



Belgrad Ormanının Toprak Biyolojik Kalite İndeksinin Mikroeklembacıklılar ile Belirlenmesi

M. Çakır

Çankırı Karatekin Üniversitesi, Orman Fakültesi, Orman Mühendisliği Bölümü, 18200, ÇANKIRI

MAKALE KÜNYESİ

Geliş Tarihi: 1 Mayıs 2019

Kabul Tarihi : 16 Temmuz 2019

*Sorumlu yazarın e-posta adresi:
mericcakir@gmail.com

ÖZ

Toprak kalitesi, su ve hava kalitesi ile birlikte çevre kalitesinin üç bileşeninden biridir. Toprak kalite göstergeleri fiziksel, kimyasal ve biyolojik toprak kalite parametreleri olarak ayrılmaktadır. Biyolojik toprak kalite parametresi olarak toprak canlıları, antropojenik bozulmalara verdikleri hızlı tepkilerden dolayı önemli bir ölçüt olarak belirlenmiştir. Toprak biyolojik kalitesinin belirlenmesinde son yıllarda tasarlanan ve geliştirilen indekslerden biri QBS-ar dır. QBS-ar indeksi, mikroeklembacıklıların toprak ekosistemine adaptasyonlarını gösteren morfolojik karakterlerin varlığına odaklanır ve tür düzeyinde karmaşık taksonomik tanımlama gerektirmez. Belgrad Ormanında yedi farklı orman ağacı altında, üçer noktadan, farklı zamanlarda çelik silindirlerle alınan mikroeklembacıklı örnekleri Tullgren ekstraktörü ile ekstrakte edilmiştir. Örneklerde teşhis edilen her bir taksona 1-20 arasında değişen EMI değeri atanmış ve QBS-ar değeri hesaplanmıştır. Çalışmanın amacı yedi farklı ağaç türü (*Abies cilicica* Carr., *A. nordmanniana* ssp. *bornmülleriana* Mattf. ve *A. nordmanniana* ssp. *nordmanniana* Mattf., *Pinus sylvestris*, *Pinus nigra* Arnold ve *Quercus petraea* L. ve *Fagus orientalis* L.) altında QBS-ar değerinin belirlenmesidir. Sonuç olarak belirlenen QBS-ar değerleri arasında hem zamana göre hem de ağaç türlerine göre istatistiksel fark bulunmuştur. En düşük QBS-ar değeri *Abies cilicica* (66)'da en yüksek değer ise *Pinus sylvestris* (91) de bulunmuştur. Sonuç olarak QBS-ar, farklı ağaç türleri altında farklı toprak biyolojik kalitesi olduğunu göstermiştir.

Anahtar kelimeler: Mezofauna, QBS-ar, toprak kalitesi, göknar, çam, kayın, meşe

Determination of Soil Biological Quality Index of Natural and Plantation Forests by Microarthropods

ABSTRACT

Soil quality is one of the three components of environmental quality including water and air quality. Indicators of soil quality are grouped in physical, chemical, and biological soil quality parameters. As a biological soil quality parameter, soil organisms have been identified as important criteria due to their rapid response to anthropogenic disturbances. One of the indices designed and developed in recent years for the determination of soil biological quality is QBS-ar. The QBS-ar index focuses on the existence of morphological characters, indicating the adaptation of microarthropods to the soil ecosystem and does not require complex taxonomic identification at the species level. We studied microarthropods, taking three soil samples under each of seven different forest trees in Belgrade forests, and identified microarthropods in Tullgren-extracted samples. Each identified taxon is assigned an EMI value ranging from 1-20 and QBS-ar value was calculated, by the summing up of EMI values. Statistically significant differences were found between the QBS-ar values determined under tree species (*Abies cilicica* Carr., *A. nordmanniana* ssp. *bornmülleriana* Mattf. ve *A. nordmanniana* ssp. *nordmanniana* Mattf., *Pinus sylvestris*, *Pinus nigra* Arnold, *Quercus petraea* L. and *Fagus orientalis* L.) according to time and tree species. The lowest QBS-ar value was found in *Abies cilicica* (66) and the highest value was found in *Pinus sylvestris* (91). Therefore, the results suggested that QBS-ar showed different soil biological quality under different tree species.

Keywords: Mesofauna, QBS-ar, soil quality, fir, pine, beech, oak

Bu makaleye atf:

Çakır, M., 2019. Belgrad Ormanının Toprak Biyolojik Kalite İndeksinin Mikroeklembacıklılar ile Belirlenmesi. Anadolu Orman Araştırmaları Dergisi 5(1): 38-45.

