

## ORMAN TOPRAKLARINDA MİKROORGANİZMALAR TARAFINDAN GERÇEKLEŞTİRİLEN AZOT DÖNÜŞÜMLERİ

H. Barış TECİMEN<sup>1\*</sup>

Orhan SEVGİ<sup>1</sup>

<sup>1</sup>İ. Ü. Orman Fakültesi Toprak İlmi ve Ekoloji Anabilim Dalı 34473 Bahçeköy-İSTANBUL  
\* btecimen@istanbul.edu.tr

### ÖZET

Bu çalışma orman topraklarında mikroorganizmalar tarafından gerçekleştirilen azot dönüşümleri hakkında genel bilgi vermek ve dünyada bu konuda yapılmış çalışmalarını sunmak amacıyla kaleme alınmıştır. Azot dönüşümü olayları içinde yer alan temel mekanizmalar; azotun bağlanması (fixation), ayrışma (decomposition), amonifikasyon, nitrifikasyon, denitrifikasyon ve azotun canlılar tarafından tutulması (immobilization) olaylarıdır. Azot dönüşümü olaylarının kendibeslek veya dışbeslenen mikroorganizmalar tarafından yapılabilmesi ayrıştırılan mineral azotun net-brüt dönüşümü miktarı üzerinde etkili olmaktadır. Buna bağlı olarak, sistemde kalan veya sistem dışına çıkan amonyum ve nitratın miktarları değişmektedir. Bu çalışmada, ölü örtü ayrışmasında mikroorganizma ilişkileri, net-brüt azot mineralizasyonu, amonifikasyon, nitrifikasyon, azot döngüsü hızı ile ilgili konular üzerinde durulmuştur. Bu amaçla olabildiğince yeni yaklaşımlar ve düşünceler sunulmaya çalışılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Azot, Mikroorganizma, Net-brüt Ayrışma, Nitrifikasyon, Denitrifikasyon, Amonifikasyon

## NITROGEN TRANSFORMATIONS WITHIN FOREST SOILS BY MICROORGANISMS

### ABSTRACT

Current study aims to summarize the nitrogen transformations occurring within forest soils by microorganisms in a worldwide extent. The stated basic transformation mechanisms are; nitrogen fixation, decomposition, ammonification, nitrification, denitrification and immobilization phenomenon. Agent's being whether autotrophic or heterotrophic affects the net – gross rates of mineralised nitrogen transformation. Correspondingly, leaching or remaining ammonium and nitrate amounts in the system varies. At this study; microorganism relations involving forest floor decomposition, net – gross nitrogen mineralization, ammonification, nitrification amounts, nitrogen transformation rates were investigated. With this intention, as much as recent aspects and ideas were tried to be presented.

**Keywords:** Nitrogen, Microorganism, Net-gross Mineralization, Nitrification, Denitrification, Ammonification

## 1. GİRİŞ

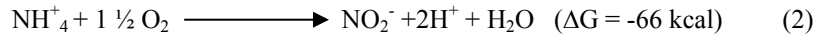
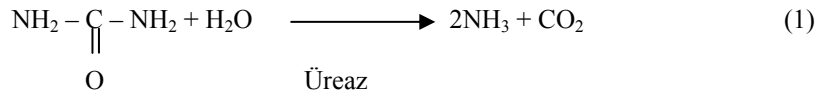
Azot, tüm canlıların hücrelerindeki aminoasitlerin, nükleik asitlerin, diğer – amino bileşiklerinin ve bunların oluşturduğu polimerlerin ana maddesidir. Azotun orman ekosistemlerine girişi, ekosistem içerisinde çeşitli unsurlar tarafından tutulması ve kullanılması, daha sonra da sistemi terk ederek döngüsünü tamamlaması, karmaşık ve küresel ölçekte etkiler yaratan süreçleri içermektedir. Orman ekosistemleri karasal ekosistemler içinde bir alt birim olarak yer almakta ve kendi içinde yüksek bir çeşitlilik göstermektedir. Çeşitliliğinin kaynaklarını orman ekosisteminin tüm bileşenleri oluşturmaktadır. Kastedilen canlı ve cansız birimler birbirleri üzerinde etkide bulunmak suretiyle ekosistem içinde cereyan eden bütün döngülerin seyrini ve kaderini etkilemektedir. Ancak, döngünün en önemli ve anlaşılması güç adımları ölü örtü ayrışmasının ve kılcal kök faaliyetlerinin en yoğun bulunduğu üst toprakta cereyan etmektedir. Toprak hem ayrışma süreçlerinin en yoğun olarak cereyan ettiği, hem de bütün madde alışverişinin en yoğun yaşandığı bir ortam olarak üzerinde en fazla durulacak unsuru oluşturmaktadır. Fakat ölü örtüde veya üst toprakta meydana gelen canlı-yer-kimyasal (*biogeochemical*) olaylar zaman ve mekân bakımından çeşitlilik arz etmektedir. Örneğin ılıman kuşakta bir yıl içinde mikrobiyolojik faaliyet düzeyi, ayrışma olayları ve diğer biyolojik ve kimyasal olaylar dalgalı bir seyirde bulunmaktadır (Kara, 2002; Schimel ve Mikan, 2005). Pek çok yetişme ortamı faktöründen etkilenen ve dolayısıyla da madde dönüşümünü en çok etkileyen bileşen olan mikroorganizmaların azot döngüsü üzerindeki rolü ve işlevi özel bir önem taşımaktadır.

