

KÖK AYRIŞMA SEYRİ ÜZERİNDE AĞAÇ TÜRÜNÜN VE TOPOGRAFYANIN ETKİSİ

Temel SARIYILDIZ¹, Murat ACAR², Mehmet KÜÇÜK²

¹Kastamonu Üniversitesi, Orman Fakültesi, Orman Müh. Bölümü, 37100 Kastamonu, t_sariyildiz@yahoo.com

²Artvin Çoruh Üniversitesi, Orman Fakültesi, Orman Mühendisliği Bölümü, 08000 Artvin

ÖZET

Burada sunulan çalışmamızda kılcal ve ince köklerin ayrışması üzerinde ağaç türlerinin, topografyanın ve toprak derinliğinin etkisinin araştırılması amaçlanmıştır. Bu amaçla Sarıçam (*Pinus sylvestris* L.), Doğu ladini (*Picea orientalis* L.) ve Kızılağaç (*Alnus glutinosa* L.) türlerinin kılcal (<2 mm) ve ince kökleri (2-5 mm) kuzey ve güney bakıya ve her bir bakının iki farklı yükseltisine (900 m ve 1200 m) ve iki farklı toprak derinlik kademesine (0-10 cm ve 10-20 cm) bırakılarak ayrışma süreçleri iki yıl süreyle araştırılmıştır. Ek olarak, standart kök örnekleri kullanılarak, mikroiklim özelliklerinin kök ayrışmasına olan etkileri incelenmiştir. Kızılağaç kılcal ve ince kökleri en hızlı ayrışmayı gösterirken, bunu sarıçam ve doğu ladini izlemiştir. Güney bakıldaki kök örnekleri kuzey bakıldaki köklere göre daha hızlı ayrışmıştır. Alt yükseltisindeki kökler üst yükseltisindekilere göre daha hızlı ayrışmıştır. Toprak derinlik kademesi ve kök çap kalınlığının artmasıyla ayrışmanın hızı azalmıştır. Türler arasındaki ayrışma farklılıklarında türlerin başlangıçta içerdiği kimyasal yapı etkili olurken, kimyasal özellikler sabit tutulduğunda topografyaya bağlı olarak mikroiklim özelliklerinde (hava ve meşcere altı sıcaklık) meydana gelen değişikliklerin kök ayrışmasını etkilediği belirlenmiştir. Azot oranı en fazla olan kızılağaç köklerinin ayrışması en hızlı iken, N oranı en az olan doğu ladininde ayrışma en yavaş gerçekleşmiştir.

Anahtar Kelimeler: Kök ayrışması, topografya, kimyasal yapı, iklim, Artvin.

EFFECTS OF TREE SPECIES AND TOPOGRAPHY ON ROOT DECOMPOSITION

ABSTRACT

Main aim of this study was to investigate the effects of tree species, topography and soil depth on fine and small roots of Alder, Oriental spruce and Scots Pine. The root samples collected from two aspects (north and south) and two altitudes (900 m and 1260 m) on each aspect and were placed into 0-10 cm and 10-20 cm of soil depth. Standard root samples were used to evaluate the effects of microclimate on decay rates. Alder root samples showed the highest decomposition rates, followed by pine and Oriental spruce roots. The root samples on south aspect and lower altitudes decayed faster than those on north aspect and higher altitudes. The root decomposition rates decreased with increasing root thickness and soil depth. Among the tree species, initial root litter quality seemed to control their decomposition rates. The alder roots with the highest N concentration decomposed much faster than the Oriental spruce roots with the lowest N concentration. Decomposition rates of the standard root samples were well correlated with temperature either in open area or under the stands.

Key Words: Root decay, topography, litter quality, climate, Artvin.

1. GİRİŞ

Birçok bilim adamı ölü örtü ayrışmasına etki eden etmenlerin neler olduğunu bulmak için hem arazide hem de laboratuvar ortamlarında birçok bilimsel çalışmalar yapmış, ölü örtü ayrışma modelleri geliştirmeye çalışmıştır (Sariyildiz ve Küçük, 2008). Yapılan bu çalışmalarda genelde bitkilerin toprak üstü kısımlarının (çoğunlukla yaprak, dal, kütük)

ayırışma seyrinin izlenmesi üzerinde durulmakta, çalışılması daha zahmetli ve zaman alan toprak altı (kök) kısmının ayırışma seyri üzerine olan çalışmalar sınırlı olmaktadır (Usman vd., 2000; Püttsepp vd., 2007). Oysa toprak organik maddesinin önemli bir kısmını oluşturan ölü köklerin ayırışma seyri belirlenmeden, herhangi bir ekosistemdeki karbon döngüsü sürecinin ve etki eden faktörlerin tam olarak anlaşılması eksik kalacaktır. Bitkilerin hem toprak üstü hem de sınırlı sayıda olsa da toprak altı kısımlarının kullanılarak, şu ana kadar yapılan çalışmalardan elde edilen sonuçlara göre, ölü örtünün ayırışması ve besin elementlerinin salıverilmesini etkileyen üç ana faktör bulunmaktadır. Bunlar; (1) ölü örtü ayırışmasının gerçekleştiği ortamın iklim özellikleri (özellikle sıcaklık ve yağış), (2) bu ortamda ayırışmayı gerçekleştiren mikroorganizmaların ve toprak canlılarının sayısı, çeşidi ve aktifliği ve (3) ayrılan ölü örtünün kimyasal bileşenleri (özellikle toplam karbon, azot, hemiselüloz, lignin ve besin elementleri konsantrasyonları yada bunların birbirine olan oranları C:N, lignin:N gibi). Genel olarak, farklı coğrafik bölgelerde bulunan ölü örtünün ayırışması üzerinde iklim özellikleri etkili olurken, daha sınırlı, yerel alanlarda ise ayrılan ölü örtünün kimyasal yapısının etkisi ön plana çıkmaktadır. Diğer çevre özellikleri ve ayrıştırıcıların aynı olduğu ortamlarda, sıcaklıkta meydana gelebilecek artışla ölü örtü ayırışması arasında pozitif bir ilişki bulunmaktadır. Vitousek vd. (1994) tarafından yapılan bir çalışmada, hava sıcaklığında meydana gelen 10 °C lik bir artışın ölü örtü ayırışma oranını 4 ile 11 katı arttırdığı rapor edilmiştir.