1. Giriş

Toprak kalitesi, su ve hava kalitesi ile birlikte çevre kalitesinin üç bileşeninden biridir (Best ve Haeck, 1984). Hava ve su kalitesi, kirlenme derecesine göre tanımlanırken toprak kalitesi sadece kirlilik kalitesine göre değil aynı zamanda *toprağın fonksiyonlarını yerine getirme kapasitesine* bakılarak tanımlanmaktadır (Karlen ve ark., 1997). Burada toprağın fonksiyonları ile toprağın biyolojik üretkenliğini sürdürmesi, çevresel kaliteyi koruması ve ekosistem içerisindeki bitki ve hayvanların sağlığını geliştirmesi anlaşılmalıdır (Doran ve Zeiss, 2000). Bu tanım, karasal ekosistemlerin karmaşık toprak altı kısmı ile toprak fonksiyonları ve toprak temelli ekosistem hizmetleri arasındaki birçok bağı açıklamaktadır. Toprağın yapısı gereği içerisinde bulundurduğu hava ve su kısımları dikkate alındığında toprak kalitesinin, hava ve su kalitesine kıyasla daha karmaşık olduğu görülmektedir (Nortcliff, 2002). Toprakların, arazi kullanımında meydana gelen değişikliklere göstermiş olduğu tepki yavaş olmaktadır. Toprak kalitesinde geri dönüşü olmayan bir bozulma oluşmadan önce, meydana gelen değişimin belirlenmesi, hava ve su kalitesine kıyasla daha zor olmaktadır (Nortcliff, 2002). Bu nedenle toprak kalitesi *toprak sağlığı* olarak da değerlendirilmektedir (Günel ve ark., 2015).

Toprak kalite göstergeleri fiziksel, kimyasal ve biyolojik toprak kalite parametreleri olarak ayrılmaktadır (Erşahin ve ark., 2015). Toprak kalitesi belirlenirken, hem toprak fonksiyonlarını yerine getirme hem de toprak kalitesinin bir göstergesi olarak kullanılacak hassas toprak özelliklerinin belirlenmesi gerekmektedir (Doran ve Zeiss, 2000; Günel ve ark., 2015; Bünemann ve ark., 2018; Drobnik ve ark., 2018). Toprak kalitesinin izlenmesini, ölçüm sistemlerinin karmaşıklığı ve pahalı olması zorlaştırmaktadır (Parisi ve ark., 2005). Toprak kalitesini ölçmek için küresel ölçekte belirlenmiş ve uygulanabilir bir yöntem henüz mevcut değildir (Bastida ve ark., 2008) ayrıca topraklar için belirlenmiş verimli bir biyogösterge de bulunamamıştır (Havlicek, 2012). Fakat biyolojik toprak kalite parametresi olarak toprak canlıları, antropojenik bozulmalara verdikleri hızlı tepkilerden dolayı önemli bir ölçüt olarak belirlenmiştir (Paz-Ferreiro ve Fu, 2016).

Toprak biyolojik kalitesinin belirlenmesinde son yıllarda tasarlanan ve geliştirilen indekslerden biri QBS-ar'dır. QBS-ar, eklembecaklı (arthropoda; -ar) topluluğuna dayalı Toprak Biyolojik Kalitesinin (İtalyanca'da: *Qualità Biologica del Suolo*) kısaltmasıdır. QBS-ar, toprak mikroeklembecaklı topluluğunun biyolojik çeşitliliğini, toprak

ekosistemine göstermiş oldukları adaptasyonun derecesi ile birleştirilerek toprakta meydana gelen bozulmaların göstergesi olarak kabul edilen toprak biyolojik kalitesi hakkında bilgi sağlar. Bu indeks, toprak mikroeklembecaklıları ile ilgili iki önemli bakış açısını birleştirmek için geliştirilmiştir: birincisi, toprak içerisinde bulunmaları ve ikincisi, toprak koşullarına uyum sağlama yetenekleri. QBS-ar indeksi toprak mikroeklembecaklı topluluklarına: 1) mikroeklembecaklıların toprak ortamına adaptasyonunu değerlendirmek ve 2) toprak mikroeklembecaklıların tür düzeyinde teşhislerinde karşılaşılan zorlukların üstesinden gelmek için uygulanır. Başka bir ifade ile QBS-ar indeksi, mikroeklembecaklıların toprak ekosistemine adaptasyonlarını gösteren morfolojik karakterlerin varlığına odaklanır ve tür düzeyinde karmaşık taksonomik tanımlama gerektirmez (Parisi ve ark., 2005).

Farklı ağaç türleri toprak ekosistemini hem kökleri ile hem de ölü örtü dökümü ile fiziksel ve kimyasal olarak etkilerler (Binkley ve Menyailo, 2005). Ölüörtünün miktarı ve kimyasal yapısı mikroeklembecaklıların komünite yapılarını doğrudan etkilemektedir (Çakır ve Makineci, 2013). Bu bilgiler ışığında Belgrad ormanında bulunan farklı ağaç türlerinin toprak biyolojik kalitesine etkilerinin farklı olacağı düşünülmüştür. Bunun için Belgrad Ormanı'nda bulunan doğal (2 tür) ve plantasyon (5 tür) olmak üzere yedi farklı ağaç türü altında mikroeklembecaklılara dayalı toprak biyolojik kalitesi belirlenmesi amaçlanmıştır.