Azot elementinin yerkürede bulunuşu ve alınabilirliği ile başlayan azot döngüsü; özümleme ile yüksek yapılı proteinler haline getirilmesi, dokuların ölmesi ile ayrıştırılması ve yeniden kullanılması veya sistem dışına çıkması aşamalarını izlemektedir. Atmosferde (havanın %79'u)  $3,8 \times 10^{15}$  ton azot ( $N_2$ ) ve  $NO_x$  köklü azotoksitler olarak bulunmaktadır. Mağmatik kayalarda  $14 \times 10^{15}$  ton ve tortul kayalarda ise  $4 \times 10^{15}$  ton azot tutulmaktadır (Blackburn 1983'e atfen Atlas ve Bartha, 1993). Ölü örtü ve humus da ayrıştırılmamış ancak önemli miktarda azot rezervini oluşturmaktadır. Ölü örtüde, toprakta, anakayada ve havada serbest ve bağlı azotun bulunuş miktarları çok yüksek olabilmesine karşın kullanılabilirliği mikroorganizma faaliyetleri sonucu mümkün olabilmektedir. Kayaçların ve tortul materyallerin fiziksel, kimyasal ve biyolojik kökenli ayrışmalar ile sisteme ihmal edilebilecek düzeyde azot girişi olabilse de bunun yıllık azot döngülerinde bir değer olarak görünmesi mümkün olamamaktadır (Atlas ve Bartha, 1993). Bunun yerine azotun canlılar tarafından bağlanması ve canlı kökenli artıkların ayrıştırılması ile kısa sürede ve önemli miktarda azotun ekosisteme girmesi gerçekleşebilmektedir.

Bu çalışmada azotun orman topraklarında bulunuşundan itibaren gerçekleşen mikroorganizmaların dâhil olduğu dönüşüm süreçleri tanıtılacak ve bu süreçlerin dâhil olduğu ölü örtü ayrışması, net ve brüt azot mineralizasyonu ve azot döngüsü hızı olayları ile mikroorganizmalar arasındaki ilişkiler irdelenecektir.

## 2. BAŞLICA AZOT DÖNÜŞÜMLERİ

Canlı kökenli azot bağlanması ile toprağa önemli miktarda azot girişi olmaktadır. Bu olaya azotun biyolojik bağlanması olayı denilmektedir. Organik artıkların yapısında bulunan protein; glisin ve sistein gibi aminoasitlere dönüştürülür. Selüloz ise daha basit şekerlere ve karbon bağlı bileşiklere dönüştürülür. Bu olaya ayrışma denilmektedir. Ayrışmanın ilerleyen safhalarında ise bu maddeler; amonyum, nitrat, sülfata ayrıştırılırlar ki bu şekilde maddelerin inorganik hâle ( $\text{NH}_4^+$  ve  $\text{NO}_3^-$ ) dönüştürülmesi mineralizasyon olarak adlandırılır (Evrendilek, 2004). Azot mineralize edildikten sonra amonyumun amonyağa indirgenmesi amonifikasyon (Formül 1); amonyak veya amonyumun oksitlenmesi ile nitrit ve nihayet nitrat oluşumu nitrifikasyon (Formül 2 ve 3) olarak tanımlanmaktadır. Azotun gaz halinde ( $\text{N}_2\text{O}$  veya  $\text{N}_2$  olarak) saliverilmesi biyolojik denitrifikasyon olarak adlandırılmaktadır (Bartholomew ve Clark, 1965). Oksijenin bulunmadığı ortamlarda elektron alıcısı olarak nitrat genellikle ilk araç olmaktadır. Bu olaya nitrat solunumu veya nitratın tüketimli indirgenmesi (dissimilatory nitrate reduction) denilmekte ve nitratın indirgenmesi sırasında mikroorganizmalar için gerekli olan organik madde de oksitlenebilmektedir (Atlas ve Bartha, 1993). Denitrifikasyonun ara ürünü olan nitrit bazen hidroksilamin vasıtasıyla amonyuma indirgenmekte ve buna nitratın amonyuma tüketimli indirgenmesi (NATİ) (Dissimilatory nitrate reduction to ammonium) denilmektedir (Atlas ve Bartha 1993).



Dışbeslenen canlıların oksitleyebildikleri amonyum miktarı kendibeslek mikroorganizmalar kadar değildir (Atlas ve Bartha, 1993) (Çizelge 1).

Azot dönüşümü olayları ve basamakları Şekil 1 gibi modellenenmektedir (Mary vd., 1998).

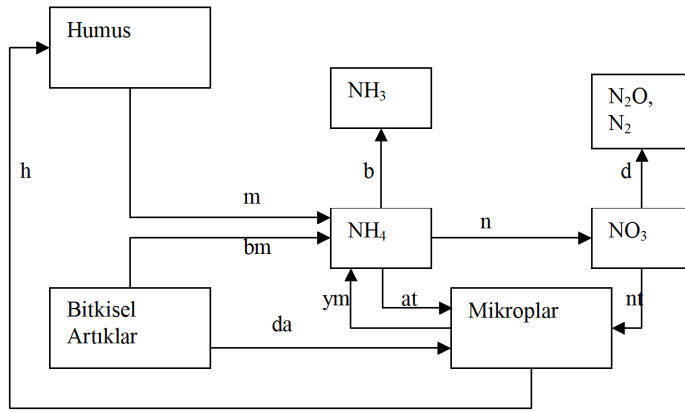
## 3. ÖLÜ ÖRTÜ AYRIŞMASINDAKİ MİKROORGANİZMA FAALİYETLERİ

Ölü örtü ormandaki beslenme döngüsünün önemli kaynaklarından biridir ve cereyan eden ayrışma ve humuslaşma olayları ölü örtünün yapısına, ağaç türüne, yetişme ortamı koşullarına bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Sarıyıldız vd. (2004; 2005a) tarafından yeryüzü şekli ve bakı gibi değişkenlerin mikroorganizma faaliyetleri üzerinde belirgin etkisi olduğu belirlenmiştir.

Çizelge 1. Bazı kendibeslek ve dışbeslenen canlılar tarafından gerçekleştirilen nitrifikasyon miktarları (Atlas ve Bartha 1993).