Lokal alanlarda ölü örtü ayırışma seyri üzerinde ayrılan materyalin biyokimyasal yapısı öne çıkmakla beraber, bu lokal alanların topografik yapıları (bakı, yükselti, eğim) mikroiklim özelliklerini değiştirerek ölü örtü ayırışma seyrini etkileyebilmektedir. Topografyanın önemli bir bileşeni olan bakı mikroiklim özelliklerinin değişmesine neden olabilmektedir. Ülkemizde dağların kuzey ve güney yamaçları arasında toprak oluşumu yönünden son derece önemli farklılıklar bulunmaktadır. Çünkü güneye bakan yamaçlar güneş ışımasını daha dik aldığı için fazlaca ısınmakta ve nispeten kurak ortam oluşurken kuzey yamaçlarda ise daha nemli şartlar hüküm sürmektedir. Buda toprak oluşumu üzerinde etkili olmaktadır. Bakının bir diğer etkisi yağış üzerinde olup, yağışın geldiği cephelere açık olan yamaçlar daha fazla yağış aldığı için yıkanma fazla olmakta dolayısıyla buralardaki topraklar asit reaksiyon göstermektedir. Diğer yamaçlarda ise yağış ve yıkanma az olduğundan topraklar alkalın reaksiyon göstermektedir.

Mikroiklim özelliklerini etkileyen topografyanın diğer bir faktörü de yükseltidir. Yükseltinin artması ile sıcaklık düşer ve belli bir yükseltiye kadar yağış artar. Yükseltinin iklime etkilerine bağlı olarak bir dağ yamacı boyunca farklı toprak kuşakları görülür. Yükseklerle doğru sıcaklığın düşmesi ve kısmen de yağışın artması ile toprak yüzeyinde organik maddenin biriktiği ve yıkanmanın daha fazla olduğu asit reaksiyonlu, hatta podzolleşmiş topraklar görülür.

Topografya sadece toprak özellikleri ve yaprak ölü örtü ayırışma seyrini etkilememekte aynı zamanda ağaçların kök biyokütlesi üzerinde de etkili olabilmektedir. Tüfekçioğlu vd. (2004), Artvin’de, doğu ladini ve doğu kayını meşcerelerinde kök biyomasi ve karbon depolamasını incelemişler, güney bakılardaki kök kütlesinin kuzey bakılara oranla daha fazla olduğunu saptamışlardır. Fogel, (1983) ibrelili ormanlar altındaki kılcal kök kütlesinin 1000-12600 kg/ha arasında değiştiğini belirtmektedir. Bu değerlere yakın miktarda kök kütlesi Hendrick ve Pregitzer, (1993) tarafından meşe, kayın ve akçaağaç karışımından oluşan büklerde belirlenmiştir. Hendrick ve Pregitzer, (1993) Amerika’da, Michigan eyaletindeki meşe, kayın ve akçaağaç karışımından oluşan yapraklı ormanlardaki ince kök kütlesini güneşli bakılarda gölgeli bakılara oranla daha fazla bulmuşlardır. İlgili çalışmada, güneşli bakılardaki kılcal kök kütlesi 9530 kg/ha iken gölgeli bakılarda 7967

kg/ha'dır. Kalyn ve Van Rees, (2006) yaptıkları bir çalışmada, yetişkin bir Kara ladin (*Picea mariana* Mill.), Kavak (*Populus tremuloides* Mich x.) ve Jack pine (Çam) (*Pinus banksiana* Lamb.) meşcerelerinin yıllık ince kök kütlesinin anılan sıralamaya göre ortalama 3.10 ± 0.89 , 1.71 ± 0.49 ve 1.62 ± 0.32 Mg (ton) C ha⁻¹ olduğunu, bunun da toplam meşcere biyomasının %1 ve %6 arasında sorumlu olduğunu belirtmişlerdir. Yıllık ince kök net üretiminin anılan sıralamaya göre 2.66 ± 0.97 , 2.03 ± 0.43 ve 1.44 ± 0.43 Mg C ha⁻¹y⁻¹ olduğunu bularak toplam meşcere net üretiminin %41 ve %71 arasındaki değeri içerdiğini bildirmişlerdir.