2. Materyal ve Yöntem

2.1. Çalışma Alanı

Çalışma alanı İstanbul Belgrad Ormanı içerisinde, 41°09'–41°12' kuzey enlemleri ile 28°54'–29°00' doğu boylamları arasında yer almaktadır. Bahçeköy meteoroloji istasyonu verilerine göre yıllık ortalama yağış 1074 mm, yıllık ortalama sıcaklık 12,8 °C olmakla birlikte yazın orta derecede su açığı olan deniz etkisindeki iklimte sahiptir. Vejetasyon süresi 7,5 ay (230 gün) dir. Çalışma alanı drenaj problemi olmayan tekstürü balçık yapıda olan Luvisol dur (WRB, 2006). Denizden yüksekliği 140 m, ortalama eğim %10-15 dir (Akburak ve ark., 2013).

Belgrad Ormanında 1960'lı yıllarda yapılan ağaçlandırma çalışmaları ile doğal türlerin yanında birçok farklı türde ağaçlandırma yapılmıştır. Bu alanlarda toprak biyolojik kalitesini hesaplamak için 2009 ile 2013 yılları arasında örnekleme yapılan ağaç türleri; *Abies cilicica* Carr., *A. nordmanniana*

ssp. *bornmülleriana* Mattf. ve *A. nordmanniana* ssp. *nordmanniana* Mattf. (Çakır, 2018), *Pinus sylvestris* (Çakır ve Makineci, 2015), *Pinus nigra* Arnold (Çakır ve Makineci, 2013) ve *Quercus petraea* L. ve *Fagus orientalis* L. (Çakır ve Makineci, 2019),

altından örneklenen mikroeklembacıklı komüniteleri seçilmiştir. Yukarıda belirtilen ağaç türlerinde yapılan çalışmalardan elde edilmiş bazı veriler, Çizelge 1’de verilmiştir.

Çizelge 1. Farklı ağaç türleri altında bulunan ölü örtü, mikroeklembacıklı miktarı ve mikroeklembacıklılara ait çeşitlilik indeksi (ort. \pm std. hata)

Ağaç türü	Ölü örtü (g. m ⁻²)	Miktar (bry. m ⁻²)	Shannon çeşitlilik (H')	
Plantasyon	¹ <i>Abies cilicica</i>	1005 \pm 285	62888 \pm 5843	1,73 \pm 0,21
	¹ <i>Abies bornmülleriana</i>	1027 \pm 211	57246 \pm 6343	1,63 \pm 0,27
	¹ <i>Abies nordmanniana</i>	1452 \pm 268	59959 \pm 5695	1,96 \pm 0,17
	² <i>Pinus sylvestris</i>	2757 \pm 126	42276 \pm 4892	1,73 \pm 0,24
	³ <i>Pinus nigra</i>	2640 \pm 328	49963 \pm 3473	1,68 \pm 0,19
Doğal	⁴ <i>Fagus orientalis</i>	1296 \pm 236	50778 \pm 4668	1,87 \pm 0,31
	⁴ <i>Quercus petraea</i>	1096 \pm 169	52007 \pm 4512	1,81 \pm 0,24

¹*Abies* sp. (Çakır, 2018)

²*Pinus sylvestris* (Çakır ve Makineci, 2015)

³*Pinus nigra* Arnold (Çakır ve Makineci, 2013)

⁴*Fagus orientalis* L. ve *Quercus petraea* L. (Çakır ve Makineci, 2019)

2.2. QBS-ar İndeksi

QBS-ar, omurgasızlar içerisinde yer alan boyutları 0,2 ile 2 mm (mesofauna) aralığında olan toprak mikroeklembacıklılarını dikkate alır. Toprak, ışığın olmadığı ve agregatlar arasında küçük boşlukların olduğu bir ekosistemdir. Bu özel ekosistemde mikroeklembacıklıların vücutları, hayatta kalmalarını sağlayan uyumsal özellikler geliştirmişlerdir. Bu uyumsal özellikler, pigmentlerin ve görme organlarının körelmesi veya kaybı, değişmiş gövde şekilleri ve kompakt uzantılar (kıllar, antenler, bacaklar) ile uçma, atlama veya koşma organlarının körelmesi veya kaybı gibi değişimlerdir (Wallwork, 1976). Bu adaptasyonun bir sonucu olarak, toprak mikroeklembacıklıları, toprak bozulmasına karşı hassastırlar ve bozulmuş topraklarda hayatta kalamaz veya uzaklaşamazlar. QBS-ar indeksi bu morfolojik özellikleri dikkate alarak hesaplanmaktadır (Parisi ve ark., 2005).

QBS-ar'ın belirlenmesinde uygulanan adımlar: 1) toprak örnekleme, 2) mikroeklembacıklıların ekstraksiyonu, 3) biyolojik formların belirlenmesi ve Ekolojik-Morfolojik İndeks (EMI) tayini, 4) QBS-ar indeksinin hesaplanması ve (5) QBS-ar değerinin toprak kalite sınıfına dönüştürülmesi olarak beş kısma ayrılır.