<u>Canlılar</u>	<u>Oksitlenen madde</u>	<u>Ürün</u>	<u>Oluşturma Mikt</u> ( $\mu\text{g N/gün/g}$ kuru hücre)*
<i>Arthrobacter</i> (Dışbeslenen)	Amonyum	Nitrit	375- 9000
<i>Arthrobacter</i> (Dışbeslenen)	Amonyum	Nitrat	250-650
<i>Aspergillus</i> (Dışbeslenen)	Amonyum	Nitrat	1350
<i>Nitrosomonas</i> (Kendibeslek)	Amonyum	Nitrit	1-30 Milyon
<i>Nitrobacter</i> (Kendibeslek)	Amonyum	Nitrat	5-70 milyon

\*1 g kuru hücrenin (örn. *Arthrobacter* cinsine ait 1 g kuru hücre miktarındaki canlı) 1 günde 375-9000  $\mu\text{g N}$  ürettiği anlamına gelmektedir.



Şekil 1. Azot döngüsünde yer alan unsurlar ve azot dönüşümü sonucu oluşan maddeler (m: mineralizasyon, b: buharlaşma, n: nitrifikasyon, d: denitrifikasyon, at: amonyumun tutulması, nt: nitratın tutulması, ym: mikroorganizmaların ayrışması ile gerçekleşen yeniden mineralizasyon, da: azotun mikroorganizmalar tarafından doğrudan alınması, bm: bitki artıklarından meydana gelen azot mineralizasyonu, h: humuslaşma).

Ayrışma koşullarını denetleyen bir etken olan azot birikiminin yüksek olması karbonun ayrışmasını yavaşlatmakta ve ölü örtünün birikmesine neden olmaktadır (Michel ve Matzner, 2002). Bu mekanizma iki şekilde etkili olabilmektedir; birincisi; amonyum ve nitratın lignin artıklarıyla ve fenol bileşikleriyle yeniden birleşerek ayrışması güç yeni bileşikler oluşturması; ikincisi; ortamda bulunan azotun artmasıyla lignin ayrışmasında faaliyet gösteren beyaz çürükçül mantarların; ligninin ileri ayrışma safhalarında baskı altına alınarak durdurulmasıdır (Michel ve Matzner, 2002). Atmosferden eklenen azot bileşikleri sayesinde mikroorganizmaların azot ihtiyacı karşılanarak, ayrıştırılması zor ölü örtü bileşenlerinin ayrışması gecikebilmektedir. Bazı hallerde mikroorganizma

grupları arasında ayrışması güç maddelere karşı ayrıştırıcı enzimleri salgılayabilen canlıların ortamda fazlaştığı görülebilmektedir (Carreiro vd., 2000).

Ayrışma göstergelerinden biri olan C/N oranı yüksek olduğunda güç ayrışma koşulları, düşük iken ise iyi ayrışma koşulları bulunmaktadır (Kantarcı, 1987; Hart vd., 1994, Côte vd., 2000). Bununla birlikte lignin/N oranına dayanarak yapılan incelemelerde ölü örtüye katılan artık materyalin yapısındaki ligninin %20'den fazla olması diğer değişkenlere bakılmaksızın ayrışmayı geciktirdiği belirlenmiştir (Sarıyıldız, 2003; Sarıyıldız vd., 2005a,b). Ölü örtünün ilerleyen ayrışma aşamalarında dökülen ibrelerin (*P. sylvestris* L.) yapısında bulunan azot miktarının ayrışma hızı üzerinde olumlu etkisinin bulunduğu belirlenmiştir (Vestgarden, 2001). Ölü örtünün yapısındaki odunsu artıkların yavaş ayrışması ve ligninin fazlaca bulunması ayrışma ürünü çeşitliliğini doğurmaktadır. Odunsu artıkların ayrışmasından dolayı ortama düşük miktarda azot eklenmesiyle denitrifikasyon enzim aktivitesi düşmekte ve denitrifikasyonla azot kaybı da azalmaktadır (Hafner ve Groffman, 2005).

Ölü örtünün ayrışmasında ortak davranan ve eş zamanlı faaliyet gösteren mantar ve bakteri toplulukları besin maddelerinden paylarını alabilmek için bir yandan kendileri için rekabet ederlerken aynı zamanda ayrıştırdıkları ürünler birbirleri tarafından paylaşılmaktadır (Dilly vd., 2001). Dışbeslenen bakterilerin genellikle ortamın C/N oranından daha düşük C/N oranına sahip olduklarına dair bir ilişkinin varlığı belirtilmiştir (Bengtsson vd., 2003). Dışbeslenen mikroorganizma toplumlarının yapı ve işlevlerindeki farklılıklar öncelikle toprak organik maddesinin miktarına ve niteliklerine bağlı olmaktadır (Saetre ve Bååth, 2000).

Ölü örtüden yıkanan pek çok mineral madde çözünmemiş organik maddeler halinde ortamdaki uzaklaşmaktadır. Mikrobiyal canlı-kütle (mikrobiyal biyomas) ve faaliyetler açısından çözünmemiş organik karbonun ve organik azotun miktarı, susevmez\* (hidrofobik) veya sucul (hidrofilik) maddeler tarafından tutuluyor olmasından daha önemlidir (Smolander ve Kitunen, 2002).