Topografik yapının kök kütle miktarı üzerine olan etkileri, yukarıda verilen örneklerden de anlaşılacağı gibi araştırmacıların konuları arasında yer almakla beraber, topografik yapıların kök ayrışma seyri üzerine olan etkisi çalışılmamış bir konudur. Ülkemizde ise bildiğimiz kadarıyla böyle bir çalışma yapılmamıştır. Burada sunduğumuz çalışmanın ana amacı; ağaç türlerinin kök ayrışma seyri üzerinde topografik özelliklerden bakı ve yükselti ile toprak derinliğinin etkisini araştırmaktır. Bu amaçla sarıçam ve doğu ladini ile kızılğaç türlerinin kılcal (<2mm) ve ince kökleri (2-5 mm) kuzey ve güney bakıdan ve her bir bakının farklı iki yükseltisinden (alt yükselti-900 m ve üst yükselti-1260 m) alınmış, alınan bu kökler laboratuarda ölü örtü ayrışma poşetleri içine hazırlanmış ve yine araziden alındıkları alanların iki farklı toprak derinliği kademesine (0-10 cm ve 10-20 cm) konularak ayrışmaya bırakılmıştır. Ağaç türleri, bakı, yükselti, toprak derinliği ve kök kalınlıkları arasındaki kök ayrışma farklılıkları ve buna etki eden kimyasal yapı ve mikroiklim özellikleri belirlenmeye çalışılmıştır.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

2.1. Çalışma Alanının Genel Tanıtımı

Bu çalışma, Türkiye coğrafi bölgelerinden Doğu Karadeniz Bölgesinde, Artvin kent merkezine yaklaşık 8 km uzaklıkta Artvin-Kafkasör mevkiinde Artvin Orman İşletme Müdürlüğüne bağlı, Taşlıca Orman İşletme Şefliği sınırları içerisinde gerçekleştirilmiştir. Çalışmalarımız, Artvin-Kafkasör mevkiinin kuzey bakısı (gölgeli bakı) ve güney bakısı (güneşli bakı) ile bu bakıların alt (ortalama 900 m) ve üst (ortalama 1260 m) yükseltilerinde gerçekleştirilmiştir. Çalışma alanlarının ortalama eğimi kuzey bakının alt yükseltilerinde % 45, üst yükseltilerinde %30, güney bakının alt yükseltilerinde %35 ve üst yükseltilerinde % 40 tır.

Çalışma alanlarının iklim verileri, alana en yakın Artvin İli Merkez Meteoroloji İstasyonunun (628 m- kuzey bakı) 1980-2005 verilerinin çalışma alanlarının 900 m ve 1260 m yükseltilerine enterpole edilmesiyle belirlenmiştir. Elde edilen enterpole değerlere göre, çalışma alanımızın yıllık toplam yağış miktarı en alt yükseltide 813 mm, en üst yükseltide 1021 mm, yağışın en yüksek olduğu ay üst yükseltide Aralık (113 mm), alt yükseltide Aralık (100 mm), en düşük olduğu ay üst yükseltide Ağustos (52 mm), alt yükseltide Ağustos (38 mm) tur. Mevsimler itibarıyla yağış rejimi ilkbahardan yaza doğru hızla azalmaktadır. En yağışlı mevsim kış (108 mm), en kurak mevsim ise yazdır (46 mm). En sıcak ay Temmuz (22 °C), en soğuk ay Ocak (-3.2 °C) olmuştur. Yıllık ortalama sıcaklık 10 °C dir.

Araştırma sahası genelinde kahverengi orman toprakları hakim durumdadır. Araştırma sahası çevresinde yapılan bazı çalışmalarda, toprakların hafif asit, kumlu tozlu balçık tekstürde, yer yer sığ alanlar olmakla birlikte toprakların derin ve az veya orta

seviyede taşlı ve erozyona duyarlı olduğu bildirilmiştir (Sariyildiz vd., 2005; Sariyildiz vd., 2008).

2.2. Arazide ve Laboratuarda Yapılan Çalışmalar

Haziran ayı ortalarında çalışma alanının kuzey ve güney bakılarının alt ve üst yükseltilerinde bulunan doğu ladini, sarıçam ve kızılğaç türlerinin altından, kazma ile kazılarak ortaya çıkarılan köklerin çapı 5 mm den küçük olanları elle toplanıp, naylon poşetlere konulmuş, etiketlenmiş ve laboratuara getirilmiştir. Bu kökler laboratuarda dijital hassas kumpas kullanılarak her bir tür için 2 mm den küçük ve 2-5 mm arasında olacak şekilde sınıflandırılmıştır.

Çalışma alanlarının topraklarının bazı özelliklerini (hacim ağırlığı, pH, tekstür, organik madde) belirlemek amacıyla kök örneklemesinin yapıldığı araziden toprak örnekleri alınmıştır. Hacim ağırlığını ölçmek için toprak doğal yapısını bozmadan silindir örneği, diğer toprak özelliklerini bulmak için bunun yanında bir miktar yapısı bozulmuş toprak örnekleri alınıp etiketlenerek naylon poşetlere konulmuştur. Araziden alınan yapısı bozulmuş toprak örneklerinin toprak pH'sı 1/2.5 toprak-su karışımında belirlenmiştir. Toprak organik maddesi Kalra ve Maynard (1991) tarafından değiştirilmiş Walkley Black metoduyla bulunmuştur. Toprak tekstürü ise (kum, toz ve kil miktarları) Bouyoucos'un hidrometre metoduyla bulunmuştur (Bouyoucos, 1936).

