

Ölü Örtü Ayırışma Oranları Üzerinde Kimyasal Bileşenlerin ve Yetiştirme Ortamı Özelliklerinin Etkisi: Artvin ve Ankara Yöresine Ait Örnek Bir Çalışma

Temel SARIYILDIZ, Süheyla VARAN, Ahmet DUMAN

Artvin Çoruh Üniversitesi, Orman Fakültesi, Orman Müh. Böl. 08000/ARTVİN

*Sorumlu yazar: t_sariyildiz@yahoo.com

Geliş Tarihi: 18.06.2008

Özet

Bu çalışmada, kestane, meşe, sarıçam ve karaçam türlerinin ölü örtülerinin ayrışma oranları üzerinde kimyasal yapılarının ve iklim faktörlerinin etkisi araştırılmıştır. Hazırlanan ölü örtü torbalarına konulan örnekler Artvin ve Ankara da aynı bakıya (kuzey bakı) ve yaklaşık olarak aynı yükseltiye (Artvin de 1200 m, Ankara da 1400 m) bırakılmıştır. Türlerin ayrışma oranları karşılaştırıldığında, her iki ortamda da kestane türü en hızlı ayrışmayı gösterirken, bunu sırasıyla meşe, sarıçam ve karaçam izlemiştir. Türlerin aynı ortamdaki ayrışma farklılıklarını açıklayan en önemli faktör türlerin başlangıçta içerdikleri lignin miktarı olmuştur ($R^2=0.98$). Farklı iki ortamda ayrışan türlerin, ayrışma oranları arasındaki farklılıklar ise türe göre değişiklik göstermiştir. Kestane ve meşe türleri daha sıcak ve yağışlı olan Artvin ortamında daha hızlı ayrışırken, karaçam türü daha soğuk ve daha az yağışlı olan Ankara ortamında daha hızlı ayrışmıştır. Sarıçam türü ise her iki ortamda da aynı oranlarda ayrışma göstermiştir. Bütün sonuçlar değerlendirildiğinde, değişen iklim şartlarında, türlerin ölü örtü ayrışmalarında meydana gelebilecek farklılıklar üzerinde kimyasal bileşimlerinin önemli bir etkisinin olduğu sonucuna varılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Ölü örtü ayrışması, Ölü örtü kimyasal bileşenleri, Besin elementleri, Lignin, Artvin, Ankara, *Castanea sativa*, *Quercus petraea*, *Pinus sylvestris*, *Pinus nigra*

Effects of Litter Quality and Environmental Factors on Litter Decomposition Rates: A Case Study from Artvin and Ankara Regions

Abstract

Effects of initial litter quality variables and environmental factors on litter decomposition rates of chestnut, oak, Scots pine and black pine were studied. Litter bags with less than 1-mm mesh size were placed on north aspect and approximately the same altitude in Ankara and in Artvin (1400 m and 1200 m respectively). In each site, chestnut had highest decay rate, followed by oak, Scots pine and black pine. Differences in decomposition rates between tree species under the same climate significantly correlated with initial lignin concentration ($R^2 = 0.98$). Under different climates, differences in mass losses showed variation according to tree species. Chestnut and oak leaves showed higher mass losses in Artvin in which temperature and rainfall were higher than in Ankara, whereas black pine had higher mass losses in Ankara. However, there was no significant difference in mass losses of Scots pine litters between two environments. We have concluded that under altered environmental conditions, differences in litter decomposition rates strongly depend on initial quality of litter.

Key Words: Litter decomposition, Litter quality, Nutrients, Lignin, Artvin, Ankara, *Castanea sativa*, *Quercus petraea*, *Pinus sylvestris*, *Pinus nigra*

Giriş

Orman ölü örtüsünün ayrışması, orman ekosistemlerinin işlevi ve yapısının devamında önemli yer tutmaktadır. Ölü örtü ayrışması, orman ekosistemi içinde yer alan ağaçların gelişmesi için gerekli olan besin elementlerinin sağlanması, bu besin elementlerinin döngü süreçlerinde bir besin deposu olması yanında, ortamda yaşayan toprak mikro ve makro organizmaları için bir enerji kaynağıdır (Heal ve ark., 1997). Günümüze kadar yapılan çalışmalardan elde edilen sonuçlara göre, ölü örtünün ayrışması

ve besin elementlerinin salıverilmesini etkileyen üç ana faktör bulunmaktadır. Bunlar; (1) ölü örtü ayrışmasının gerçekleştiği ortamın iklim özellikleri (özellikle sıcaklık ve yağış), (2) bu ortamda ayrışmayı gerçekleştiren mikroorganizmaların ve toprak canlılarının sayısı, çeşidi ve aktifliği ve (3) ayrışan ölü örtünün kimyasal bileşenleri (özellikle toplam karbon, azot, hemiselüloz, lignin ve besin elementleri konsantrasyonları yada bunların birbirine olan oranları C:N, lignin:N gibi) (Kurz-Besson ve ark., 2006). Genel olarak,

farklı coğrafik bölgelerde bulunan ölü örtünün ayrışması üzerinde iklim özellikleri etkili olurken, daha sınırlı, yerel alanlarda ise ayrışan ölü örtünün kimyasal yapısının etkisi ön plana çıkmaktadır. Bununla beraber, yerel alanlardaki topografik yapılanmadan (farklı bakı, yükselti ve eğim) kaynaklanan farklı mikroiklim özellikleri ile farklı toprak özelliklerinin türlerin kimyasal bileşenlerinin konsantrasyonlarını etkilediği ve bu nedenle de ayrışmalarının farklı olduğu bildirilmiştir (Sarıyıldız ve ark., 2005).

Son 30 yıl içinde yapılan çalışmalarda, hem küresel hem de bölgesel ölçekte meydana gelen iklim değişikliklerinin, ölü örtü ayrışması üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğu bildirilmiştir. Bu oldukça önemli bir konudur. Çünkü bitki ölü örtüsünün ayrışması, küresel karbon bütçesinin önemli bir kısmını oluşturmaktadır. Raich ve Schlesinger (1992) ölü örtü ayrışmasının (buna köklerin ayrışması da dahil) yıllık 68 Pg C yıl⁻¹ (Pg = 10¹⁵g) olduğunu bildirmiş ve bu rakamın yıllık toplam karbon akışının yaklaşık yüzde 70'inden sorumlu olduğunu ifade etmişlerdir. Bu nedenle, ölü örtü ayrışmasını etkileyen faktörlerdeki herhangi bir değişiklik, küresel karbon bütçesinin hesaplanmasında önemli bir yer tutmaktadır.