#### 4. AZOT DÖNGÜSÜ HIZI VE AMONYUM / NİTRATIN ETKİLEŞİMİ

Azot döngüsü hızı üzerine yapılan araştırmalarda konu edilen başlıca hususlar; amonifikasyon ve nitrifikasyonun kendibeslek veya dış beslek mikroorganizmalar tarafından yapılması, depo edilen azotun hangi formda depo edildiği, depolanma süresi, amonyum ve nitratın üretim ve tüketimi süreleri ve havuzdan alınan besin maddelerinin hangileri olduğu üzerinedir. Mineral hale getirilen azotun birikmesi bir depolanma durumu olarak algılanmaktadır. Depolanan azot formunun tüketilmesi ile depolanma sona ermektedir. Mineral hale getirilen azot miktarının mineralizasyon ve depolanma sürecinden sonra tüketilme hızı azot döngüsü hızı olarak isimlendirilmektedir. Birim zamanda üretilen (mineralize edilen) ve

---

\* Hidrofilik kelimesinin karşılığı olarak TDK sözlüğünde "sucul" kelimesi bulunmuş, ancak hidrofobik için bir karşılık bulunamadığı için "susevmez" kelimesi karşılık olarak önerilmiştir.

depodan kullanılarak tüketilen azot miktarının fazla olması azot döngüsü hızının yüksek olduğu anlamına gelmektedir. Genel olarak nitrifikasyonun kendibeslek canlılar tarafından gerçekleştirilmesi beklenmektedir (Çizelge 1). Bununla birlikte iğne yapraklı ve asit topraklı ormanlarda yapılan bir çalışmada pH'nın nitrifikasyonun kendibeslek veya dışbeslenen yoldan yapılması üzerinde etkili bir faktör olmadığı tespit edilmiştir (Hart vd., 1997). Ayrıca azot döngüsü hızı yüksek olan orman ekosistemlerinde  $\text{NO}_3^-$  yıkanması daha az olmakta ve inorganik azot üretimi arttıkça azotun mikroorganizmalar tarafından tutulma oranı da artmaktadır (Verchot vd., 2001). İğne yapraklı orman toprağında yapılan ölçümlere göre bir azot atomu  $\text{NH}_4^+$  ve  $\text{NO}_3^-$  havuzunda birkaç gün, ve mikrobiyal canlı-kütlesinde 1-2 ay kalmakta (Davidson vd., 1992), daha sonra toprak suyunda tutulma, bitki tarafından veya mikroorganizmalar tarafından alınması veya anyon değişimi olaylarına girmektedir.

Azot döngüsü hızının ormanın yaşına ve doğal veya ağaçlandırma olmasına göre de değiştiği; bununla birlikte izlenen bir azot atomunun toprakta herhangi bir formda kalma süresinin kısa olması döngünün hızlı olduğunu işaret etmektedir. Davidson vd. (1992)'de yaşlı bir iğne yapraklı ormanda azot döngüsünün genç ağaçlandırma ormanındakinden daha hızlı olması mineral azot havuzunun daha küçük olmasına dayandırılmaktadır. Yapılan çalışma kapsamında elde edilen sonuçlara göre, genç ağaçlandırma ormanında yüksek net nitrifikasyon oranının bulunması nitratın genç ormandaki azot döngüsünde daha önemli olduğuna işaret etmektedir (Davidson vd., 1992).

Laboratuarda izleme yöntemi kullanılarak yapılan denemelerde başlangıçta az sayıda bulunan nitrat bakterileri zamanla ve şartlar iyileştikçe fazlalaşmaktadır. Nitrat bakterilerinin artmasına rağmen toplam nitrat üretiminin düşük olması; ya yüksek denitrifikasyondan dolayı ya da başlangıçta nitrat bakterilerinin az sayıda olmasından kaynaklanmış olacağı tahmin edilmektedir (Laverman vd., 2002). Asitliği yüksek olan ölü örtüde asitliğin giderilmesine bağlı olarak nitrifikasyonun artması faal olmayan canlı gruplarının varlığını, içerisinde nitrat bakterisi bulunan humus veya organik maddenin eklenmesiyle nitrifikasyonun artması ise nitrat bakterilerinin hiç bulunmadığını veya çok az bulunduğunu işaret etmektedir (Rudebeck ve Persson, 1998).

Nitrat üretimi düzeyinde farklılıkların görülmesi amonyumun nitrat bakterileri için alınabilirlik düzeyinin değişik olmasından kaynaklanmaktadır (De Boer ve Kester, 1996). Oksijensiz ortamda nitratın fazlalaşmasına bağlı olarak organik azotu mineralize edebilen mikroplar fazlaca aktive olmakta ve sulak ortamdaki amonyum miktarının fazlalaşmasına neden olabilmektedir (Ma ve Aelion, 2005). Buradaki gibi toprak canlılarının sayısının artması sağlandığında toplam faaliyet de buna bağlı olarak artmakta ve sistemdeki madde dolaşımı etkilenmektedir. Bataklık topraklarında mikrobiyal nitrat ( $\text{NO}_3^-$ ) tüketimi en çok denitrifikasyon yoluyla olmaktadır. Benzer durumun su basar ormanlarda da olması beklenebilir ancak bu konudaki çalışmaların daha fazla incelenmesi gerekmektedir.

## 5. NET VE BRÜT (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>+NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) AZOT MİNERALİZASYONU

Azotun net ve brüt hesaplarının yapılması için mineralize edilen azotun hangi unsurlar tarafından sistemden uzaklaştırıldığı bilinmelidir. Böylece toprağın azot ekonomisini etkileyen etkenler hakkında yürütülen fikirler daha sağlam bir zemine yerleşecektir. Azot havuzunun ekonomisini yönlendiren azotun başlıca akıbetleri şunlardır: a) mikroorganizma alımı, b) bitki alımı, c) bazı 2:1 tabakalı kil minerallerinin ara tabakalarında bağlanması, d) buharlaşma, e) yıkanma, f) nitrifikasyon yoluyla nitrit ve nitrata dönüşmesi g) denitrifikasyon, h) yangınlar sırasında meydana gelen kayıplar. Brüt mineralizasyon ve brüt nitrifikasyon miktarları Hart vd. 1994'te açıklanan izotopik zenginleştirme yöntemi kullanılarak hesaplanabilmektedir. Net miktarlar ise aşağıda gösterilen formüle göre hesaplanmaktadır. Dünyanın çeşitli yerlerinde yapılmış çalışmalarda elde edilen ölü örtüdeki ve topraktaki net ve brüt mineralizasyon değerleri Çizelge 2'de verilmiştir.