İki milimetreden küçük (< 2 mm) ve 2-5 cm arasındaki kök örneklerinin arazideki kütle kaybını belirlemek amacıyla, 20 x 20 cm genişliğinde, 1 mm den daha küçük gözeneklere sahip ölü örtü ayrışma poşetleri hazırlanmıştır. Her bir poşet içerisinde 1 gram kök olacak şekilde, poşetlere 2 mm den küçük olan doğu ladini, sarıçam ve kızılğaç türlerinin kök örnekleri ile 2 mm den büyük sadece sarıçam ve kızılğaç kök örnekleri ayrı poşetler olarak hazırlanmıştır. Kökler farklı bakılardan ve yükseltilerden alındığından kimyasal bileşenleri de farklılık gösterecektir. Sadece iklim özelliklerinin kök ayrışması üzerine olan etkisini belirleyebilmek için kimyasal yapısı aynı olan 2 mm den küçük sarıçam ve doğu ladini kök örnekleri standart kökler olarak ayrı poşetler içinde hazırlanmıştır. Hazırlanan bu poşetler, kök örneklerinin alındığı çalışma alanlarının mineral topraklarının üst (0-10 cm) ve alt (10-20 cm) derinlik kademelerine yerleştirilerek üzerleri toprakla örtülmüştür. 2 mm den küçük kökler ile standart köklere ait ayrışma deneyi kuzey ve güney bakılar ile bu bakıların alt ve üst yükseltilerinde gerçekleştirilirken, 2 mm den büyük olan sarıçam ve kızılğaç köklerine ait ayrışma deneyi ise sadece kuzey bakının alt ve üst yükseltilerinde gerçekleştirilmiştir.

Her bir deneme alanından 9. 15. ve 24. ayda olmak üzere toplam 3 örnekleme yapılmıştır. Her bir örnekleme zamanında, her bir bakının bir yükseltisinden 42 adet poşet [< 2 mm kök örneği (3 tür x 2 derinlik kademesi x 3 tekrar = 18) + 2-5 cm arasındaki kök örneği (2 tür x 2 derinlik kademesi x 3 tekrar =12) + standart (2 tür x 2 derinlik kademesi x 3 tekrar =12) = 42 adet] olmak üzere toplam da ise 168 ölü örtü poşeti alınmış ve laboratuara getirilmiştir (Şekil 10). Araziden alınan kökler, yabancı maddelerden temizlendikten sonra, laboratuarda ilk önce hava kurusu hale getirildikten sonra, 40 °C'ye ayarlanmış fırında 48 saat bırakılarak fırın kurusu hale getirilmişlerdir. Bir miktar kök örneği, başlangıçtaki nem miktarları belirlemek için 85 °C'ye ayarlanmış fırına konulmuş ve fırın kurusu hava kurusu farkından yararlanılarak başlangıçta içerdiği yüzde nem miktarı belirlenmiştir. Fırın kurusu haldeki köklerin bir kısmı ise yavaş bir şekilde elle kırılmış, daha sonra bunlar plastik poşetlere konularak kimyasal analiz için saklanmıştır. Saklanan bu örnekler daha sonra 85 °C'ye ayarlanmış fırında kurutulmuş ve bitki öğütme değirmeninde öğütülerek 1 mm den daha küçük hale getirilmiştir. Öğütülen örneklerin içerdikleri azot,

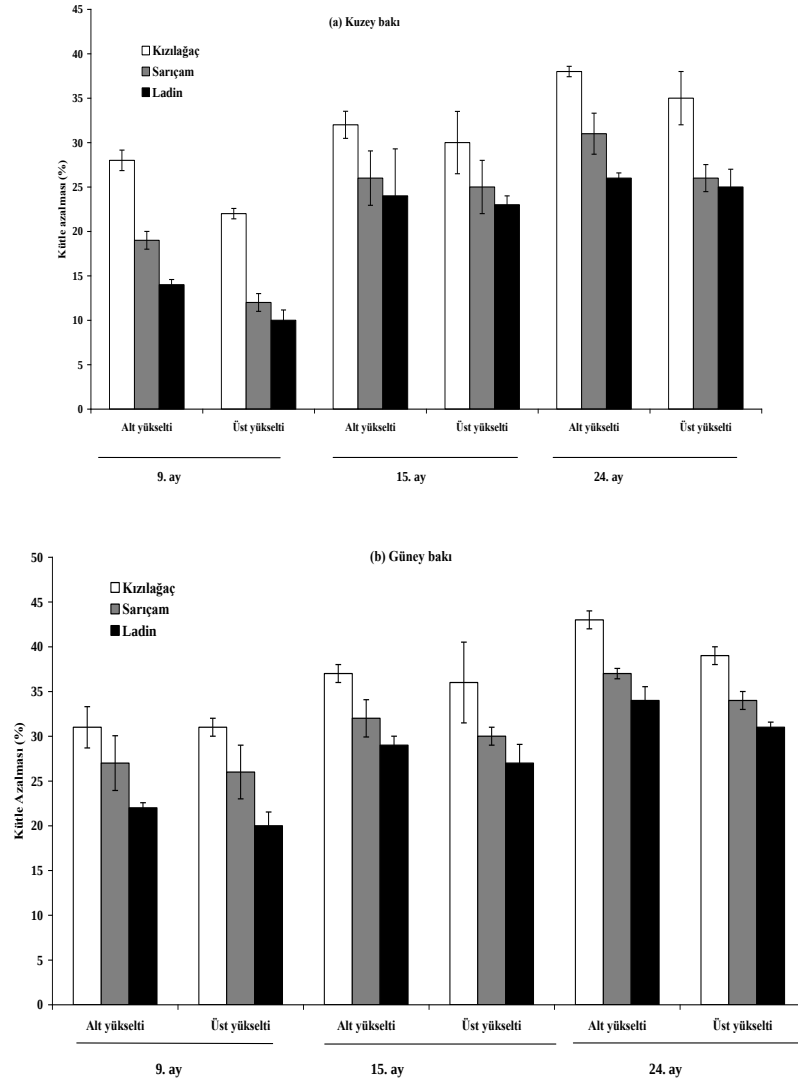
fosfor ve potasyum, konsantrasyonları özel bir laboratuara (Antalya Laben Toprak ve Yaprak Kimyasal Analiz Laboratuvarı) gönderilerek belirlenmiştir. Besin elementlerinden azot, Kjeldahl digestion metodu; fosfor, molibden blue metodu ile; potasyum ise atomik absorpsiyon cihazında belirlenmiştir. Bütün kimyasal analizler üç tekrarlı yapılmıştır.