1) *Toprağın örnekleme:* QBS-ar'ın belirlenmesinde en önemli adımdır. Toprak örnekleme yapacağı alanın seçimine ve çalışma zamanına, toprak faunasının biyolojisine ve proje hedeflerine dikkat gösterilmelidir (Wallwork, 1970). Toprak mikroeklembacıklılarının heterojen bir dağılıma sahip olduğunu, bazı türlerin sosyal bir davranışa sahip olduğunu, bazı

mikroeklembacıklıların gün içerisinde dikey ve yatay olarak göç ettiğini ayrıca bazı türlerin belirli dönemlerde ve koşullarda (özellikle kurak ve soğuk koşullarda) durgunlaştığını dikkate almak çok önemlidir (Wallwork, 1976; Coleman ve ark., 2004). Örnek alan seçilirken kenar uzunluğunun en az 5-10 m olmasına dikkat edilmelidir. En uygun örnekleme zamanı kurak dönem dışındaki dönemlerdir çünkü kurak dönemde bazı mikroeklembacıklılar dikey göç ederek derindeki nemli toprağa inebilmekte veya yaz uykusu gibi uyumsal dönemlere girebilmektedir. Yöntem her bir örnekleme alanında 5-10 m de bir en az 3 örnekleme yapılmasını önermektedir (Parisi ve ark., 2005).

2) *Mikroeklembacıklıların ekstraksiyonu:* Araziden alınan toprak örnekleri en geç 48 saat içinde Berlese-Tullgren ekstraktörüne konulmalıdır. Ekstraktör, toprak örneğinin konulduğu üzerinde bir eleğin (1 veya 2 mm gözenek açıklığına sahip) olduğu huni ve 30 cm yukarısına yerleştirilmiş akkor lamba (40-60 W) ve huninin altında yer alan ve sıvı içeren (2/3 alkol ve 1/3 gliserin) kaptan oluşmaktadır. Akkor lamba toprak örneğini kademeli olarak kuruturken mikroeklembacıklılar huni altındaki kaba düşene kadar daha derin toprak katmanına doğru ilerlerler. Toprakta mikroeklembacıklıları çıkarma süresi toprak nemi ile ilgilidir (3 günden az olmamalıdır) (Macfadyen, 1961).

3) *Biyolojik formların belirlenmesi ve Ekolojik-Morfolojik İndeks (EMI) tayini:* Çıkarılan örnekler en az 40 \times büyütme bir stereomikroskop kullanılarak gözlemlenir ve takım/sınıf düzeyinde teşhis edilir. Daha sonra her bir taksona EMI değeri atanır (Parisi ve ark., 2005). EMI değeri 1 (toprağa uyum sağlamamış) ile 20 (toprağa en fazla uyum

sağlamış) arasında değişmektedir. Bazı taksonlar için sadece bir EMI değeri verilmiştir bunun nedeni bu taksonlara ait tüm türler toprağa aynı adaptasyon seviyesini gösterdiği içindir (örneğin, Protura'da maksimum, Blattaria'da orta). Diğer taksonlar, türlerin toprağa göstermiş oldukları farklı adaptasyon seviyelerine göre 1-5 veya 1-20 veya 10-20 arasında bir değer almaktadır. Genel olarak, euedafik (derin toprakta yaşayan) formlar EMI = 20 olur, hemiedafik (toprak içerisinde ve yüzeyinde yaşayan), toprak adaptasyon derecelerine göre EMI puanı alır ve epiedafik (yüzeyde yaşayan) formlar EMI = 1 puan alır. Taksonlara ait EMI değerleri Çizelge 2'de gösterilmiştir.

4) *QBS-ar indeksin hesaplanması*: Her bir toprak örneğinden çıkarılan taksonlara ait EMI değeri toplanır. Aynı takson içerisinde farklı EMI değeri alan türler olduğunda, QBS-ar belirlenirken en yüksek EMI değeri alan hesaba katılır (Parisi ve ark., 2005).

5) *QBS-ar değerinin toprak kalite sınıfına dönüştürülmesi*: Parisi (2001) toprak biyolojik kalitesini 7 sınıfa ayırmıştır. Sınıflandırma, toprak ekosistemine adapte olmuş canlıların varlığına göre başta iki gruba ayrılmaktadır. Toprak yüzeyinde yaşayan ve toprak ekosistemine yarı bağımlı canlıların bulunduğu alanlar en düşük sınıflandırma değerini alır. Daha sonra QBS-ar değerine göre sınıflandırma devam eder. Sınıflandırma da 2. ve 3.

sınıflar biyolojik bakımdan kritik olan sınıflardır (Çizelge 3).