$$\text{Net mineralizasyon} = \text{brüt mineralizasyon} - (\text{amonyum ve nitratın mikrobiyal tutulması} + \text{yıkanma} + \text{buharlaşma} + \text{bitkilerin amonyum alımı}) \quad (4)$$

$$\text{Net nitrifikasyon} = \text{brüt nitrifikasyon} - (\text{nitratın mikrobiyal tutulması} + \text{yıkanma} + \text{denitrifikasyon} + \text{bitkilerin nitrat alımı}) \quad (5)$$

Yaşlı bir Kontorta Çamı (*Pinus contorta* Dougl.) ormanında (Wyoming-ABD) Brüt toplam N (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>+NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) mineralizasyon oranları, >1mg N kg<sup>-1</sup> gün<sup>-1</sup> olarak bulunmuştur (Smithwick vd., 2005). Ancak Mary vd. (1998)'de derlenen değerlere bakıldığında bu değerlerin 50-200 mg N kg<sup>-1</sup> gün<sup>-1</sup> miktarına kadar ulaşabileceği görülebilmektedir. Bu çalışmada elde edilen ortalama brüt N mineralleşme oranı (1,45 mg kg<sup>-1</sup> gün<sup>-1</sup>), üretimin düşük olduğu 70 yaşındaki iğne yapraklı ormanlardaki brüt azot mineralizasyonu ve tutulması değerine (1 mg N kg<sup>-1</sup> gün<sup>-1</sup>) (Hart vd., 1997) yakındır.

Ele alınan bir toprak kesitinde brüt mineralizasyonun ve immobilizasyonun çok büyük olması ancak mikrobiyal toplumun büyüklüğü ile mümkündür (Davidson vd., 1992). Brüt azot dönüşümü ölçümleri amonyumun mikrobiyolojik dışbeslenen ile kendibeslek nitrat bakterileri arasındaki rekabete konu olduğu ve dışbeslenen bakterilerin azaldığı veya sabit kaldığı ortamlarda kendibeslek nitrat bakterilerinin daha yüksek bir rekabet gücüne sahip olduklarını göstermiştir (Hart vd., 1994). Vejetasyon döneminde brüt mineralizasyon, nitrifikasyon ve mikrobiyal tüketimin bitkilerin alım yaptığı miktardan daha büyük olduğu tespit edilmiştir (Verchot vd., 2001). Zira farklı ağaçların mevsimlere göre besin maddesi alım miktarları farklı olabildiği için net nitrifikasyon oranları da orman ekosistemlerinin yapısına göre değişebilmektedir (Aubert vd., 2005).

Net azot ayrışması ve bitkilerin yıllık net üretimi (Annual Net Primary Production), su ve besin maddesi tutma sığası yüksek olduğu bilinen killi ve/veya balçıklı alfisollerde; kumlu entisol, histosol ve spodosollere göre daha yüksek olmaktadır (Reich vd., 1997). Sarıçam, Ladin ve Huş meşcerelerinde yapılan bir çalışmada azot dönüşümleri arasındaki farklılıkların ormanların besin maddesi bakımından zenginliğinden kaynaklandığı anlaşılmıştır (Priha ve Smolander, 1999).

Çizelge 2: Çeşitli ülkelerde yapılmış çalışmalarda elde edilen mineralizasyon ve nitrifikasyon değerleri.

