

Karabük yöresinde farklı arazi kullanımı ve mevsimlerin karşılaştırılmasında sıçrar kuyrukluların (Collembola: Arthropoda) biyolojik gösterge olarak kullanımı

Ahmet Duyar^{a,*} 

Özet: Farklı arazi kullanımı ve mevsimsel şartlar, toprak özellikleri ve toprak kalitesi üzerinde etkili faktörlerdendir. Toprak kalitesi ölçütlerinden biyolojik göstergelerin kullanımı gün geçtikçe artmaktadır. Burada sunulan çalışmada, biyolojik göstergeler ile farklı arazi kullanımı ve mevsimin toprak biyolojik kalitesine etkisini ortaya koyulması amaçlanmıştır. Çalışmada, topraktaki Collembola miktar ve çeşitliliği ile QBS-c (Collembolalara dayalı biyolojik toprak kalitesi) indeksi kullanılmıştır. Örnekleme, ağaçlandırılmış alan, çalılık, doğal çayır ve işlenmiş topraktan dört mevsimde 3 tekerrürlü olarak yapılmıştır. Her bir alandan 5x5 cm boyutlarındaki silindirelerle toprak örnekleri alınarak ekstrakt edilmiştir. Örneklerdeki Collembolalar familya düzeyinde sınıflandırılmıştır. Collembolalar hem miktar ve biyolojik çeşitlilik bakımından hem de ekolojik morfolojik özelliklerine bağlı olarak QBS-c indeksi bakımından değerlendirilmiş ve istatistik analizler yapılmıştır. Araştırmanın sonucunda, çalışma alanında tüm arazi kullanım türlerinin yıllık ortalaması olarak 12853 birey/m² Collembola bulunmuştur. Collembola miktar ve biyoçeşitliliği üzerinde farklı arazi kullanımının etkili olmadığı tespit edilmiştir. Fakat, mevsimler arasında önemli bir farklılık olduğu belirlenmiştir. Ortalama Collembola miktarı bahar ve güz mevsiminde (20.500 birey/m²) en yüksek, yazın ise (2761 birey/m²) en düşük bulunmuştur. QBS-c indeks değerleri farklı arazi kullanımı arasında benzer olmasına rağmen, mevsimsel olarak farklılıklar göstermiştir. Bu çalışmada, QBS-c indeksi değeri ile Collembolaların miktar ve biyoçeşitlilik değerleri toprak kalite göstergesi olarak benzer sonuçlar vermiştir ve birbirlerinin yerine kullanılabilir niteliktedir. QBS-c indeksi örnek içerisindeki tüm bireyleri saymayı gerektirmeyen daha kolay bir yöntem olduğundan, pratik uygulamalar için önerilebilir.

Anahtar Kelimeler: QBS-c, Biyoçeşitlilik, Ağaçlandırma, Mevsim, Eklem Bacaklılar

The use of collembolans (Collembola: Arthropoda) as a biological indicator in comparison of different land use and seasons in Karabük

Abstract: Land use types and seasonal conditions are effective factors on soil properties and soil quality. One of the criteria of soil quality is biological indicators. The effects of different land use types and seasonal changes on soil biological quality have been investigated with biological indicators. For this purpose, the amount and biodiversity of Collembola in the soil and the QBS-c index (Soil Biological Quality Index based on Collembolans) were used. For this purpose, three replications samplings were carried out for 4 seasons from the area representing 4 different land use types, consisting of afforested area, bush area, natural meadow area and tillage area in the Kılavuzlar village, Karabük. Soil samples were taken with 5x5 cm cylinders and extracted. Collembolans in the examples are classified at the family level. Collembolans were evaluated in terms of amount and biodiversity as well as the QBS-c index depending on their ecological morphological properties and statistical analyzes were performed. As a result of the research, an annual average of 12853 individuals/m² Collembola was found in the study area. Different land use types did not affect amount and biodiversity of Collembola. The average amount of Collembola is the highest in spring and autumn (20,500 individuals/m²) and the lowest in summer (2761 individuals/m²) and is significantly different. Although the QBS-c index value is similar among land use types, it was found to be seasonally different. In this study, the QBS-c index value and the quantity and biodiversity values of Collembolans gave similar results as soil quality indicators and are interchangeable. Since the QBS-c index is an easier method that does not require counting all individuals in the sample, it can be recommended for practical applications.