Çizelge 2. Toprak mikroeklembacaklılarına ilişkin ekomorfolojik indeks (EMI) (Parisi ve ark., 2005)

Takson	EMI
Protura	20
Diplura	20
Collembola	1-20
Microcoryphia	10
Zygentomata	10
Dermaptera	1
Orthoptera	1-20
Embioptera	10
Blattaria	5
Psocoptera	1
Hemiptera	1-10
Thysanoptera	1
Coleoptera	1-20
Hymenoptera	1-5
Diptera (larvae)	10
Diğer böcekler (yetişkin)	1
Diğer böcekler (larva)	10
Acarina	20
Araneae	1-5
Opiliones	10
Palpigradi	20
Pseudoscorpiones	20
Isopoda	10
Chilopoda	10-20
Diplopoda	10-20
Pauropoda	20
Symphyla	20

Çizelge 3. QBS-ar değerlerinin toprak kalite sınıfına dönüştürülmesi

			Kalite Sınıfı	
Toprak içerisinde yaşayan gruplar yoksa	Sadece toprak yüzeyindeki gruplar		0	
	Larvalar ve başkalaşım geçiren böcekler			
	Sadece toprak yüzeyinde ve içerisinde yaşayan gruplar		1	
Toprak içerisinde yaşayan gruplar varsa	Protura yok	Onychiuridler* yok	QBS-ar≤50	2
		Onychiuridler var	QBS-ar>50	3
	Protura var		QBS-ar≤100	4
			QBS-ar≤200	5
			QBS-ar>200	6

* Onychiurid; Collembola takımına ait bir takson

2.4. İstatistiksel Analizler

Farklı ağaç türlerine ait QBS-ar değerlerinin hem zamansal hem de ağaç türlerine göre farklılıkları Genelleştirilmiş Doğrusal Model (GLM) ile tekrarlayan ölçümlerde varyans analizi (*repeated measures ANOVA*) kullanılarak SPSS paket programında belirlenmiştir. Farklı ağaç türlerine ait QBS-ar değerlerinin ortalamaları arasındaki farklılık Tukey post-hoc testi ile ayrılmıştır (SPSS, 2011).

3. Bulgular ve Tartışma

Elde edilen QBS-ar değerleri arasında hem zamansal hem de ağaç türleri arasında tekrarlayan ölçümlerde varyans analizine göre istatistiksel fark ($P < 0,000$) bulunmuştur (Çizelge 4). Yedi farklı orman ağacı altından elde edilen ortalama QBS-ar değeri 78 iken en düşük değer 66 ile *Abies cilicica* 'da en yüksek değer ise 91 ile *Pinus sylvestris* 'de bulunmuştur (Çizelge 5). Toprak biyolojik kalite sınıfına göre *Abies* türleri ile *Pinus nigra* ve *Quercus petraea* orta kalite sınıfı (3.), *Pinus sylvestris* ve *Fagus orientalis* ise iyi kalite sınıfı (4.) içerisinde yer almaktadır (Parisi, 2001; Lakshmi ve Joseph, 2017).

Çizelge 4. Yedi farklı ağaç türü altından elde edilen QBS-ar değerlerine ait tekrarlayan ölçümlerde ANOVA sonuçları

Faktör	df	F	P
Zaman	5,803	6,741	0,000
Zaman × Ağaç türü	34,820	6,513	0,000

Aslında toprak biyolojik kalitesi bakımından beklenen, doğal ve yapraklı ormanlarda elde edilecek QBS-ar değerinin plantasyon ve ibreliliğe göre daha yüksek olmasıdır. Fakat mikroeklembacaklıların komünite yapısı sadece ağaç türünden değil aynı zamanda mikroeklembacaklıların yaşam alanı ve besin kaynağı olan ölü örtünün miktar ve kalitesi (C:N oranı ve lignin miktarı) ile otsu bitki tür çeşitliliğinden de kaynaklanabilmektedir (Çakır ve Makineci, 2013). İstatistiksel değerlendirme yapıldığında en düşük değere sahip *Abies cilicica* ve *A. bornmülleriana* aynı QBS-ar değerine sahipken

Pinus nigra ve *Quercus petraea* üç göknar türü ile benzer özellik göstermektedir. *A. nordmanniana* ise hem diğer göknar türleri ile hem de *P. nigra* ve *Q. petraea* ile benzer özellikler gösterirken en yüksek QBS-ar değeri ile *Fagus orientalis* ve *Pinus sylvestris* diğer türlerden istatistiksel farklılık göstermektedir (Çizelge 5).