Ayrışma sabitesi (k) Olson'ın (1963) ayrışma modelinde kullandığı ve günümüzde de yaygın olarak kullanılan $W_t / W_0 = e^{-kt}$ formülüne göre hesaplanmıştır. Burada, $W_t = t$ zamanındaki kalan kütleyi, W_0 ise başlangıçtaki kütleyi ifade etmektedir. Yine Olson tarafından kullanılan, %95 kütle azalması için gerekli olan zaman $T_{95} = 3/k$ formülünden yararlanarak hesaplanmıştır. Araziden kök örnekleme yapıldığı zamanda ve hava şartlarının izin verdiği ölçüde, kök örneklerinin konulduğu yerler de aylık olarak toprak nemi, toprak sıcaklığı, açık alan sıcaklığı, meşcere altı sıcaklık değer ölçümleri de gerçekleştirilmiştir. Kök ayrışmasının gerçekleştirildiği alanların toprak solumun değerleri ayrıca belirlenmiştir. Toprak solunumu soda kireç yöntemi kullanılarak yapılmıştır (Raich ve Tüfekçioğlu, 2000).

3. BULGULAR

3.1. Kılcal Köklerin ($\emptyset < 2$ mm) 0-10 cm ve 10-20 cm Derinliğindeki Ayrışması

Mineral toprağın 0-10 cm derinlik kademelerine yerleştirilen, kızılğaç, sarıçam ve doğu ladini türlerinin kılcal köklerinin ($\emptyset < 2$ mm), iki farklı bakıda (kuzey ve güney), her bir bakının iki farklı yükseltisinde (alt-900 m ve üst-1260 m) ve farklı zaman dilimlerindeki kütle azalması (ayrışma) değerleri Şekil 1'de verilmiştir.



Şekil 1. 2 mm den küçük kılcal köklerin 0-10 cm toprak derinliğinde kuzey ve güney bakılarda farklı örnekleme zamanlarında farklı türlerde gösterdikleri ayrışma oranları (%).

Her bir deneme alanında ve örnekleme zamanında, çalışılan 3 farklı tür içerisinde, kızılğaç kılcal kökleri en hızlı ayrışmayı göstermiştir. İkinci en yüksek ayrışma değerleri sarıçam kılcal köklerinde belirlenirken, en düşük ayrışma değerleri doğu ladini köklerinde belirlenmiştir (Şekil 1). Güney bakiya yerleştirilen kılcal kökler kuzey bakiya yerleştirilen kılcal köklerden daha hızlı ayrışmıştır (Şekil 1). Her bir bakiinin alt yükseltisine bırakılan kılcal köklerin ayrışması üst yükseltilere bırakılana göre daha hızlı olmuştur.

İki milimetreden küçük kılcal köklerin 0-10 cm toprak derinlik kademesinde gösterdiği değişimin aynısı, 10-20 cm toprak derinlik kademesine yerleştirilen aynı çaptaki (2 mm den küçük) köklerde de geçerli olmuştur. Aynı şekilde, türler arasında kök ayrışması kızılğaç köklerinde daha hızlı olurken bunu sarıçam ve doğu ladini köklerinin

ayrışması izlemiştir. Yine güney bakıda kuzey bakıya göre ayrışma daha hızlı gerçekleşmiş, her iki bakıda da alt yükseltelerde üst yükseltilere göre ayrışma daha hızlı olmuştur

3.2 . Kılcal Köklerdeki NPK Değerlerinin Ayrışma Süresi İçindeki Değişimleri

Kızılağaç kılcal kökleri en yüksek N konsantrasyonuna sahip olurken, en düşük N konsantrasyonu doğu ladini kılcal köklerinde belirlenmiştir. Kılcal köklerdeki N konsantrasyonu ayrışma süreci içinde kılcal kökler içinde artış göstermiştir. En yüksek P konsantrasyonu doğu ladini köklerinde belirlenirken, en düşük P konsantrasyonu sarıçam kılcal köklerinde belirlenmiştir. Her iki bakıda ve bu bakıların farklı yükseltelerinde başlangıçtan 9. aya kadar P konsantrasyonlarında bir artış görülürken, 9. aydan 15. aya kadar olan zaman zarfında P konsantrasyonlarında her üç türde de düşüş görülmekte ve grafikler ters V şeklini ($\wedge$) almaktadır. Genel olarak sarıçam türündeki K konsantrasyonu diğer türlere göre daha yüksek bulunurken, doğu ladinindeki K konsantrasyonu daha düşük bulunmuştur. Her üç türde, her iki bakıda ve bu bakıların her iki yükseltisinde K konsantrasyonlarında başlangıçtan itibaren 9. ve 15. aylara doğru sürekli bir azalma görülmektedir.

3.3. İnce Köklerin ($\varnothing = 2 - 5$ mm) 0-10 cm ve 10-20 cm Derinlikteki Ayrışması

Kuzey bakının alt ve üst yükseltelerinde 0-10 cm toprak derinlik kademesinde ayrısan kızılağaç ince kökleri, kılcal köklerinde olduğu gibi, sarıçam ince köklerine göre daha hızlı ayrılmıştır. Üst yükseltideki ince kökler de kılcal köklerde olduğu gibi alt yükseltilere göre daha yavaş ayrılmıştır.