Ülke	Mineralizasyon	Birimi	Nitrifikasyon	Birimi	Yetiştirme Ortamı Tipi	Ölü Örtü/Toprak	Açıklama	Yöntem	Kaynak
Kanada	-0.03*	$\mu\text{g-Ng}^{-1}\text{gün}^{-1}$	0.06*	$\mu\text{g-Ng}^{-1}\text{gün}^{-1}$	Ladin ormanı	Ç+H	Yerinde	Gömülmüş keseler	Ste – Marie ve Houle 2006
	38.69**	$\text{mg Nm}^{-2}\text{gün}^{-1}$	12.56**	$\text{mg Nm}^{-2}\text{gün}^{-1}$	75 yaşında <i>Fagus sylvatica</i> ormanı	Ç+H	Yerinde laboratuvarında	Üstü kapalı silindir	Ritter 2005
	39.11**	$\text{kg ha}^{-1}\text{ay}^{-1}$	14.03**	$\text{kg ha}^{-1}\text{ay}^{-1}$		Toprak (0-10 cm)	5 ay: Haziran – Temmuz		
Danimarka	40* (Açıklık)	$\text{kg ha}^{-1}\text{ay}^{-1}$	28* (Açıklık)	$\text{kg ha}^{-1}\text{ay}^{-1}$	Yaşlı yağmur ormanları	Toprak (0 - 5 cm)	% 78 kum % 42 kil	$^{15}\text{N}$ seyreltme yöntemi (Lab.)	Sotta ve ark. 2008
20* (Orman Altı)	$\text{mg N kg}^{-1}\text{d}^{-1}$	18* (Orman Altı)	$\text{mg N kg}^{-1}\text{d}^{-1}$						
Brezilya	7.2**	$\text{mg N kg}^{-1}\text{d}^{-1}$	0.3**	$\text{mg N kg}^{-1}\text{d}^{-1}$	Çayırılık	Toprak (0-10 cm)	% 78 kum % 42 kil	Üstü kapalı silindir (Lab.)	Wang ve ark. 2006
	13.9**	(kur. dön.)	3.8**	(kur. dön.)					
	5.0**	(Yağışlı dönem)	1.4**	(Yağışlı dönem)					
Çin	13.2**	$\text{mg N kg}^{-1}\text{d}^{-1}$	3.6**	$\text{mg N kg}^{-1}\text{d}^{-1}$	Herdemyeşil Yağmur Ormanı	Toprak (0-10 cm)	1979 -2003 yıllarında otlatılmamış	Üstü kapalı silindir (Lab.)	Vermimmen ve ark. 2007
	1.19*	$\mu\text{g-Ng}^{-1}\text{gün}^{-1}$	1.14*	$\mu\text{g-Ng}^{-1}\text{gün}^{-1}$					
Endonezya	3.17*	$\mu\text{g-Ng}^{-1}\text{gün}^{-1}$	0.07*	$\mu\text{g-Ng}^{-1}\text{gün}^{-1}$	Dağlık Arazi Tropik altı kusak	Ölü örtü	Kurak dönem Yağışlı dönem	Üstü kapalı silindir	Khalil ve ark. 2005
	5.20*	$\text{mg-N kg}^{-1}\text{gün}^{-1}$	-0.12*	$\text{mg-N kg}^{-1}\text{gün}^{-1}$					
Bangladeş	43.43*	$\text{mg-N kg}^{-1}\text{gün}^{-1}$	41.48*	$\text{mg-N kg}^{-1}\text{gün}^{-1}$	Adırdak Dağında Ormanla kaplı havza	Toprak (0-15 cm)	Kalkerli toprak	Tüpte İzleme (Lab.)	Kreitinger ve ark. 1985
A. B. D. (NEWYORK)	0.47*	$\mu\text{g-NmL}^{-1}\text{gün}^{-1}$	199*	$\text{nmol N mL}^{-1}$	Toprak (0-2 horizonu)	Toprak (02 horizonu)	Asit Orman Toprağı (pH:3.6-4.0)	Tüpte İzleme (Lab.)	Davidson ve ark. 1992
	1.9*	$\text{mg m}^{-2}\text{gün}^{-1}$	-4.8*	$\text{mg m}^{-2}\text{gün}^{-1}$					
A. B. D. (Kaliforniya)	7.2*	$\text{mg m}^{-2}\text{gün}^{-1}$	4.6*	$\text{mg m}^{-2}\text{gün}^{-1}$	Kasım Ayı Nisan ayı	Toprak (0-9 cm)	Yerinde üstü kapalı silindir	Yerinde üstü kapalı silindir	Davidson ve ark. 1992

\*Net mineralizasyon ve nitrifikasyon değerleri. \*\*Brüt mineralizasyon ve nitrifikasyon değerleri. \*\*\* Y: Yaprak, Ç: Çürüntü, H: Humus.



## 6. TÜRKİYE ORMANCILIĞI AÇISINDAN DEĞERLENDİRME

Azot mineralizasyonu orman beslenmesini ve büyümesini doğrudan olumlu etkileyen bir işlemdir (Fisher ve Binkley 2000). Beslenme açısından bakıldığında dengeli bir ayrışma ve düzenli-uzun süreli büyüme dönemine bağlı olarak azot temini ortamında muazzam bir büyüme beklenmektedir. Ancak orman ekosistemlerinin ülkemizdeki yerel çeşitliliği düşünüldüğünde manzaranın her zaman beklendiği üzere parlak olmayacağı tahmin edilecektir. Mikrop ve bitkilerin ortak sınırlandırıcı koşullar altında beslenmenin ve azot akışının kesintiye uğraması sonucu; sistem dışına çıkan azot miktarı orman ekosistemlerinin yönetimine, bu sorunların giderilmesine ilişkin ilâve görev ve sorumluluklar doğurmaktadır. Ilıman kuşakta bulunan ekosistemlerde bu sorunlar artan sıcaklıklardan kaynaklanan yangınlarla azotun gaz halinde atmosfere geri dönmesi ve yangın sonrası yıkanma ile madde kayıpları olarak husule gelmektedir. Böylece yağış sularında yoğunluğu artan azotoksitler (NO<sub>x</sub>) yağışlarla gelen suyun kalitesini olumsuz etkilemektedir. Bunun dışında aşırı sıcaklık artışı ile meydana gelen yüksek miktardaki ayrışma faaliyeti sonucu açığa çıkan mineral azotun yüksek yağış alan yetiştirme ortamlarında aşırı yıkanma ile yeraltı sularına karışması ve oradan da içme sularına karışması ötrofikasyona ve sulak ekosistemlerdeki canlı çeşitliliğinin bozulmasına bağlı olarak su kirliliği yaratmaktadır. Azot mineralizasyonunun kendibeslek veya dışbeslenen mikroplar tarafından yapılması ise toprakta karbonun tutulmasına veya salıverilmesine ilişkin dinamikleri etkilemektedir. İnorganik azot bileşiklerinin oksitlenmesi sonucu açığa çıkan enerji kendibeslek mikroplar için karbondioksit bağlanmasında ve büyümede kullanılan yegâne enerji kaynağıdır (Atlas ve Bartha 1993).