Dünya sıcaklığı son yüzyılda yaklaşık 0.6 °C'den daha fazla artmıştır. Sıcaklıktaki bu artışın 21. yüzyılda 1.5 ile 5 °C arasında olacağı tahmin edilmektedir (IPCC 2001). İnsanların müdahaleleri sonucunda karbondioksit ve metan gazı formunda atmosfere geniş miktarda karbon eklenmektedir. Fosil yakıtların yakılması (kömür, petrol ve doğal gaz) sonucu jeokimyasal bölmede (kayalarda ve derin okyanus sularında) tutulan önemli miktardaki karbon ortama salıverilmektedir. Toprak içinde tutulan karbon ise, kültivasyon çalışmaları, ormanların ve otlakların yok edilmesi sonucunda doğal olarak ayrışma ile olacak olandan daha fazla oranda karbondioksit olarak atmosfere salıverilmektedir. Bunun sonucu olarak endüstriyel gelişme ve insan nüfus patlamasından önce atmosferdeki karbondioksit seviyesi yaklaşık 270 ppm (bir milyondaki bölümü) iken şu anda 350 ppm üzerine tırmanmakta ve yirmi birinci yüzyılın

ortalarına doğru bu miktarın doğal olan geçmişteki miktarının iki katına (500 ile 600 ppm arasında) ulaşabileceği tahmin edilmektedir (Neftel ve ark., 1982; Indermuehle ve ark., 2000). Birçok bilim adamı atmosferdeki artan bu karbondioksit miktarının varlığının evrensel olarak ısınma-sera etkisini yükselteceğine inanmaktadır.

Diğer çevre özellikleri ve ayrıştırıcıların aynı olduğu ortamlarda, sıcaklıkta meydana gelebilecek artışla ölü örtü ayrışması arasında pozitif bir ilişki bulunmaktadır (Hobbie, 1996). Vitousek ve ark. (1994) tarafından yapılan bir çalışmada, hava sıcaklığında meydana gelen 10 °C lik bir artışın ölü örtü ayrışma oranını 4 ile 11 kat arttırdığı rapor edilmiştir. Sarıyıldız ve ark. (2005) tarafından Artvin yöresi ormanlarında yapılan bir çalışmada da, denizden yükseldikçe türlerin ölü örtü ayrışmaları arasında negatif bir ilişki olduğu bildirilmiştir. Yükselti ile ölü örtü ayrışmasındaki azalmanın en önemli etkisi olarak yükselti ile azalan sıcaklık ile mikroiklim özelliklerine bağlı olarak meydana gelen değişimlerin tür bileşimini, toprak özelliklerini, mikroorganizmaları ve türlerin kimyasal bileşenlerini etkilemesinden kaynaklandığı vurgulanmaktadır (Sarıyıldız ve ark., 2005).

Küresel ısınma ile yağış miktarlarında önemli değişikliklerin olduğu tahmin edilmekle birlikte bu değişikliğin miktarı ve coğrafik dağılımı konularında oldukça fazla belirsizlikler bulunmaktadır. Berg ve arkadaşları tarafından yapılan bir çalışmada (1993) standart sarıçam ibreleri Avrupa'da, subartik bölgeden subtropikal bölge ve Akdeniz bölgesi arasında değişen 39 farklı deneysel alanlara bırakılmıştır. Uzun dönem devam eden deney sonuçları incelendiğinde, değişik alanlara bırakılan sarıçam ibrelerinin ölü örtü ayrışma oranları arasındaki farklılığı yıllık sıcaklık %18, toplam yıllık yağış %30 ve gerçek evapo-transpirasyon ise %50 oranında açıklamıştır. Bununla beraber, geri kalan %50 lik ölü örtü ayrışmasında etkili olan diğer faktörler belirsiz olarak kalmıştır. Bu belirsizlik ancak, değişen iklim faktörlerinin, ölü örtünün kimyasal bileşiminde veya ayrışmayı gerçekleştiren organizmalar üzerinde nasıl bir etkisinin olduğunun araştırılmasıyla anlaşılabilecektir.

Türkiye ormanlarının ölü örtü miktarları, kimyasal özellikleri, besin rezervleri, hidrolojik ve fiziksel özellikleri konularında birçok çalışma bulunmaktadır (Karagül, 1990; Karaöz, 1993). Bununla beraber, ölü örtünün ayrışma seyri üzerindeki çalışmaların sayısı oldukça azdır (Sarıyıldız 2003; Sarıyıldız ve Küçük, 2005). Küresel ısınma ya da başka etkenler nedeniyle meydana gelebilecek olan iklim değişikliklerinin orman ağaç türlerimizin ölü örtü ayrışmaları üzerine olası etkileri konusunda ise bildiğimiz kadarıyla herhangi bir çalışma bulunmamaktadır.

Bu çalışmamızda, iki farklı iklim özelliklerine sahip Ankara ve Artvin yörelerinde yetişen bazı türlerin, ölü örtü ayrışma seyri, hem kendi ortamlarında hem de iki farklı bölge arasında değiştirilerek arazi ortamında araştırılmıştır. Bulunan ölü örtü ayrışma sonuçları üzerinde ağaç türünün, iklim özelliklerinin ve türlerin kimyasal yapılarının etkileri analiz edilmiştir.

Materyal ve Yöntem

Bu çalışma, Artvin İli Kafkasör mevkii (41°51' N, 41°06' E) ile Ankara-Çamlıdere Çam Koru Araştırma Ormanında (40°34' N, 32°31' E) gerçekleştirilmiştir. Artvin çalışma alanının ortalama yükseltisi 1200 m, Ankara'nın ki ise 1400 m dir. Her bir çalışma alanının hakim bakışı kuzey olup ortalama eğim, Artvin de %55, Ankara'da ise %35 dir. Artvin çalışma alanında, bu yükselti ve bakıda yapraklı-iğne yapraklı karışık orman formasyonu baskın olup, bu karışımda *Quercus* spp., *Castanea sativa* Mill., *Acer cappadocicum* Gleditsch., *Acer campestre* L., *Alnus glutinosa* L., *Carpinus betulus* L., *Fagus orientalis* Lipsky., *Picea orientalis* L. ve *Pinus sylvestris* L. genelde karışıma katılan türler olarak görülmektedir. Orman altı ise yaygın olarak otlar, eğretiler ve çalı türleriyle kaplı bulunmaktadır. Çalışma kapsamında yaprak örneği aldığımız kestane ve meşe ağaçlarının yaşı ortalama 70-80, boyları 10-15 m, ibre örneği aldığımız sarıçam ağaçlarının yaşı ortalama 90-100, boyu ise 20-25 m dir. Ankara Çam Koru Araştırma Ormanında ise hakim ağaç türü saf/ karışık karaçam ve sarıçam olup, orman altında genellikle böğürtlen (*Rubus fruticosus*), titrek kavak (*Populus tremula* ile

rosa türleri ve *Dicranum* yosun türleri bulunmaktadır. İbre örneklerinin alındığı karaçam ve sarıçam ağaçlarının yaşı karaçam için 50-60, sarıçam için 55- 58 olup, boyları yaklaşık olarak 15-20 m dir. Örneklerin alındığı her iki alanda da kapalılık orta derecededir (0.5 ile 0.6).