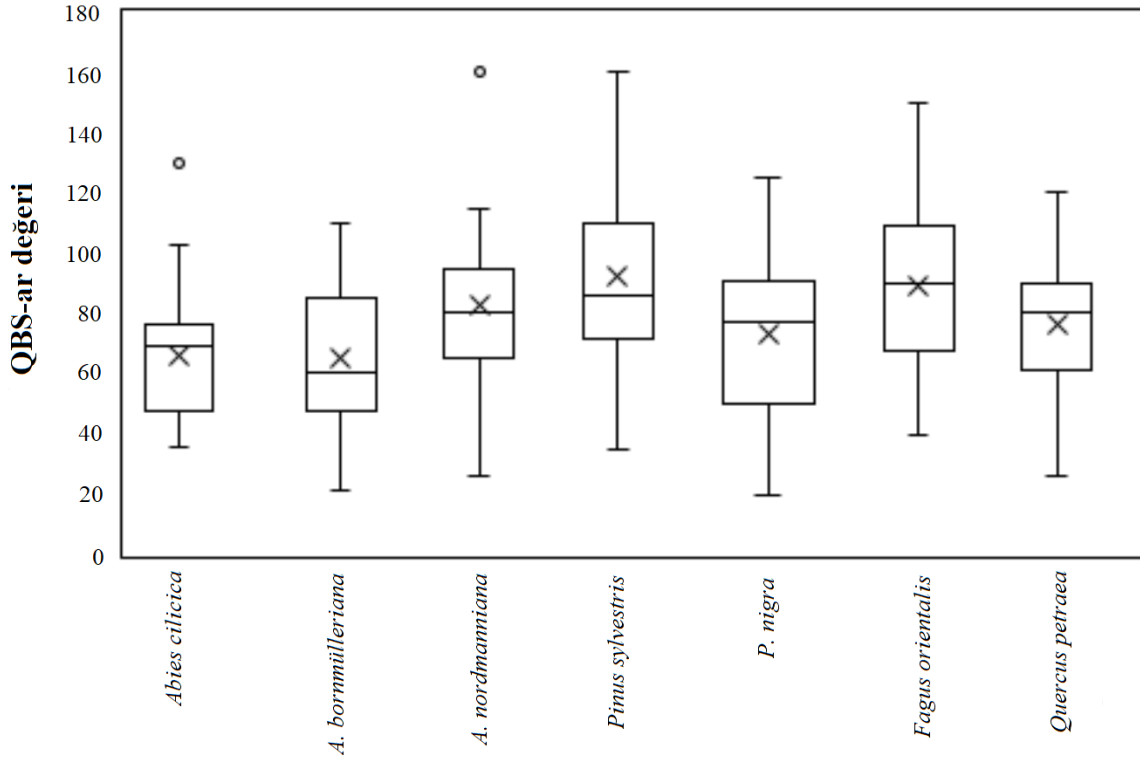
Çizelge 5. Farklı ağaç türleri altında elde edilen QBS-ar değerleri (ortalama ± standart hata)

Ağaç türü	Ort ± Std. hata
<i>Abies cilicica</i>	66,17 ± 3,94 a
<i>Abies bornmülleriana</i>	65,50 ± 4,14 a
Plantasyon <i>Abies nordmanniana</i>	83,11 ± 5,12 bc
<i>Pinus sylvestris</i>	91,31 ± 4,28 c
<i>Pinus nigra</i>	73,17 ± 4,80 ab
Doğal <i>Fagus orientalis</i>	89,36 ± 5,20 c
<i>Quercus petraea</i>	76,53 ± 4,89 ab

Not: Aynı sütundaki bulunan aynı harfler istatistiksel olarak önemli farklılık olmadığını göstermektedir.

Yıl içerisinde QBS-ar değerlerindeki değişim incelendiğinde *Abies* taksonlarında en yüksek değer Mayıs ayında en düşük değer ise Temmuz ayında belirlenmiştir. *P. nigra* türünde QBS-ar değeri en yüksek Mayıs en düşük Ağustos ayında, *P. sylvestris* türünde ise en yüksek Nisan ayında en düşük Ocak ayında bulunmuştur. *Fagus orientalis* ve *Quercus petraea* türlerinde en yüksek değer sırası ile Kasım ve Eylül aylarında görülür iken en düşük Haziran ayında olduğu belirlenmiştir. Mikroeklembacaklıların miktar ve çeşitliliklerini etkileyen en önemli faktörler nem ve ölü örtü kalitesidir (Çakır ve Makineci, 2018). Belgrad ormanında ilkbahar ve sonbahar dönemi yağışlı geçmekte ve toprak nemi artmaktadır bu durum mikroeklembacaklıların miktar ve çeşitliliğini etkilemektedir. Ayrıca ölü örtü dökümünün yoğun olduğu Ekim ve Kasım ayları da mikroeklembacaklı miktarında artışa neden olmaktadır (Çakır, 2013).

Şekil 1 incelendiğinde ortalama en yüksek değerin *P. sylvestris* türünde olduğu ve onu takiben *Fagus orientalis*'in geldiği görülmektedir. En düşük değere ise *Abies cilicica* sahiptir. Standart sapma çubukları türlerin en yüksek ve en düşük almış olduğu değerleri göstermektedir (Şekil 1).



Şekil 1. Farklı ağaç türleri altındaki toprak mikroeklembacaklılarından elde edilen QBS-ar değerleri. Kutuların üstünde yer alan °, aşırı değeri, içerisinde yer alan x: ortanca değeri, çubuklar ise en alt ve en üst değerleri göstermektedir

Ağaç türlerine ait veriler incelendiğinde: *Abies* türleri arasında en yüksek QBS-ar değerine sahip olan *Abies nordmanniana*'nın en fazla ölüörtü kütlesine sahip olduğu görülmektedir. Benzer olarak *Pinus* türleri arasında da QBS-ar değeri yüksek olan *Pinus sylvestris*'inde *P. nigra*'ya kıyasla daha fazla ölüörtü kütlesine sahip olduğu görülmektedir (Çakır ve Makineci, 2013; Çakır ve Makineci, 2015). *Fagus* ve *Quercus* türleri arasında da benzer olarak ölüörtü kütlesi yüksek olan *Fagus orientalis*'in yüksek QBS-ar değerine sahip olduğu görülmektedir (Çakır ve Makineci, 2019). Benzer bir ilişki QBS-ar ile Shannon-Weiner çeşitlilik indeksi arasında da olduğu görülmektedir. QBS-ar değerinin yüksek olduğu türlerin Shannon-Weiner çeşitlilik indeksi de yüksektir. Galli ve ark. (2014) Shannon çeşitlilik indeksi ile QBS-ar arasında yüksek korelasyon ($r=0,86$) olduğunu belirtmiştir. Fakat birim alandaki mikroeklembacaklı miktarı ile QBS-ar arasında benzer bir ilişki bulunamamıştır (Çizelge 1).