## 7. SONUÇ

Bu çalışma ile ülkemiz bilimsel yazınına konuyla ilgili katkıda bulunmak üzere ulaşılabilen kaynaklara dayanılarak bir derleme yapılmaya çalışılmış ve konu hakkında genel bilgiler verildikten sonra önemli olduğu düşünülen amonyum ve nitrat dönüşümleri ile mikroorganizma ilişkileri üzerinde nispeten daha fazla durulmuştur. Çalışmalarda yöntemler izlemeye ve/veya belirli bir zaman dilimindeki kesitlerden elde edilen sonuçlara dayandırılmıştır. Farklı ağaç türleri ve meşcere çağı; azotun mineralize edilen ürünlerinin mikroorganizmalar tarafından kullanım düzeyleri üzerinde etkili olduğu anlaşılmaktadır. Ölü örtü üzerinde etkili olan bakım müdahalelerinin ayrışma ve mineralizasyon üzerinde hızlandırıcı etkide bulunacağı ve mikrobiyal canlı gruplarının bileşimini değiştireceği tahmin edilmektedir. Ayrıca iklimin de mikroorganizma faaliyetleri üzerinde etkili olmasına bağlı olarak ülkemiz ormanlarında yapılacak çalışmalarda çarpıcı sonuçlar elde edilebilecektir. Örneğin yüksek dağlık alanlardaki ibrelî ormanlarda azot döngüsü daha yavaş, deniz seviyesindeki kızılçam ormanlarında daha hızlı olabilecek; karadeniz kıyı kuşağındaki nemli yapraklı ormanlarda ise mineral azotun bitki ve mikroorganizma alımından daha fazla miktarının yıkanarak uzaklaşması gerçekleşebilecektir. Ülkemizde de bu konulara ağırlık verilmesi ve azot mineralizasyonu sürecinin yoğun olarak araştırılması gerektiği görülmektedir.

**KAYNAKLAR**

- Atlas, R. M., Bartha, R. 1993. Microbial Ecology Fundamentals and Applications, Third Edition. The Benjamin/Cummings Publishing Company Inc., California, 563 s.
- Aubert, M., Bureau, F., Vincelas-Akpa, M. 2005. Sources of spatial and temporal variability of inorganic nitrogen in pure and mixed deciduous temperate forests. *Soil Biology & Biochemistry* 37: 67–79.
- Aydemir, O., İnce F. 1988. Bitki Besleme, Dicle Üniversitesi Eğitim Fak. Yay. No: 2, Dicle Üniversitesi Matbaası, Diyarbakır, s: 653.
- Bartholomew, W. V., Clark, F. E. 1965. Soil Nitrogen. American Society of Agronomy, Inc., Publisher Madison, Wisconsin, USA.
- Bengtsson, G., Bengtson, P., Mansson, K. F. 2003. Gross nitrogen mineralization-, immobilization-, and nitrification rates as a function of soil C/N ratio and microbial activity. *Soil Biology & Biochemistry* 35: 143–154.
- Brady, N. C. 1990. The Nature and Properties of Soils. Macmillan Pub. Co. New York, s: 621.
- Carreiro, M. M., Sinsabaugh, R. L., Repert, D. A., Parkhurst, D. F. 2000. Microbial enzyme shifts explain litter decay responses to simulated nitrogen deposition, *Ecology*, 81 (9): 2359-2365.
- Côte, L., Brown, S., Pare, D., Fyles, J., Bauhus, J. 2000. Dynamics of carbon and nitrogen mineralization in relation to stand type, stand age and soil texture in the boreal mixedwood. *Soil Biology & Biochemistry* 32: 1079–1090.
- Davidson, E. A., Hart, S. C., Firestone, M. K. 1992. Internal cycling of nitrate in soils of a mature coniferous forest. *Ecology*, 73 (4): 1148-1156.
- De Boer, W., Kester, R. A. 1996. Variability of nitrification potentials in patches of undergrowth vegetation in primary Scots pine stands, *Forest Ecology and Management*, 86: 97-103.
- De Boer, W., Kowalchuk, G. A. 2001. Nitrification in acid soils: Micro-organisms and mechanisms – Review, *Soil Biology & Biochemistry*, 33: 853-866.
- Dilly, O., Bartsch, S., Rosenbrock, P., Buscot, F., Munch, J. C. 2001. Shifts in physiological capabilities of the microbiota during the decomposition of leaf litter in a black alder (*Alnus glutinosa* (Gaertn.) L.) forest; *Soil Biology & Biochemistry* 33: 921-930.
- Evrendilek, F. 2004. Ekolojik Sistemlerin Analizi, Yönetimi ve Modellenmesi, Papatya Yayıncılık, İstanbul, 208 s.
- Fisher, R.F., Binkley, D., 2000. Ecology and Management of Forest Soils, 3rd Ed. John Wiley & Sons Inc., New York, 512 pp.
- Hafner, S. D., Groffman, P. M. 2005; Soil nitrogen cycling under litter and coarse woody debris in a mixed forest in New York State. *Soil Biology & Biochemistry* 37: 2159-2162.
- Hart, S.C., Nason, G. E., Myrold, D. D., Perry, D. A. 1994. Dynamics of gross nitrogen transformations in an old-growth forest: The carbon connection. *Ecology*, 75 (4): 880-891.
- Hart, S.C., Binkley, D., Perry, D. A. 1997. Influence of red alder on soil nitrogen transformations in two conifer forests of contrasting productivity. *Soil Biology & Biochemistry* 29: 1111–1123.
- Kanerva, S., Smolander, A. 2007. Microbial activities in forest floor layers under silver birch, Norway spruce and Scots pine. *Soil Biology & Biochemistry* 39: 1459–1467.
- Kantarci, M. D. 1987. Toprak İlimi. İstanbul Üniversitesi Yay. No: 3444, Orman Fakültesi Yay. No: 387, Matbaa Teknisyenleri Basımevi – İstanbul.
- Kara, Ö. 2002. Kuzey Trakya dağlık yetişme ortamı bölgesinde kayın, meşe, karaçam ormanlarındaki toprak mikrofunguslarının mevsimsel değişimi. Doktora Tezi, İ. Ü. Fen Bilimleri, 2002.
- Khalil, M. I., Hossain, M. B., Schmidhalter, U. 2005. Carbon and nitrogen mineralization in different upland soils of the subtropics treated with organic materials. *Soil Biology & Biochemistry* 37: 1507–1518.
- Kreitinger, J. P., Klein, T. M., Novick, N. J., Alexander, M. 1985. Nitrification and characteristics of nitrifying microorganisms in an acid forest soil. *Soil Science Society of American Journal*, Vol: 49, pp: 1407-1410.
- Laverman, A.M., Borgers, P., Verhoef, H. A. 2002. Spatial variation in net nitrate production in a N-saturated coniferous forest soil. *Forest Ecology and Management* 161: 123–132.
- Ma, H., Aelion, C. M. 2005. Ammonium production during microbial nitrate removal in soil microcosms from a developing marsh estuary. *Soil Biology & Biochemistry* 37: 1869-1878.
- Mary, B., Recous, S., Robin, D. 1998. A model for calculating nitrogen fluxes in Soil using <sup>15</sup>N tracing; *Soil Biology & Biochemistry* 30 (14): 1963-1979.