Artvin'de iklim genelde kışları soğuk yazları ise yarı kurak olarak tanımlanmaktadır. Çalışma alanına en yakın, Artvin Meteoroloji İstasyonunun (628 m yükseklikte) 1980-2001 verilerinin (Anonim, 2005) enterpole değerlerine göre (Tablo 1) çalışma alanının yıllık ortalama yağıışı 1021 mm, yağıışın en yüksek olduğu ay Ocak (136 mm), en düşük olduğu ay Ağustos'tur (55 mm). Yıllık ortalama sıcaklık 8.9 °C, potansiyel evapotransprasyon 754 mm, gerçek evapotrasprasyon 544 mm, su noksanı 210 mm ve su fazlası ise 377 mm dir. Ankara'da ki Çam Koru Araştırma Ormanının bulunduğu yerin iklimi Batı Karadeniz iklimi ile İç Anadolu iklimi tipinin geçiş kısmında yer almaktadır. Alanın iklimi yarı nemli olup, yazları kurak geçmektedir. Çalışma alanına en yakın meteoroloji istasyonu Çamlıdere Meteoroloji İstasyonudur. Ortalama yükseltisi 1400 m olan bu istasyonda 1988-1999 yılları arasında ölçülen veriler Tablo 1'de verilmiştir (Anonim, 2007). Tablo 1 incelendiğinde; çalışma alanının yıllık ortalama yağıışı 496 mm, yağıışın en yüksek olduğu ay Aralık (64 mm), en düşük olduğu ay ise Eylül ayıdır (15.1 mm). Yıllık ortalama sıcaklık 6.7 °C, potansiyel evapotransprasyon 604 mm, gerçek evapotrasprasyon 383 mm, su noksanı 221 ve su fazlası ise 112 mm dir.

Artvin çalışma alanındaki topraklar granit ana kayasından gelişmiştir. Derinlikleri bakımından sığ olan topraklar genellikle kumlu balçık türündedir.

Bu alandaki toprak profil örneklerinde Ah ve C horizonu açık bir şekilde belirgin iken B horizonu oluşumu genelde belirgin değildir (Sarıyıldız ve ark., 2005). Ankara çalışma alanındaki toprak türü ise andezit ana kayası ve andezit tüfü üzerinde oluşmuş sığ bir kumlu balçık toprak türünde olup, toprak tipi olan esmer orman toprağıdır (Dündar, 1973). Çalışmayı gerçekleştirdiğimiz zaman yaptığımız incelemelerde bu bilgileri teyit eder yönde olup, Ankara çalışma alanındaki

Tablo 1. Her iki alana ait bazı iklim özellikleri

Ankara-Çamlıdere 1400 m Enlem: 40°34'' N Boylam: 32° 31'' E 1988-1999 ölçme yıllarına ait iklim değerleri	A Y L A R												Yıllık
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
Sıcaklık (°C)	-4.7	-3.5	1.1	6.8	10.5	14.3	17.5	17.7	13.3	8.6	1.2	-2.6	6.7
Potansiyel Evapotranspirasyon (PET) (mm)	0.0	0.0	13.3	44.8	73.5	99.3	122	116	76.8	47.5	11.1	0.0	604.2
Yağış (mm)	27.5	39.9	45.1	53.2	57.2	51.1	20.2	28.0	15.1	42.4	51.5	64.4	495.6
Gerçek Evapotranspirasyon (GET) (mm)	-	-	13.3	44.8	73.5	99.3	55.7	28.0	15.1	42.4	11.1	-	383.2
Su Noksanı (mm)	-	-	-	-	-	-	66.6	87.5	61.7	5.1	-	-	220.9
Su Fazlası (mm)	27.5	39.9	31.8	8.4	-	-	-	-	-	-	-	4.8	112.3

Artvin-Kafkasör 1200 m Enlem: 41°51'' N Boylam: 41° 06'' E 1980-2001 ölçme yıllarına ait enterpole iklim değerleri	A Y L A R												Yıllık
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
Sıcaklık (°C)	-3.2	-1.7	2.4	7.7	12.5	17.5	20.0	19.9	15.5	10.7	5.2	0.13	8.9
Potansiyel Evapotranspirasyon (mm)	1.1	2.1	17.6	55.1	91.8	123	146	136	94.9	58.5	22.4	6.0	753.8
Yağış (mm)	136	101	80	81	83	72	57	55	56	82	104	115	1021
Gerçek Evapotranspirasyon (mm)	1.1	2.1	17.6	55.1	91.8	123	72.3	46.3	48.1	58.5	22.4	6.0	544.2
Su Noksanı (mm)	-	-	-	-	-	-	73.6	89.2	46.8	-	-	-	209.7
Su Fazlası (mm)	126.6	91.0	54.0	17.2	-	-	-	-	-	-	-	88.3	377.1

topraklar genelde orta derinlikte, kahve renkli ve hafif asidik olarak belirlenmiştir.

Eylül ortalarında her iki çalışma alanından toprak yüzeyine düşmüş yaprak ve ibre örnekleri alımı gerçekleştirilmiştir. Artvin de kestane ve meşe yaprakları ile sarıçam ibreleri, Ankara'da ise karaçam ve yine aynı yörede yetişen sarıçam ibreleri toplanmıştır. Yaprak ve ibrelerin toplanması sırasında o yıla ait olup olmamasına dikkat edilmiş, aşırı renklenme gösteren ve mantarlar tarafından işgal edilmiş yaprak ve ibrelerin alınmamasına özen gösterilmiştir (Anderson ve Ingram, 1993).

Yaprak ve ibreler laboratuvarında ilk önce hava kurusu hale getirildikten sonra, 40 °C'ye ayarlanmış fırında 48 saat bırakılarak fırın kurusu hale getirilmişlerdir. Bir miktar yaprak ve ibre örneği, başlangıçtaki nem miktarları belirlemek amacıyla 85 °C'ye ayarlanmış fırına konulmuş ve fırın kurusu hava kurusu farkından yararlanılarak başlangıçta içerdiği yüzde nem miktarı belirlenmiştir. Fırın kurusu haldeki yaprak ve ibrelerin bir kısmı ise yavaş bir şekilde elle kırılmış, yaprak örneklerinin kaba sapları ayıklanmıştır. 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 toplam karbon, lignin, azot, fosfor, potasyum, kalsiyum, magnezyum ve mangan konsantrasyonları belirlenmiştir. Organik karbon, Nelson ve Sommers'in yaş oksitlenme metoduyla (1982), Lignin miktarı, Rowland ve Roberts'in Acid Detergent Fibre metoduyla (1994), besin elementlerinden Azot, Kjeldahl yakma metodu, fosfor molibden mavisi metodu, kalsiyum, potasyum, magnezyum ve mangan ise atomik absorpsiyon cihazında belirlenmiştir (Allen, 1991). Bütün kimyasal analizler üç tekrarlı yapılmıştır.