Orman ekosistemlerinde ölüörtü hem toprak biyoçeşitliliğinin hem de ekosistemdeki besin döngüsünün kaynağıdır (Vogt ve ark., 1986; Gessner ve ark., 2010). Ayrıca göreceli olarak kalın bir ölüörtü, ayrışma sonucunda barındırdığı yaprak, çürüntü ve humus katmanları ile farklı ekolojik nişler yaratmakta ve bu da farklı taksonların yaşamalarına imkan vermektedir (Salmon ve ark., 2008). Çakır ve Makineci (2015) yapmış oldukları çalışmada kalın ölüörtü ile biyoçeşitlilik arasında olumlu bir ilişki bulmuşlardır. Sonuç olarak bu

durum ölüörtü miktarı ile toprak biyolojik kalitesi arasında da olumlu bir etkileşimin olduğunu göstermektedir.

4. Sonuç ve Öneriler

QBS-ar farklı ağaç türleri altında farklı toprak biyolojik kalitesi olduğunu göstermiştir. Elde edilen sonuçlara göre, plantasyonu yapılan *Pinus sylvestris* ve *Abies nordmanniana* türlerinin toprak biyolojik kalitesine etkisi Belgrad ormanının doğal türleri ile göreceli olarak aynıdır. Fakat *Abies cilicica*, *Abies borrmülleriana* ve *Pinus nigra* toprak biyolojik kalitesini doğal türlere kıyasla düşürmüştür bu neden ile ağaçlandırma çalışmalarında kullanılmaması önerilebilir. Ağaç türlerinin, ölüörtü döküm miktarları ve ölüörtü kalitesi farklı olmakla birlikte buldukları toprakları ve bu yolla mikroeklembacaklı komünitelerini etkilemektedirler. İleride yapılacak çalışmalarda QBS-ar ile ölüörtü özellikleri ve Shannon-Weiner çeşitlilik indeksi arasındaki ilişki daha detaylı incelenmelidir.

Toprak mikroeklembacaklıları ile toprağın sağlık durumunun belirlenmesi için, QBS-ar gibi hızlı ve ucuz bir yöntemin kullanılması, özellikle uzun dönem yapılacak çalışmalarda, toprak durumunun değerlendirilmesini kolaylaştıracağı gibi, ekolojik özelliklerin hesaba katıldığı bir örnekleme yöntemi ile doğal ve bozulmuş/değiştirilmiş alanların toprak biyolojik kalitesinin değerlendirilmesi için de iyi bir yöntemdir.