Toprak derinlik kademesinin 0-10 cm sinde olduğu gibi, ince köklerin 10-20 cm derinlik kademesindeki ayrışması da aynı yönde özellik göstermiştir. Kızılağaç ince kökleri bu derinlik kademesinde de, sarıçam ince köklerine göre daha hızlı ayrışma göstermiştir. Üst yükseltideki ince kökler yine alt yükseltilerdekilere göre daha yavaş ayrılmıştır.

3.4. Standart Köklerin ($\varnothing < 2$ mm) 0-10 cm ve 10-20 cm Derinlikteki Ayrışması

Bu toprak derinlik kademesinde (0-10 cm) standart sarıçam kökleri doğu ladini köklerine göre daha hızlı ayrılmıştır. Güney bakıya yerleştirilen standart kökler kuzey bakıya yerleştirilen standart köklerden daha hızlı ayrılmıştır. Yine alt yükseltideki standart kökler üst yükseltideki köklerden daha hızlı ayrılmıştır.

Toprak derinliğinin 0-10 cm kademesinde olduğu gibi tür bakımından sarıçam standart kökleri 10-20 cm toprak derinlik kademesinde de doğu ladini standart köklerinden daha hızlı ayrılmıştır. Yine her iki bakıda da alt yükseltelerde üst yükseltilere göre ayrışma daha hızlı olmuştur.

3.5. Standart Köklerin ($\varnothing < 2$ mm) Ayrışması Üzerine Çevre Şartlarının Etkisi

Köklerin kimyasal yapıları sabit olmak kaydıyla, çevresel etmenlerin kök ayrışması üzerine etkilerini anlamak için, ayrışma üzerinde etkili olabilecek çevresel etmenler; solunum, hacim ağırlığı, toprak nemi, higroskopik nem, pH, toprak sıcaklığı, meşcere altı sıcaklığı ve toprak tekstürü (kum, toz, kil) kök ayrışması ile ilişkiye getirilerek korelasyon analizi yapılmış ve bunların 24. ay sonundaki anlamlılık dereceleri ortaya konulmuştur. İkinci yılın sonundaki kök ayrışma değerleri çevresel ve toprak faktörleriyle ilişkiye

getirildiğinde, kök ayrışması ile hava sıcaklığı ($R=0.717$; $P<0.01$), meşcere altı sıcaklığı ($R=0.754$; $P<0.01$) ve toprak sıcaklığı ($R=0.474$; $P<0.01$) arasında pozitif yönde anlamlı bir ilişki olduğu belirlenmiş, toprak solunumu ve organik madde ile önemli bir ilişki olmadığı tespit edilmiştir.

4. TARTIŞMA

Kılcal ve ince kök ayrışması üzerinde ağaç türünün, bakımın, yükseltinin ve toprak derinliğinin etkisini belirlemek amacıyla gerçekleştirilen bu iki yıllık çalışmanın sonuçları kök ayrışması üzerinde bu faktörlerin önemli bir etkisinin olduğunu göstermiştir.

Benzer bir çalışmada, Usman vd., (2000) meşe (*Quercus leucotrichophora*) ve çam (*Pinus roxburghii*) ormanlarında 18 ay boyunca ince kök ayrışmasını çalışmış ve iki tür arasındaki kök ayrışması farklılıklarının türlerin başlangıçta içerdiği besin elementleri konsantrasyonları ile önemli bir korelasyon gösterdiğini, C:N oranı yüksek olan köklerin ayrışmasının daha yavaş olduğunu bildirmişlerdir. Diğer bir çalışmada Chen vd., (2002) ince kök ayrışması üzerinde türlerin köklerin başlangıçtaki karbon (C) kalitesi değerleriyle (örneğin lignin, selüloz) kök ayrışması arasında önemli bir ilişkinin olduğunu tespit etmişlerdir. Burada sunulan çalışmamızda da, üç türün köklerinin kimyasal yapıları olarak başlangıçta içerdikleri N, P ve K konsantrasyonları belirlenmiştir. Diğer kimyasal yapıları (örneğin; toplam karbon, lignin, selüloz, hemiselüloz) belirlenmemiştir. Bununla beraber, türlerin ölü kısımlarının ayrışmasında önemli bir etkiye sahip olan N konsantrasyonu ile çalışılan türlerin kök ayrışması arasında önemli bir ilişkinin olduğu tespit edilmiştir. Başlangıçtaki N konsantrasyonu en yüksek olan kızılâğaç kökleri en yüksek ayrışma sabitesine sahip olurken, en düşük N konsantrasyonuna sahip olan doğu ladini kökleri en düşük ayrışma sabitesini göstermiştir.

Köklerdeki azotun ayrışma süresi içindeki değişimleri 9. ve 15. ayda analiz edildiğinde N konsantrasyonunda bir artışın olduğu belirlenmiştir. Bunun en önemli sebepleri arasında ayrışma süresince toprak üstü kısımlarından toprağa sürekli eklenen yeni ölü örtünden, önceki yıllara ait ayrılan ölü örtüden gelen azotun ayrılan köklerdeki azotla karışması yanında kök ayrışmasını gerçekleştiren topraktaki mikroorganizmaların bu azotu immobilize etmesi ve analizlerde bu canlılardan gelen azotunda sonuçlara dahil olmasından kaynaklanmaktadır (Sariyildiz ve Küçük, 2008). Ayrışma süresinin ilk 9 ayında, azot konsantrasyonunda görüldüğü gibi fosfor ve potasyum konsantrasyonlarında da bir artış belirlenmekle beraber, 15. aydaki örneklerde P ve K konsantrasyonlarında bir azalma belirlenmiştir. Bu azalmanın bu iki besin elementinin yıkanabilir özellikte olması nedeniyle bahar döneminde görülen yağışlarla yıkanıp ortamdan ayrılmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