Yaprak ve ibrelerin arazideki kütle kaybını belirlemek amacıyla, 20 x 20 cm genişliğinde, 1 mm den daha küçük ağ gözüne sahip ölü örtü ayrışma poşetleri hazırlanmıştır. Poşetler içerisine 3 gram örnek konulmuştur. Hazırlanan bu poşetler, eş zamanlı olarak deneyin gerçekleştirileceği hem Artvin hem de Ankara çalışma alanlarındaki mineral toprak üzerine küçük demir çubuklarla uçlarından sabitleştirilmişlerdir. Birkaç yıllık olarak planlanan ayrışma deneyi için her iki alana toplam 180 ölü örtü poşeti bırakılmıştır. Bu keseler bir tür için yaklaşık olarak 2 m² lik

alana yerleştirilmişlerdir. Her bir alandan 6 ayda bir her bir tür için 3'er poşet tesadüfî olarak seçilerek, toplam 30 poşet [5 tür (kestane, meşe, karaçam, sarıçam-Artvin, sarıçam-Ankara) X 3 tekrar X iki çalışma alanı (Artvin ve Ankara) = 30 ölü örtü poşeti] laboratuara getirilmiştir. Laboratuara getirilen ölü örtü poşetleri içindeki yaprak ve ibrelerin yaş ağırlıkları belirlendikten sonra, 85 °C'lik fırında 2 saat bırakılmıştır. Yaş ağırlık-fırın kurusu ağırlık farkından yararlanarak yüzde nem miktarı hesaplanmıştır. Daha sonra, yaprak ve ibrelerin başlangıçtaki ağırlıklarına göre kaybettikleri kütle kaybı bulunmuştur. 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 en son alınan yaprak ve ibre örnekleri üzerinde yeniden yukarıda açıklanan analiz metotları kullanılarak lignin ve besin elementleri analizi yapılmış, böylece bunların ayrışma sürecindeki artma ve azalma seyri takip edilmiştir.

Türlerin başlangıçta ve bir yıl sonunda içerdiği kimyasal bileşiklerinin ortalama değerleri arasında farklılık olup olmadığı, SPSS paket programı (Version 9.0 for Windows) kullanılarak, tek yönlü Varyans Analizi yardımıyla belirlenmiştir. Varyans analizi sonucunu takiben, farklılıkların önem derecesi Tukey testi (HSD) ($\alpha=0.05$) yardımıyla ortaya konulmuştur. Yine aynı şekilde her bir örnekleme zamanındaki kütle kayıpları arasındaki ortalama farklılıkların önemli olup olmadığı tek yönlü Varyans Analizi kullanılarak belirlenmiştir. Kütle kayıpları ile başlangıçta türlerin içerdiği kimyasal bileşenler arasındaki doğrusal ilişkiler yine SPSS programı yardımıyla belirlenmiştir.

Bulgular

Türlerin kimyasal bileşenleri

Kestane, meşe, Artvin orijinli sarıçam, Ankara orijinli sarıçam ve karaçam türlerinin başlangıçta içerdikleri toplam karbon (C),

lignin ve besin elementleri (N, P, K, Ca, Mg ve Mn) içerikleri ile C:N ve lignin:N oranları Tablo 2 de verilmiştir. En yüksek toplam karbon miktarı kestane (%51.6) ve karaçamda (%52.3) bulunmuştur. En yüksek lignin miktarına sahip olan karaçam ibrelerini (%35.2), sırasıyla sarıçam –Artvin (%31.6), sarıçam-Ankara (%30.5), meşe (%26.5) ve kestane (%20.5) türleri izlemiştir. Yapraklı iki tür kestane ve meşe diğer ibreli iki türe göre daha yüksek azot, potasyum, kalsiyum, magnezyum ve mangan konsantrasyonuna sahip olurken, fosfor bakımından türler arasında önemli bir farklılık bulunmamıştır. En yüksek C:N oranı karaçam ibrelerinde bulunurken (97: 1), en düşük oranı ise meşe yaprakları göstermiştir (55: 1). Lignin: N oranı ise en düşük kestane yapraklarında (26: 1), en yüksek ise karaçam ibrelerinde (65: 1) bulunmuştur (Tablo 2).

Türlerin farklı iki ortamdaki (Ankara ve Artvin) kütle azalması ve ayrışması

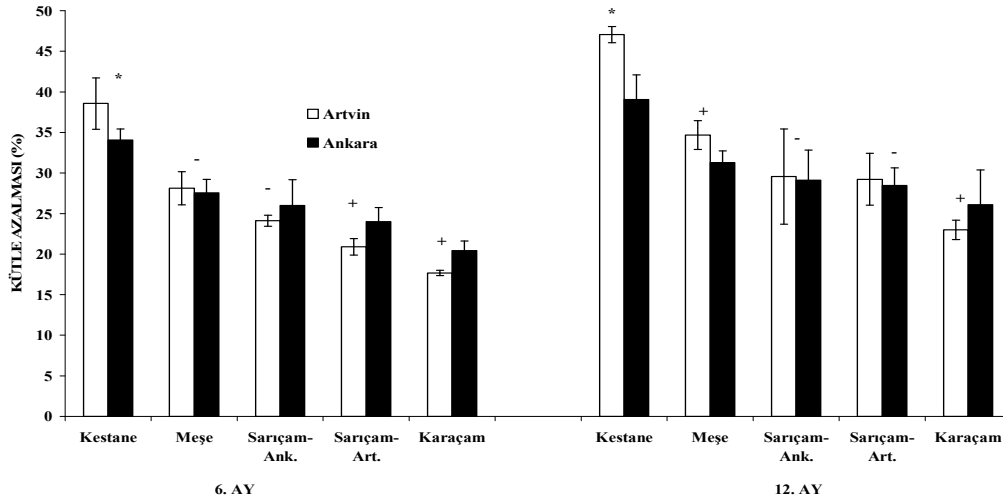
Çalışılan türlerin ölü örtülerinin Artvin ve Ankara ortamında ki kütle azalması Şekil 1 de gösterilmiştir. Bir yıl itibariyle türlerin ayrışma sabiteleri (k), kalan kütle miktarları ile ayrışan kütlenin yüzde 95'inin ayrışması için gerekli süre (T_{95} yıl olarak) Tablo 3 de verilmiştir. İlk 6 aylık sürede, Artvin ortamında kestane yapraklarının kütle azalması (%39) Ankara ortamından önemli derecede ($p<0.01$) daha yüksek bulunurken (%34), karaçam ve Artvin orijinli sarıçam ibrelerinin Artvin ortamında kütle azalması (anılan sıralamaya göre %18 ve %21) Ankara ortamından (anılan sıralamaya göre % 20 ve % 25) önemli derecede ($p<0.05$) daha düşük bulunmuştur (Şekil 1).

Meşe ve Ankara orijinli sarıçam ise her iki ortamda da aynı oranda kütle azalması göstermiştir ($p>0.05$). Bir yılın sonunda ise yapraklı iki türün (kestane ve meşe) Artvin ortamında kütle azalması (anılan sıralamaya göre %47 ve %34), Ankara ortamından (anılan sıralamaya göre %39 ve %31) önemli derecede ($p<0.01$) hızlı olurken, ibreli türlerden karaçamın Ankara ortamındaki kütle azalması (%26) Artvin ortamından (%23) önemli derecede yüksek olmuştur ($p<0.01$) (Şekil 1).