Kaynaklar

- Akburak, S., Oral, H.V., Ozdemir, E., Makineci, E., 2013. Temporal variations of biomass, carbon and nitrogen of roots under different tree species. *Scandinavian Journal of Forest Research*. 28, 8-16.
- Bastida, F., Zsolnay, A., Hernández, T., García, C., 2008. Past, present and future of soil quality indices: a biological perspective. *Geoderma*. 147, 159-171.
- Best, E.P.H., Haeck, J., 1984. Ecological indicators for the assessment of the quality of air, water, soil and ecosystems. D. Reidel Publishing Company, Boston.
- Binkley, D., Menyailo, O., 2005. Tree species effects on soils: implications for global change. Springer.
- Bird, S.B., Coulson, R.N., Fisher, R.F., 2004. Changes in soil and litter arthropod abundance following tree harvesting and site preparation in a loblolly pine (*Pinus taeda* L.) plantation. *Forest Ecology and Management*. 202, 195-208.
- Bünemann, E.K., Bongiorno, G., Bai, Z., Creamer, R.E., De Deyn, G., de Goede, R., Fleskens, L., Geissen, V., Kuyper, T.W., Mäder, P., 2018. Soil quality—A critical review. *Soil Biology Biochemistry*. 120, 105-125.
- Çakır, M., Makineci, E., 2013. Humus characteristics and seasonal changes of soil arthropod communities in a natural sessile oak (*Quercus petraea* L.) stand and adjacent Austrian pine (*Pinus nigra* Arnold) plantation. *Environmental Monitoring and Assessment*. 185, 8943-8955.
- Çakır, M., Makineci, E., 2015. Community Structure and Seasonal Changes of Soil Microarthropods in a Native Oak Stand and Scots Pine Plantation. *Ekoloji*. 24, 23-31.
- Coleman, D.C., Crossley, D.A., Hendrix, P.F., 2004. *Fundamentals of soil ecology*. Academic press, USA.
- Çakır, M., 2013. Toprak Eklem Bacaklılarının, Kayın ve Meşe Ekosistemindeki Mevsimsel Değişimi ve Ölü Örtü Ayrışmasına Etkileri. In: Institute of Science and Technology. PhD thesis, Istanbul University, Science Institute (in Turkish, with English summary). İstanbul.
- Çakır, M., 2018. Richness and diversity of litter and soil fauna as affected by differences in three fir species. *Bosque*. 39, 441-447.
- Çakır, M., Makineci, E., 2018. Community structure and seasonal variations of soil microarthropods during environmental changes. *Applied Soil Ecology*. 123, 313-317.
- Çakır, M., Makineci, E., 2019. Litter decomposition in pure and mixed Quercus and Fagus stands as influenced by arthropods in Belgrad Forest, Turkey. *Journal of Forestry Research*. 1-15.
- Dindal, D.L., 1990. *Soil biology guide*. Wiley, New York.
- Doran, J.W., Zeiss, M.R., 2000. Soil health and sustainability: managing the biotic component of soil quality. *Applied soil ecology*. 15, 3-11.
- Drobnik, T., Greiner, L., Keller, A., Grêt-Regamey, A., 2018. Soil quality indicators—From soil functions to ecosystem services. *Ecological indicators*. 94, 151-169.
- Erşahin, S., Öztaş, T., Namlı, A., Karahan, G., 2015. Toprak amenajmanı. Gazi Kitabevi, Ankara.
- Galli, L., Capurro, M., Menta, C., Rellini, I., 2014. Is the QBS-ar index a good tool to detect the soil quality in Mediterranean areas? A cork tree *Quercus suber* L.(Fagaceae) wood as a case of study. *Italian Journal of Zoology*. 81, 126-135.
- Gessner, M.O., Swan, C.M., Dang, C.K., McKie, B.G., Bardgett, R.D., Wall, D.H., Hättenschwiler, S.J.T.i.e., evolution, 2010. Diversity meets decomposition. 25, 372-380.
- Günal, H., Özgöz, E., Çelik, İ., Acir, N., 2015. Toprak kalitesi. In: Erşahin, S., Öztaş, T., Namlı, A., Karahan, G. (Eds.), *Toprak Amenajmanı*. Gazi Kitabevi, Ankara, pp. 111-133.
- Havlicek, E., 2012. Soil biodiversity and bioindication: from complex thinking to simple acting. *European Journal of Soil Biology*. 49, 80-84.
- Karlen, D., Mausbach, M.J., Doran, J., Cline, R., Harris, R., Schuman, G., 1997. Soil quality: a concept, definition, and framework for evaluation (a guest editorial). *Soil Science Society of America Journal* 61, 4-10.
- Lakshmi, G., Joseph, A., 2017. Soil microarthropods as indicators of soil quality of tropical home gardens in a village in Kerala, India. *Agroforestry Systems* 91, 439-450.
- Macfadyen, A., 1961. Improved funnel-type extractors for soil arthropods. *The Journal of Animal Ecology*. 30, 171-184.
- Meehan, T.D., Drumm, P.K., Schottland Farrar, R., Oral, K., Lanier, K.E., Pennington, E.A., Pennington, L.A., Stafurik, I.T., Valore, D.V., Wylie, A.D., 2006. Energetic equivalence in a soil arthropod community from an aspen–conifer forest. *Pedobiologia*. 50, 307-312.
- Nortcliff, S., 2002. Standardisation of soil quality attributes. *Agriculture, Ecosystems Environment*. 88, 161-168.
- Parisi, V., 2001. La qualità biologica del suolo. Un metodo basato sui microartropodi. *Acta naturalia de l'Ateneo Parmense*. 37, 105-114.
- Parisi, V., Menta, C., Gardi, C., Jacomini, C., Mozzanica, E., 2005. Microarthropod communities as a tool to assess soil quality and biodiversity: a new approach in Italy. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. 105, 323-333.
- Paz-Ferreiro, J., Fu, S., 2016. Biological indices for soil quality evaluation: perspectives and limitations. *Land Degradation and Development*. 27, 14-25.
- Salmon, S., Artuso, N., Frizzera, L., Zampedri, R., 2008. Relationships between soil fauna communities and humus forms: Response to forest dynamics and solar radiation. *Soil Biology and Biochemistry*. 40, 1707-1715.
- SPSS, 2011. IBM SPSS statistics base 20. SPSS Incorporated, Chicago, IL.
- Vogt, K.A., Grier, C.C., Vogt, D., 1986. Production, turnover, and nutrient dynamics of above-and belowground detritus of world forests. *Advances in ecological research*. 15, 303-378.
- Wallwork, J.A., 1970. *Ecology of soil animals*. McGraw-Hill, London.
- Wallwork, J.A., 1976. *The distribution and Diversity of Soil fauna*. Academic Press, London.

WRB, 2006. IUSS Working Group, World reference base for soil resources 2006. 2nd edition. World Soil Resources Reports No. 103. FAO, Rome.