Çalışmamızda, kılcal köklerden ince köklere doğru çap kalınlığı arttıkça kök ayrışmasının yavaşladığı belirlenmiştir. Benzer sonuçlar diğer araştırmacıların çalışmalarında da rapor edilmiştir. Örneğin, Usman (2002) Himalayalar'da yaptığı çalışmada *Pinus roxburghii* ve *Quercus leucotrichophora* türlerinin kök ayrışmasının çap kalınlığının artmasıyla (3 farklı kök çap sınıfı içinde) kök ayrışmanın azaldığını rapor etmiştir. Harmon vd., (1986) büyük çaplı ağaç atıklarının daha küçük çaplı ağaç atıklarına göre ayrışma hızlarının daha yavaş olduğunu belirtmişlerdir. Zhang vd., (2006) *Fraxinus mandshurica* ve *Larix gmelini* köklerinin 3 farklı çap sınıflarının (< 2 mm, 2-5 mm ve 5-10 mm) ayrışma sabitelerini iki yıl boyunca incelediklerinde *Larix gmelini* köklerin ayrışma sabitesi kök çapı arttıkça bir azalma yönündeyken (sıralamaya göre $k = 0.246$, $k = 0.197$

ve $k = 0.196$), *Fraxinus mandshurica* türünde en yüksek ayrışma sabitesini 2-5 mm çaplı kökler ($k = 0.438$) olup bunu 5-15 mm kökler ($k = 0.365$) ve kılcal kökler ($k = 0.272$) izlemiştir. Genel olarak, kalın köklerin ince köklerden daha yavaş ayrışması, birkaç çalışmada kalın köklerin daha az besin elementi içermesine bağlanmaktadır.

Çalışmamızda, toprak derinliği arttıkça kök ayrışmasının azaldığı belirlenmiştir. Kök ayrışmasının gerçekleştiği ortamın toprak özelliklerinin kök ayrışmasının hızı üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğu birçok çalışmada bildirilmiştir (Silver ve Miya, 2001). Özellikle kök ayrışmasının gerçekleştiği toprak kademesinde uygun nemin, O_2 konsantrasyonunun, pH ve ayrışmayı gerçekleştiren mikroorganizmalara inorganik besin elementlerinin sağlanamaması kök ayrışmasının yavaşlamasına neden olduğu bildirilmiştir (Silver ve Miya, 2001).

Çalışmamızın sonuçları, güney bakı ve alt yükseltilerdeki köklerin, kuzey bakı ve üst yükseltilerdeki köklerden daha hızlı ayrıştığını göstermiştir. Güney bakı ve alt yükseltilerdeki köklerin daha hızlı ayrışmasını iki nedene bağlayabiliriz; ilk neden olarak, güneydeki ve alt yükseltideki köklerin kimyasal kalitesinin daha iyi olmasının (buradaki çalışmamızda güneydeki ve alt yükseltideki köklerin azot N konsantrasyonlarının daha yüksek olduğuna dair sonuçlar elde edilmiştir) buradaki köklerin daha hızlı ayrışmasına bağlayabiliriz. İkinci neden olarak, güneydeki ve alt yükseltideki mikroiklim özelliklerinin (toprak, meşcere altı, hava sıcaklığı) ve toprak özelliklerinin (nem, organik madde, toprak solunumu, tekstür, pH) kök ayrışmasını gerçekleştiren mikroorganizmalar için daha uygun ortamlar olmasına bağlayabiliriz. Kimyasal yapının etkisini sabit tutmak için kullanılan standart kök örneklerinin farklı iki bakı ve her bir bakının iki yükseltisindeki ayrışmalarından elde edilen değerler, bu köklerin ayrıştıkları ortamların mikroiklim ve toprak özellikleriyle ilişkiye getirilmiştir. Kök ayrışma oranlarıyla en yüksek korelasyonu hava sıcaklığı ve meşcere altı sıcaklığı göstermiştir. Sıcaklık ile ölü örtü ayrışması arasında önemli bir ilişkinin olduğu birçok araştırmacıların çalışmalarda da ortaya konulmuştur. Örneğin Hobbie, (1996) çevre özellikleri ve ayrıştırıcıların aynı olduğu ortamlarda, sıcaklıkta meydana gelebilecek artışla ölü örtü ayrışması arasında pozitif bir ilişki bulunduğunu ortaya koymuştur. Vitousek vd. (1994) tarafından yapılan bir çalışmada, hava sıcaklığında meydana gelen $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ lik bir artışın ölü örtü ayrışma oranını 4 ile 11 katı arttırdığı rapor edilmiştir. Benzer bir çalışma olarak Chen vd., (2008) yaptığı çalışmalarda *Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco türünün kılcal ($< 2\text{ mm}$) ve 2-10 mm köklerinin daha sıcak alt rakımlardaki ayrışmasının daha soğuk olan üst rakımlara göre daha hızlı ayrıştığını belirlemiştir. Liu, Y vd., (2007) yaptıkları çalışmada *Alnus cremastogyre*, *Cunninghamia lanceolata* ve *Michelia macclurei* ince köklerinin ayrışma oranlarını $9\text{ }^{\circ}\text{C}$, $14\text{ }^{\circ}\text{C}$, $24\text{ }^{\circ}\text{C}$ ve $28\text{ }^{\circ}\text{C}$ sıcaklıktaki toprakta incelediklerinde sıcaklığın artması ile ayrışmanın arttığını belirlerken, inkübasyon süresinin (mikroorganizma gelişimi sağlanana kadar geçen süre) uzamasının ayrışmayı azalttığını göstermişlerdir. Artvin yöresinde Sariyıldız vd., (2005) tarafından yapılan ibre ölü örtü ayrışması çalışmalarında da, iki yıllık verilere göre güney bakılarda kuzey bakılara oranla daha hızlı ayrışmanın gerçekleştiğini bildirmişlerdir. Burada hava sıcaklığının etkisinin olduğunu belirtmişlerdir. Ayrıca yükselti ile türlerin ölü örtü ayrışmaları arasında negatif bir ilişki olduğu ve bu ilişkide sıcaklığın yükselti ile azalmasının da önemli rol oynadığı çalışmalarında ifade edilmiştir.