Tablo 2. Türlerin yapraklarının başlangıçta içerdikleri kimyasal bileşenleri

Kimyasal bileşenler	Kestane	Meşe	Ankara orijinli Sarıçam	Artvin orijinli Sarıçam	Karaçam
Karbon (C)(%)	51.6 ^b ± 1.12	45.4 ^a ± 1.01	47.2 ^a ± 0.55	46.5 ^a ± 0.34	52.3 ^b ± 0.62
Lignin (%)	20.5 ^a ± 1.18	26.5 ^b ± 1.75	30.5 ^c ± 0.58	31.6 ^c ± 2.51	35.2 ^d ± 0.95
Azot (N) (%)	0.79 ^b ± 0.001	0.83 ^b ± 0.001	0.53 ^a ± 0.001	0.54 ^a ± 0.001	0.54 ^a ± 0.001
Fosfor (%)	0.04 ^a ± 0.007	0.06 ^a ± 0.002	0.02 ^a ± 0.024	0.03 ^a ± 0.015	0.03 ^a ± 0.034
Potasyum (%)	0.31 ^b ± 0.025	0.65 ^c ± 0.018	0.17 ^a ± 0.009	0.14 ^a ± 0.09	0.15 ^a ± 0.017
Kalsiyum (%)	1.44 ^c ± 0.102	1.32 ^c ± 0.188	0.75 ^a ± 0.120	1.18 ^b ± 0.027	0.68 ^a ± 0.069
Magnezyum (%)	0.47 ^c ± 0.037	0.21 ^b ± 0.002	0.10 ^a ± 0.024	0.11 ^a ± 0.010	0.10 ^a ± 0.016
Mangan (%)	0.17 ^b ± 0.054	0.21 ^b ± 0.125	0.05 ^a ± 0.005	0.06 ^a ± 0.009	0.04 ^a ± 0.001
C: N	65 ^b	55 ^a	89 ^c	86 ^c	97 ^d
Lignin: N	26 ^a	32 ^b	58 ^c	59 ^c	65 ^d

Ortalamanın standart hatası yanında gösterilmiştir. Yatayda aynı harfle gösterilen ortalamalar arasında önemli bir farklılık yoktur.



Ortalamaların standart hataları kolonlar üzerinde çubuklar şeklinde verilmiştir. Farklılıkların önem derecesi * (yıldız) = P<0.01, + (artı) = P<0.05 ve - (eksi) = farklılık yok anlamındadır.

Şekil 1. Farklı iki ortamda ayrıışan aynı türlerin 6 ve 12 aylık kütle kayıp oranları

Her iki orijinli sarıçam ibreleri ise bir yılsonundaki ayrışma değerleri bakımından Ankara ve Artvin ortamları arasında önemli bir farklılık göstermemiştir ($p<0.05$). Genel olarak, farklı ortamlarda ayrışmanın gerçekleşmesi kestane, meşe ve karaçam türlerinin ayrışma hızını etkilerken, sarıçam türü bu farklılıktan etkilenmemiştir. Bu farklılıktan en yüksek düzeyde kestane etkilenirken (aradaki farklılık %8) bunu hemem hemen aynı yüzdeyle meşe (farklılık %3.4) ve karaçam takip etmiştir (farklılık %3.1). Ortam farklılıkları, bu türlerin tahmini olarak hesaplanan yüzde 95 kütle azalması için gerekli sürelerinin de farklı olmasına neden olmuştur. Örneğin kestane için bu süre yıl olarak Artvin ortamında 4.7 olarak bulunurken, Ankara ortamında bu süre

artarak 6.1 e çıkmaktadır (Tablo 3). Türlerin ölü örtü kütle kayıpları kendi aralarında karşılaştırıldığında ise her iki ortamda da kestane türünün en yüksek kaybını gösterdiği, bunu sırasıyla meşe, Ankara orijinli sarıçam, Artvin orijinli sarıçam ve karaçam türlerinin izlediği görülmüştür (Şekil 1).

Türlerin başlangıçta içerdikleri kimyasal bileşikler ile kütle kayıp oranları arasında önemli bir ilişki olduğu belirlenmiştir (Tablo 4).

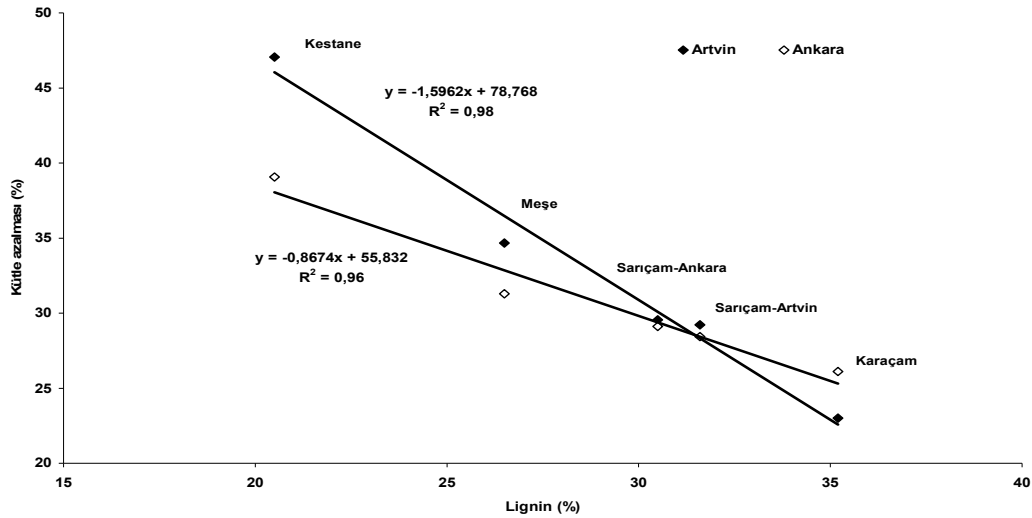
Bu kimyasal bileşenlerden, türlerin içerdikleri lignin miktarı kütle kayıp oranları ile en yüksek ilişkiyi göstermiştir (Şekil 2).

