586, Berlin.
- JORGENSEN, J.R., 1980: Use of legumes in southeastern forest research. In: Southern Silv. Res. Conf. Proc. Nov. 6-7. Atlanta, GA.
- KANTARCI, D.M., 1997: Açık Maden Artık Materyallerinin Bitki Yetiştirilebilir Duruma Getirilmesi. I. Trakya Toprak Ve Gübre Sempozyumu Bildiriler Kitabı. 20-22 Ekim 1997, Trakya Univ. Sayfa 48-56, Tekirdağ.
- KANTARCI, M.D., TECİMEN, H.B., BULUT, G., 1998: Açık Maden Ocağı Artıklarında Yapılan Ağaçlandırmaların Ekolojik Sisteme Dönüştürülmesi. Beykoz İlçesi Çevre Sorunları Sempozyumu. (Öztürk, H., ed.), 6-7 Haziran 1998. Türk Deniz Araş. Vakfı Yay. Yayın No: 3, Sayfa 160-172, İstanbul.
- LANGKAMP, P.J., SWINDEN, L.B., DALLING, M.J., 1979: Nitrogen Fixation by *Acacia Holoserica* On Areas Restored After Mining of Grooke Eylandt Northern Territory. *Australian J. Bot.* 27: 353-361.
- MIKOLA, P., UOMALA, P., MALKONEN, E., 1983: Application of Biological Nitrogen Fixation in European Silviculture. In: Biological Nitrogen Fixation in Forest Ecosystems (Gordon, J.C., Wheeler, C.T., eds.). M. Nijhoff/W. Junk Publ., pp. 279-295, The Hague.

- MILLER, R.E., MURRAY, M.D., 1978: The Effects of Red Alder on Douglas-Fir Growth. USDA Forest Service, GTR-PNW-70, pp: 283-306.
- NAKOS, G., 1977: Acetylene Reduction (N_2 - Fixation) by Nodules of *Acacia Cyanophylla*. Soil Biol. Biochem. 9: 131-133.
- PAUL, E.A., CLARK, F.E., 1989: Soil Microbiology and Biochemistry. Acad. Press Inc, 275 p, San Diego, CA.
- PERMAR, T.A., FISHER, R.F., 1983: Nitrogen Fixation and Accretion by Wax Myrtle (*Myrica Cerifera*) in Slash Pine Plantations. For. Ecol. Manag. 5: 39-46.
- PERRY, D.A., 1994: Forest Ecosystems. The J. Hopkins Univ. Press. 649 p, London.
- POWELL, M.H., 1995: Nitrogen Fixing Trees and Shrubs for Acid Soils. In: Nitrogen Fixing Trees for Acid Soils. (Evans, D.O., Scott, L.T., eds). pp: 185-194, Morrilton, AR.
- PRITCHETT, W.L., FISHER, R.F., 1987: Properties and Management of Forest Soils. John Wiley & Sons, Inc, 494 p, New York.
- REFHUESS, K.E., 1979: Underplanting of Pines With Legumes in Germany. In: Symbiotic Nitrogen Fixation in the Management of Temperate Forests (Gordon, J.C. ve ark. eds.). pp: 374-387, OR.
- SHANTHARAM, S., MATTOO, A.M., 1977: Enhancing Biological Nitrogen Fixation: An Appraisal of Current and Alternative Technologies for N Input Into Plants. Plant Soil 194: 205-216.
- SMETHURST, P.J., TURVEY, N.D., ATTIVILL, P.M., 1986: Effect of *Lupinus* spp. on Soil Nutrient Availability and the Growth of *Pinus radiata* D. Don Seedlings on a Sandy Podzol in Victoria, Australia., Plant Soil 95: 183-190.
- SPRENT, J.I., SPRENT, P., 1990: Nitrogen Fixing Organisms Pure and Applied Aspects. 2nd. ed. Chapman and Hall, Cambridge. 255 p, London.
- TARRANT, R.F., 1983: Nitrogen Fixation in North American Forestry: Research and Application. In: Biological Nitrogen Fixation in Forest Ecosystems: Foundations and Applications (Gordon, J.C., Wheeler, C.T. eds.). M. Nijhoff Publ., pp. 261-279, The Hague.
- TILKI, F., FISHER, R.F., 1998: Tropical Leguminous Species for Acid Soils: Studies on Plant Form and Growth in Costa Rica. For. Ecol. Manag. 108: 175-192.
- TRIPP, L.N., BEZDICK, D.F., HEILMAN, P.E., 1979: Seasonal and Diurnal Patterns and Rates of Nitrogen Fixation by Young Red Alder. For. Sci. 25: 371-380.
- TURVEY, N.D., SMETHURST, P.J., 1983. Nitrogen Fixing Plants in Forest Plantation Management. In: Biological Nitrogen Fixation in Forest Ecosystems: Foundations and Applications. (Gordon, J.C.; Wheeler, C.T., eds.). M. Nijhoff Publ., pp. 261-277, The Hague.
- WHEELER, C.T., 1991: . Symbiotic Nitrogen Fixation. In: Physiology of Trees (Raghavendra, A.S. ed.). J. Wiley & Sons, Inc. pp: 111-136, New York.

WHEELER, C.T., MILLER, M.I., 1990: Current and Potential Uses of Actinorhizal Plants in Europe. In: The Biology of *Frankia* and Actinorhizal Plants (Schwinger, C.R., Tjepkema, J.D., eds.). Acad. P., pp. 365-391, San Diego, CA.

WHEELER, C.T., HOOKER, J.E., CROWE, A., BERRIE, A.M., 1986: The Improvement and Utilization in Forestry of Nitrogen Fixation by Actinorhizal Plants With Special Reference to *Alnus* in Scotland. Plant Soil 90: 393-406.

YILMAZ, M., 1996: Artvin-Rize Yöresi Kızılağaç Orman Ekosistemlerinin Gelişimi ile Bazı Toprak Özellikleri ve Fizyografik Etmenler Arasındaki İlişkiler. K.T.Ü. Orman Müh. Yüksek Lisans Tezi. 71 s. Trabzon.