KAYNAKLAR

- Bouyoucos, G.J., 1936. Directions for Making Mechanical Analysis of Soils by the Hydrometer Method. *Soil Sci.* 42(3).
- Chen, H., Harmon, M.E., Sexton, J., Fasth, B., 2002. Fine-root decomposition and N dynamics in coniferous forests of the Pacific Northwest, U.S.A. *Canadian Journal of Forest Research*, 32 (2), pp. 320-331.
- Chen, H., Rygiewicz, P.T., Johnson, M.G., Harmon, M.E., Tian, H., Tang, J.W., 2008. Chemistry and long-term decomposition of roots of Douglas-fir grown under elevated atmospheric carbon dioxide and warming conditions. *Journal of Environmental Quality*, 37 (4), pp. 1327-1336.
- Fogel, R., 1983. Root turnover and productivity of coniferous Forests. In: *Tree Root Systems and Their Mycorrhizas* (Ed.by D.Atkinson, K. Bhat, M. Coutts, P. Mason, & D. Read), pp. 75-86. Junk, Boston
- Harmon M.E., Franklin J.F., Swanson F.J., Sollins P., Gregory S.V., Lattin J.P., Anderson N.H., Cline S.P., Aumen N.G., Sedell J.R., Lienkaemper G.W., Cromack, K. Jr and Cummins K.W., 1986. Ecology of coarse woody debris in temperate ecosystem. *Adv. Ecol. Res.* 15, 133-302.
- Hendrick R.I., Pregitzer K.S., 1993. Patterns of fine root mortality in two sugar maple forests. *Nature* 361: 59-61.
- Hobbie, R., 1996. Temperature and plants species controls over litter decomposition in Alaskan tundra. *Ecological Monographs* 66, 503-522.
- Kalra, Y.P., Maynard, D.G., 1991. Method manual for forest soil and plant analysis. Nort West region Information Report NOR. X-319.
- Kalyn, A.L., Van Rees, K.C.J., 2006. Contribution of fine roots to ecosystem biomass and net primary production in black spruce, aspen, and jack pine forests in Saskatchewan. *Agricultural and Forest Meteorology*, 140 (1-4), pp. 236-243.
- Liu, Y., Wang, S.-L., Wang, X.-W., Yu, X.-J., Yang, Y.-J., 2007. Effects of tree species fine root decomposition on soil active organic carbon. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 18 (3), pp. 481-486.
- Olson, J.S. 1963. Energy storage and the balance of producers and decomposers in ecological systems. *Ecology* 14, 322-331.
- Püttsepp, Ü., Lõhmus, K., Koppel, A., 2007. Decomposition of fine roots and α -cellulose in a short rotation willow (*Salix* spp.) plantation on abandoned agricultural land. *Silva Fennica*, 41 (2), pp. 247-258.
- Raich J.W., Tüfekçioğlu, A. 2000. Vegetation and soil: Correlations and Controls, *Biogeochemistry*, 48(1), 71-90.
- Sariyildiz, T., Küçük, M., 2008. Litter Mass Loss Rates in Deciduous and Coniferous Trees in Artvin, Northeast Turkey: Relationships With Litter Quality, Microclimate and Soil Characteristics, *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 32 (6), 547-559.
- Silver, W.L., Miya, R.K., 2001. Global patterns in root decomposition: comparisons of climate and litter quality effects. Received: 2 October 2000 / Accepted: 20 April 2001 / Published online: 26 June 2001, Springer-Verlag, *Oecologia* 129:407-419
- Tüfekçioğlu, A., Küçük, M., 2004. Soil Respiration in Young and Old Oriental Spruce Stands and in Adjacent Grasslands in Artvin, Turkey, *Turkish Journal Of Agriculture and Forestry*, Volume:28, Number:6, p:429-434.

- Usman, S., Singh, S.P., Rawat, Y.S., Bargali, S.S., 2000. Fine root decomposition and nitrogen mineralisation patterns in *Quercus leucotrichophora* and *Pinus roxburghii* forests in central Himalaya. *Forest Ecology and Management*, 131 (1-3), pp. 191-199.
- Usman, S., 2002. Production and decomposition of fine roots in central Himalayan forest species. *Journal of Tropical Forest Science*, 14 (1), pp. 26-34.
- Vitousek, P.M., Turner, D.R., Parton, W.J., Sandford, R.L., 1994. Litter decomposition on the Mauna Loa environmental matrix, Hawaii: Patterns, mechanisms and models. *Ecology* 75 (2), 418-429.
- Zhang, X., Wu, C., Mei, L., Han, Y., Wang, Z., 2006. Root decomposition and nutrient release of *Fraxinus manshurica* and *Larix gmelinii* plantations. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 17 (8), pp. 1370-1376.