Tablo 3. Farklı iki ortamda ayrışan türlerin kalan kütle miktarları, ayrışma sabitesi (k), iki ortam arasındaki fark ve ayrışan materyalin yüzde 95 ini kaybetmesi için gerekli olan tahmini süre (yıl)

Tür	Ayrışmanın gerçekleştiği yer	k	Kalan Kütle (%)	Ayrışma alanları arasındaki farklılık (%)	T ₉₅ (y)
Kestane	Artvin	-0.636 ± 0.019	52.9 ± 1.00	8.0	4.72
	Ankara	-0.496 ± 0.050	60.9 ± 3.02		6.05
Meşe	Artvin	-0.426 ± 0.027	65.3 ± 1.76	3.4	7.04
	Ankara	-0.375 ± 0.021	68.7 ± 1.46		8.00
Ankara orijinli	Artvin	-0.353 ± 0.083	70.4 ± 5.87	1.7	8.50
Sarıçam	Ankara	-0.375 ± 0.021	68.7 ± 1.46		8.70
Artvin orijinli	Artvin	-0.346 ± 0.046	70.8 ± 3.20	0.8	8.67
Sarıçam	Ankara	-0.335 ± 0.030	71.6 ± 2.17		8.96
Karaçam	Artvin	-0.261 ± 0.016	77.0 ± 1.20	3.1	11.5
	Ankara	-0.304 ± 0.058	73.9 ± 4.25		9.87

Tablo 4. İki farklı ortamda (Ankara ve Artvin) gerçekleşen ölü örtü ayrışmasında, türlerin kütle azalma oranları ile kimyasal bileşenleri arasındaki doğrusal ilişki

Kimyasal bileşenler	R ²	
	Ankara	Artvin
Lignin (%)	0.96	0.98
Azot (N) (%)	0.55	0.60
Fosfor (%)	0.16	0.20
Potasyum (%)	0.14	0.18
Kalsiyum (%)	0.61	0.69
Magnezyum (%)	0.91	0.94
Mangan (%)	0.47	0.53
C: N	0.49	0.57
Lignin: N	0.79	0.83



Şekil 2. Her iki farklı alanda belirlenen kütle kayıpları ile lignin arasındaki doğrusal ilişki

En az lignin miktarına sahip olan kestane en yüksek kütle azalmasını gösterirken, en fazla lignin içeren karaçam ise en düşük kütle azalmasını göstermiştir. Bununla beraber, kimyasal bileşenlerle kütle azalması arasındaki ilişki her iki ortamda da benzer

değerleri göstermiştir (Tablo 4). Bununla beraber, ayrışan yaprak ve ibrelerin bir yıl sonunda içerdikleri kimyasal bileşenlerinden bazılarının miktarları iki ortam arasında önemli farklılıklar göstermiştir (Tablo 5).

Tablo 5. İki farklı ortamda bir yıl süren ayrışma deneyinden sonra türlerin yapraklarındaki ölü örtü bileşimlerinde meydana gelen değişimler

		Lignin (%)	Azot (N) (%)	Fosfor (%)	Potasyum (%)	Kalsiyum (%)	Magnezyum (%)	Mangan (%)	Lignin:N
Kestane	Ankara	27.3 (6.8) ⁺	0.86 (0.07) ⁺	0.052 (0.013) ⁺	0.133 (0.18) ⁻	1.56 (0.12) ⁺	0.32 (0.15) ⁻	0.26 (0.10) ⁺	31.7 (5.7) ⁺
	Artvin	32.8 (12.3) ⁺	0.96 (0.17) ⁺	0.051 (0.012) ⁺	0.193 (0.12) ⁻	2.10 (0.66) ⁺	0.29 (0.18) ⁻	0.33 (0.17) ⁺	34.2 (8.2) ⁺
Meşe	Ankara	35.2 (8.7) ⁺	0.95 (0.12) ⁺	0.052 (0.004) ⁻	0.232 (0.42) ⁻	1.71 (0.39) ⁺	0.22 (0.02) ⁺	0.16 (0.05) ⁻	37.1 (5.1) ⁺
	Artvin	40.2 (13.7) ⁺	1.02 (0.19) ⁺	0.061 (0.005) ⁺	0.237 (0.42) ⁻	1.77 (0.45) ⁺	0.18 (0.03) ⁻	0.22 (0.01) ⁺	39.4 (7.4) ⁺
Ankara orijinli Sarıçam	Ankara	42.1 (11.6) ⁺	0.73 (0.20) ⁺	0.035 (0.019) ⁺	0.114 (0.06) ⁻	0.80 (0.05) ⁺	0.12 (0.02) ⁺	0.05 (0.00)	57.7 (0.3) ⁻
	Artvin	40.2 (9.7) ⁺	0.95 (0.42) ⁺	0.033 (0.017) ⁺	0.080 (0.09) ⁻	1.36 (0.61) ⁺	0.12 (0.03) ⁺	0.26 (0.20) ⁺	42.3 (15.7) ⁻
Artvin orijinli Sarıçam	Ankara	43.5 (11.9) ⁺	0.69 (0.15) ⁺	0.022 (0.009) ⁻	0.055 (0.08) ⁻	0.82 (0.36) ⁻	0.09 (0.02) ⁻	0.05 (0.01) ⁻	63.0 (4.0) ⁺
	Artvin	41.2 (9.6) ⁺	0.72 (0.18) ⁺	0.028 (0.003) ⁻	0.077 (0.06) ⁻	1.30 (0.12) ⁺	0.04 (0.33) ⁺	0.05 (0.01) ⁻	57.2 (1.8) ⁻
Karaçam	Ankara	52.1 (16.9) ⁺	0.60 (0.06) ⁺	0.018 (0.001) ⁻	0.068 (0.08) ⁻	0.86 (0.18) ⁺	0.12 (0.02) ⁺	0.04 (0.00)	86.8 (21.8) ⁺
	Artvin	47.3 (12.1) ⁺	0.66 (0.12) ⁺	0.035 (0.007) ⁺	0.040 (0.11) ⁻	0.95 (0.27) ⁺	0.12 (0.02) ⁺	0.04 (0.00)	71.7 (6.2) ⁺

Artı (+) işareti bileşenin başlangıçtaki miktara göre artış gösterdiğini, eksi (-) işareti ise düşüş gösterdiğini ifade etmektedir.

Her iki ortamda da genel olarak ibre ve yaprakların lignin, azot, fosfor ve mangan konsantrasyonları ile lignin: N oranlarında bir artış olurken, potasyum ve magnezyum konsantrasyonlarında bir azalma meydana gelmiştir. Kalsiyum hariç, diğer besin elementlerindeki (azot, fosfor, potasyum, magnezyum ve mangan), artış ya da azalış iki farklı ortam arasında önemli bir farklılık göstermemiştir. Lignin ve kalsiyum konsantrasyonları ile lignin: N oranındaki değişim ise ağaç türüne göre farklılık göstermiştir. Örneğin, kestane ve meşe türlerinde lignin miktarı Artvin ortamında daha yüksek bir artış gösterirken ($p < 0.01$), bunun tam tersi karaçam da Ankara ortamında daha yüksek bir lignin artışı göstermiş ($p < 0.01$), fakat Artvin ve Ankara orijinli sarıçam türünde ise ligninin artış miktarları her iki ortam arasında önemli bir farklılık göstermemiştir ($p > 0.05$) (Tablo 5).