ORMAN TOPRAKLARINDA MİKROORGANİZMALAR TARAFINDAN GERÇEKLEŞTİRİLEN  
AZOT DÖNÜŞÜMLERİ

- Michel, K., Matzner, E. 2002. Nitrogen content of forest floor Oa layers affects carbon pathways and nitrogen mineralization. *Soil Biology & Biochemistry* 34: 1807–1813.
- Priha, O., Smolander, A. 1999. Nitrogen transformations in soil under *Pinus sylvestris*, *Picea abies* and *Betula pendula* at two forest sites. *Soil Biology & Biochemistry* 31: 965-977.
- Reich, P. B., Grigal, D. F., Aber, J. D., Gower, S. T. 1997. Nitrogen mineralization and productivity in 50 hardwood and conifer stands on diverse soils. *Ecology* 78: 335-347.
- Ritter, E. 2005. Litter decomposition and nitrogen mineralization in newly formed gaps in a Danish beech (*Fagus sylvatica*) forest. *Soil Biology & Biochemistry* 31: 1237-1247.
- Rudebeck, A., Persson, T. 1998. Nitrification in organic and mineral soil layers in coniferous forests in response to acidity. *Environmental Pollution* 102 (S1): 377-383.
- Saetre, P., Bååth, E. 2000. Spatial variation and patterns of soil microbial biomass and activity in a mixed spruce-birch stand. *Soil Biology & Biochemistry* 32: 909–917.
- Sarıyıldız, T. 2003. Litter decomposition of *Picea orientalis*, *Pinus sylvestris* and *Castanea sativa* Trees Grown in Artvin in Relation to their initial litter quality variables. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry* 27, (237-243) 2003.
- Sarıyıldız, T., Tüfekçioğlu, A., Küçük, M. 2004. Effects of aspect and slope position on decomposition of *Picea orientalis* needle litter grown in Artvin region. *International Soil Congress (ISC) on “Natural Resource Management for Sustainable Development”*, June 7-10 2004. Erzurum – Turkey.
- Sarıyıldız, T., Anderson, J. M., Kucuk, M. 2005. Effects of tree species and topography on soil chemistry, litter quality, and decomposition in Northeast Turkey. *Soil Biology and Biochemistry* (2005) 1695-1706.
- Sarıyıldız, T., Tüfekçioğlu, A., Küçük, M. 2005. Comparison of Decomposition rates of Beech (*Fagus orientalis* Lipsky) and Spruce (*Picea orientalis* (L.) Link) Litter in pure and mixed stands of both species in Artvin, Turkey. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry* 29, (1-10) 2005.
- Schimel, J. P., Mikan, C. 2005. Changing microbial substrate use in Arctic tundra soils through a freeze-thaw cycle. *Soil Biology & Biochemistry* 37: 1411–1418.
- Smolander, A., Kitunen, V. 2002. Soil microbial activities and characteristics of dissolved organic C and N in relation to tree species. *Soil Biology & Biochemistry* 34: 651-660.
- Smolander, A., Loponen, J., Suominen, K., Kitunen, V. 2005. Organic matter characteristics and C and N transformations in the humus layer under two tree species, *Betula pendula* and *Picea abies*. *Soil Biology & Biochemistry* 37: 1309-1318.
- Smithwick, E. A. H., Turner, M. G., Metzger, K. L., Balsler, T. C. 2005. Variation in  $\text{NH}_4^+$  mineralization and microbial communities with stand age in lodgepole pine (*Pinus contorta*) forests, Yellowstone National Park (USA). *Soil Biology & Biochemistry* 37: 1546-1559.
- Sotta, E. D., Corre, M. D., Veldkamp, E. 2008. Differing N status and N retention processes of soils under old-growth lowland forest in Eastern Amazonia, Caxiuana, Brazil. *Soil Biology & Biochemistry* 40: 740-750.
- Ste-Marie, C., Houle, D. 2006. Forest floor gross and net nitrogen mineralization in three forest types in Quebec, Canada. *Soil Biology & Biochemistry* 38: 2135–2143.
- Verchot, L. V., Holmes, Z., Mulon, L., Groffman, P. M., Lovett, G. M. 2001. Gross vs net rates of N mineralization and nitrification as indicators of functional differences between forest types. *Soil Biology & Biochemistry* 33: 1889-1901.
- Vernimmen, R. R. E., Verhoel, H. A., Verstraten, J. M., Bruijnzeel, L. A., Klomp, N. S., Zoomer, H. R., Wartenberg, P. E. 2007. *Soil Biology & Biochemistry* 39: 2992-3003.
- Vestgarden, L. S. 2001. Carbon and nitrogen turnover in the early stage of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) needle litter decomposition: effects of internal and external nitrogen. *Soil Biology & Biochemistry* 33: 465-474.
- Wang, C., Wan, S., Xin, X., Zhang, L., Han, X. 2006. Temperature and soil moisture interactively affected soil net N mineralization in temperate grassland in Northern China. *Soil Biology & Biochemistry* 38: 1101-1110.
- White, C., Tardif, J. C., Adkins, A., Staniforth, R. 2005. Functional diversity of microbial communities in the mixed boreal plain forest of central Canada. *Soil Biology & Biochemistry* 37: 1359-1372. *Soil Biology & Biochemistry* 34: 651-660.