Farklı ortamlarda ayrılan aynı türün ayrışma oranları üzerinde en önemli etkiye sahip olduğu bildirilen iklim faktörleri (özellikle sıcaklık ve yağış), Ankara ve Artvin ortamında ayrışma seyrini takip ettiğimiz türlerin ayrışma farklılıklarını açıklamada, türe bağlı olarak kütle kayıplarında belirleyici bir rol oynamıştır. Bireysel tür olarak değerlendirdiğimizde,

kestane ve meşe yaprakları Ankara ortamına göre daha sıcak ve yağışlı olan Artvin ortamında daha hızlı ayrılmıştır. Fakat karaçamın ayrışmasında Artvin deki yüksek sıcaklık ve yağış etkili olmazken, aksine karaçamın ayrışması yavaşlamıştır. Sarıçam ise orijinine bakılmaksızın bu sıcaklık ve yağış farklılıklarından etkilenmemiştir.

Tartışma ve Sonuç

Bu çalışmada, türlerin aynı ortam şartları altında ayrışmaları durumunda başlangıçta içerdikleri kimyasal bileşenlerinin (özellikle lignin miktarının) ayrışma oranlarını etkilediği belirlenirken, farklı iklim özelliklerine sahip alanlarda ayrışmaları durumunda ise ayrışma oranları arasındaki farklılıkların türe bağlı olarak değişkenlik gösterdiği belirlenmiştir.

Birçok çalışmada (örneğin, Fogel ve Cromack, 1977; Sarıyıldız ve Anderson, 2003) %20 den daha fazla lignin konsantrasyonuna sahip ölü örtüde, lignin miktarının bakteri ve mantarların enzimatik, toprak faunasının beslenme aktivitelerini kısıtladığını, bu yüzden lignin yada lignin:azot oranının ayrışmada daha iyi bir gösterge olabileceğini bildirmişlerdir. Burada sunduğumuz çalışmamızda, türlerin başlangıçta içerdikleri lignin miktarı %21

(kestane) ile %35 (karaçam) arasında değişiklik göstermiştir. Çalışmamızda, lignin ve çoğu besin elementlerinin bir yılsonunda ibre ve yapraklarda artış gösterdiği belirlenmiştir. Ligninin artmasının en önemli nedenleri arasında, ayrıştırılması kolay olan kimyasal bileşenler (proteinler, hemiselüloz vb) ayrıştığı için geriye kalan kısım içinde ayrışması zor olan lignin miktarı kalmakta buda yüzde içinde daha yüksek ligninin belirlenmesine neden olabilmektedir. Besin elementlerindeki artış ise genelde mikroorganizmaların ortamda olmasından ve diğer çevre kaynaklarından yeni maddelerin eklenmesinden kaynaklanabilmektedir. Bu nedenle, türlerin aynı ortamdaki ayrışma farklılıklarını açıklayan en önemli faktör, türlerin başlangıçta içerdikleri lignin miktarı olmuştur. Ligninin ayrışma üzerinde bu kadar önemli rol oynamasının nedenleri arasında, yapı itibarıyla ligninin ayrışmaya karşı çok dirençli olması, çoğu mikroorganizmaların lignini ayrıştıracak enzimatik yapıdan yoksun olması yanında, fazla miktardaki ligninin ayrışmaya karşı daha az dirençli olan selüloz, hemiselüloz gibi kimyasal yapıları bir örtü gibi sararak ayrışmalarını engellemesi sayılabilir (Rowland ve Roberts, 1994). Bu nedenle, fazla miktarda lignin içeren ölü örtünün ayrışması ancak lignini ayrıştıran özel mikroorganizmaların (özellikle beyaz ve kahverengi çürükçül mantarların) ortamda bulunmasıyla mümkün olabilmektedir (Cox ve ark., 2001). Bu organizmaların ortamda bulunabilmesi de her şeyden önce bunların yetişmelerini mümkün kılacak çevre özelliklerinin optimumda olmasıyla mümkün olabilmektedir.

Bu nedenledir ki en fazla lignin içeren karaçam ibreleri, Artvin iklimine göre daha soğuk ve az yağışlı olmasına rağmen kendi yetiştirme ortamı olan Ankara'da daha hızlı bir ayrışma göstermiştir. Bu ortama adapte olan ve ortamdaki fazla miktarda lignin içeren ölü örtüyü ayrıştırmada başarılı olan mikroorganizmaların ayrışmanın daha hızlı olmasına neden olduğu söylenebilir. Ölü örtü ayrışmasına etki eden faktörleri tam olarak açıklayabilmek için, bu tür çalışmalarda ayrışmada etkili olan mikroorganizmaların türlerini ve farklı ortamlar arasındaki

değişimlerini daha detaylı olarak araştırmamız gerekmektedir.

En düşük lignin miktarlarını içeren kestane ve meşe türleri ise sıcaklık ve yağışın daha fazla olduğu Artvin ortamında daha hızlı ayrışma göstermiştir. Lignin içeriği bakımından karaçam ve yapraklı türler arasında değerlere sahip olan sarıçam ise her iki ortamda da aynı oranda ayrılmıştır. Bu sonuç bizlere, herhangi bir nedenden dolayı çevre şartlarının değişmesi karşısında, ölü örtü ayrışmasında meydana gelebilecek farklılıklarla türün içerdiği kimyasal bileşimin miktarı (özellikle lignin) arasında önemli bir ilişkinin olduğunu göstermektedir. Özellikle daha düşük lignin miktarına sahip olan türlerin çevre şartlarındaki değişimlerden daha fazla etkilendiği ifade edilmektedir (Prescott, 2003).

Birçok çalışmada yüksek sıcaklıklarda ölü örtü ayrışmasının arttığı rapor edilmiştir (Berk ve ark., 1993; Vitousek ve ark. 1994 Hobbie, 1996;). Artvin yöresinde, Sarıyıldız ve ark. (2005) tarafından yapılan ölü örtü ayrışması çalışmalarında, yükselti ile türlerin ölü örtü ayrışmaları arasında negatif bir ilişki olduğu ve bu ilişkide sıcaklığın yükselti ile azalmasının da önemli rol oynadığı tespit edilmiştir. Burada sunduğumuz çalışmamızda ise, iklim özellikleri bakımından iki alan arasında önemli farklılıklar olmasına rağmen, örneğin yıllık sıcaklık farkı 2.2 °C ve yağış farkı 525.4 mm, bütün sonuçlar beraber değerlendirildiğinde iklim özellikleri ile ayrışma farklılıkları arasında doğrusal bir ilişki bulunamamıştır. İki farklı ortamda belirlenen ayrışmadaki farklılıkların türlere göre değişimi, ayrılan ölü örtünün kimyasal bileşimindeki farklılık nedeniyle ortamda bulunan ve ayrışmayı gerçekleştiren organizmaların farklı etkileri tarafından düzenlendiği sonucuna varılmıştır. Örneğin, Artvin ortamında karaçam ibrelerinin yavaş ayrışması, yüksek miktarda lignin içeren karaçam ibrelerini ayrıştıracak, lignilolitik mantarların ortamda fazla olmaması nedeniyle olabilir (Cox ve ark., 2001).

Buradaki çalışmanın sonuçlarını şu şekilde özetleyebiliriz. 1) Aynı ortam şartları altında ayrılan türlerin ölü örtülerinin ayrışmalarında türlerin başlangıçta içerdikleri kimyasal yapıları belirleyici rol

oynamaktadır. 2) Farklı çevre şartları altında ayrışan ölü örtünün, ayrışma oranları arasındaki farklılıklar üzerinde iklim özellikleri tek başına belirleyici bir faktör değildir. Farklı ortamlarındaki iklim özellikleri ya da küresel ısınma nedeniyle iklim özelliklerinde meydana gelen değişimlerden, ölü örtünün ayrışmasının etkilenmesi türe bağlıdır. Daha az lignin içeren ölü örtülerin bu değişiklikten daha fazla etkilendiğini söylemek mümkündür. Daha az lignin içeren kestane ve meşe farklı sıcaklığın daha yüksek olduğu Artvin ortamında daha hızlı ayrışırken, lignin miktarı yüksek olan karaçam ve sarıçam bundan etkilenmemiştir. 3) Farklı ortamlarda gerçekleşen ayrışmadaki değişiklikleri daha iyi anlayabilmek için ayrışma ortamdaki toprak canlılarının etkisi yanında orman altı türlerin ayrışmaya olan etkileri daha ayrıntılı ve uzun süreli olarak araştırılmalıdır.

Kaynaklar

- Allen S.E. 1989. Chemical Analysis of Ecological Materials. Blackwell Scientific Publications, Oxford.
- Anderson J.M., Ingram J.S.I. (Eds.). 1993. Tropical soil biology and fertility. A handbook for methods. CAB International, Oxon.
- Anonim 2005. DMİ Artvin Meteoroloji İstasyonu, Artvin
- Anonim 2007. DMİ Çamlıdere Meteoroloji İstasyonu, Ankara
- Berg B., Berg M., Bottner P., Box E., Breymeyer A., Calvo de Anta R., Couteaux M.M., Gallardo A., Escudero A., Kartz W., Maderia M., Malkonen E., Meentemeyer V., Munoz F., Piussi P., Remacle J., Virzo De Santo A. 1993. Litter mass loss rates in pine forests of Europe and Eastern United States: some relationships with climate and litter quality. Biogeochem 20, 127-159.
- Cox P., Wilkinson S.P., Anderson J.M. 2001. Effects of fungal inocula on the decomposition of lignin and structural polysaccharides in Pinus sylvestris litter. Biol. Fertil. Soils. 33, 246-251.
- Dündar M. 1973. Ankara Civarındaki Bazı Karaçam ve Sarıçam Kültürlerinde Görülen Kurumalarla İğne Yapraklardaki Besin Maddeleri Konsantrasyon Seviyeleri Arasındaki İlişkiler. Ormancılık Araştırma Enstitüsü Yayınları, Teknik Bülten Serisi No: 53, Ankara, 101 s.
- Fogel R., Cromack K. 1977. Effects of habitat and substrate quality on Douglas-Fir litter decomposition in western Oregon. Canadian Journal of Botany 55, 1632-1640.

Heal O.W., Anderson J.M., Swift M.J. 1997. Plant litter quality and decomposition: An historical overview. In Driven by Nature: Plant Litter Quality and Decomposition, Cadisch G, Giller K E (eds), CAB International Wallingford, UK, pp. 3-45.

Hobbie R. 1996. Temperature and plants species controls over litter decomposition in Alaskan tundra. Ecological Monographs 66, 503-522.

Indermühle A., Monnin E., Stauffer B., Stocker T.F., Wahlen M. 2000. Atmospheric CO₂ concentration from 60 to 20 kyr BP from the Taylor Dome ice core, Antarctica. Geophysical Research Letters 27/5, 735-738.

IPCC 2001. Intergovernmental Panel on Climate Change, The Scientific Basis, Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Houghton, J.T., Y. Ding, D.J. Griggs, M. Noguer, P.J. van der Linden, X. Dai, K. Maskell, and C.A. Johnson (eds.)], Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

Karagül R. 1990. Artvin-Murgul yöresindeki kayın ve kızılğaç orman ölü örtülerinin bazı hidrolojik ve fiziksel özelliklerinin araştırılması. K.T.Ü. Fen Bilimleri Enst., Yüksek Lisans Tezi Trabzon,

Karaöz M. Ö. 1993. Bazı yerli ve yabancı yöre yapraklı ağaç türlerine ait plantasyonlarda ölü örtü miktar ile bunlardaki besin rezervi üzerine araştırmalar. İstanbul Univ. Orm. Fak. Der., Seri-A, 43: 93-115.

Kurz-Besson C., Couteaux M.,M., Berg B., Remacle J., Ribeiro C., Romanya J., Thiery J.M. 2006. A climate response function explaining most of the variation of the forest floor needle mass and the needle decomposition in pine forest across Europe. Plant and Soil 285: 97-114

Neftel A., Oeschger H. Schwander J., Stauffer B., Zimbrunn R. 1982. Ice core sample measurements give atmospheric CO₂ content during the past 40000 yr. Nature (London) 295, 220-223.

Nelson D.W., Sommers L.E. 1982. Total carbon, organic carbon and organic matter. In: Methods of soil analysis (eds A. L. Page, R.H. Miller & D.R. Keeney) pp. 539-579. American Society of Agronomy, Madison, Wisconsin.

Olson J.S. 1963. Energy storage and the balance of producers and decomposers in ecological systems. Ecology 14, 322-331.

Prescott C.E., Hope G.D., Blevins L.L. 2003. Effect of gap size on litter decomposition and soil nitrate concentrations in a high-elevation spruce-fir forest. Can J For Res 33: 2210-2220.

Raich J.M., Schlesinger W.H. 1992. The global carbondioxide flux in soil respiration and its relationship to vegetation and climate. Tellus, 44B: 81–99.

Rowland A.P., Roberts J.D. 1994. Lignin and cellulose fractionation in decomposition studies using Acid-Detergent Fibre methods. Comm Soil Sci Plant Anal 25: 269–277

Sarıyıldız T., Anderson J.M. 2003. Interactions between litter quality, decomposition and soil fertility: a laboratory study. Soil Biol. Biochem. 35, 391–399.

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 J. Agric. For. 27, 237–243.

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 Biol. Biochem. 37 (9), 1695–1706.

Sarıyıldız T., Küçük M. 2005. Kayın (*Fagus orientalis* Lipsky) ve Ladin (*Picea orientalis* L.) Ölü Örtülerinin Ayırışma Oranları Üzerinde Orman Gülünün (*Rhododendron ponticum* L.) Etkisi, G.Ü. Kastamonu Orman Fakültesi Dergisi, 5, 55-69.

Sarıyıldız T., Tüfekcioglu A., Küçük M. 2005. Comparison of decomposition rates of beech (*Fagus orientalis* Lipsky) and spruce (*Picea orientalis* (L.) Link) littter in pure and mixed stands of both species in Artvin, Turkey. Turkish J. Agric. For. 29, 429–438

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.