Keywords: QBS-c, Biodiversity, Afforestation, Season, Arthropoda

1. Giriş

Toprak kalitesinin ve kullanımının sürdürülebilirliğini değerlendirmede son yıllarda biyolojik göstergeler birçok araştırmada kullanılmaktadır (Nortcliff, 2002). Biyolojik göstergeler kabul edilen toprak omurgasız topluluklarını tanımlamak için, incelenen temel özellikler miktar ve biyoçeşitlilik indeksleridir. Ancak bu indeksler istilacı ve

nadir taksonların miktarlarından olumsuz yönde etkilenebilmektedir (Santorufu vd., 2012). Bu olumsuzlukların ortadan kaldırılması amacıyla, toprak omurgasız faunasının toprağa adaptasyon derecesini temel alan çeşitli Biyolojik Toprak Kalite (QBS) “Qualità Biologica del Suolo” indeksleri önerilmektedir. Faunanın toprağa adaptasyon derecesine odaklanmak, tür düzeyinde karmaşık taksonomik tanımlamalara ihtiyaç

✉ ^a Karabük Üniversitesi, Orman Fakültesi, Orman Mühendisliği Bölümü, Karabük, Türkiye

@ ^{*} **Corresponding author** (İletişim yazarı): ahmetduyar@karabuk.edu.tr

✓ **Received** (Geliş tarihi): 20.04.2020, **Accepted** (Kabul tarihi): 07.07.2020



Citation (Atıf): Duyar, A., 2020. Karabük yöresinde farklı arazi kullanımı ve mevsimlerin karşılaştırılmasında sıçrar kuyrukluların (Collembola: Arthropoda) biyolojik gösterge olarak kullanımı. Turkish Journal of Forestry, 21(3): 224-230.

DOI: [10.18182/tjf.724012](https://doi.org/10.18182/tjf.724012)

bırakmamaktadır. Bu da QBS analizinin uzman olmayanlar tarafından da kullanılabilmesi anlamına gelmektedir (Parisi, 2001). QBS indeksleri, toprak biyolojik kalitesini temsil edebilme yeteneğine sahip, gösterge niteliğinde seçilen canlı grubuna göre adlandırılmaktadır. Birçok çalışmada, QBS-ar eklemcabaklılara (arthropoda; -ar) (Parisi vd., 2005), QBS-e toprak solucanlarına (earthworms; -e) (Fusaro vd., 2018) ve QBS-c kuyrukla sıçrayanlara (Collembola; -c) (Parisi ve Menta, 2008) dayanan biyolojik toprak kalite indeksleri olarak kullanılmıştır.

Toprakta yaşayan Collembolalar dünya üzerinde oldukça yaygındır ve ekolojik olarak iyi adapte olmuşlardır. Collembolalar, toprak mezo faunası içerisinde en çok sayıda bulunan taksonomik gruplardan biridir (Neher ve Barbercheck, 1999). Genellikle toprak mikro eklemcabaklılarının % 20-50'sini oluştururlar ve farklı yaşam alanlarında yaklaşık 30.000 ila 60.000 birey/m²lik yoğunlukta bulunabilirler (Duyar, 2018) Bazen birkaç hektar alan içinde 60 kadar farklı türe rastlanılabilmektedir (Petersen ve Luxton, 1982). Collembolalar, toprağın kimyasal bileşeni (Cassagne vd., 2003), asiditesi (Ponge, 2000) ve nem oranı (Duyar ve Makineci, 2016) gibi mikro yaşam koşullarındaki değişikliklere oldukça hızlı tepki verirler. Bu nedenle genellikle toprak kalitesi ve toprak sağlığı değişikliklerin biyolojik göstergesi olarak önerilmektedir (Frampton, 1997). Bazı yazarlar, Collembolaları toprak biyolojik kalite indeksi (QBS-c) olarak başarılı bulmuş ve kullanımını önermiştir (Parisi 2001; Gardi vd., 2002; Parisi vd., 2005).

Tarım ve ormancılıkta toprak asli kaynak ve sermayedir. Toprak dünyamızdaki en heterojen ekosistemlerden biridir (Santorufu vd., 2012). Farklı arazi kullanım türlerinin (Giller vd.,1997) ve mevsimsel şartların (Parisi ve Menta, 2008) toprak canlılarının faaliyetleri ve çeşitliliği üzerinde önemli bir etkisi vardır. Ayrıca, arazi kullanım türlerinin toprak kalitesi üzerindeki etkisine ilişkin bilgiler artmaktadır (Oliveira Filho vd., 2016). Arazi kullanım türleri, toprak organizmaları için bir yaşam alanı oluşturan toprağın agregat yapısını etkilemektedir (Çelebi, 1970). Topraklar ormandan tarım alanına dönüşerek doğal yapıdan uzaklaştıkça biyolojik gösterge değerleri de düşmektedir (Menta vd., 2018). Toprak üzerinde ölü örtü oluşturabilen ormanlık alanlar ile çayır alanların topraktaki besin döngüsüne katkısı farklıdır (Kostenko, 2018). Toprağa giren organik madde miktarı değişeceği için; toprağın bazı kimyasal ve fiziksel özellikleri de değişebilecektir (Fusaro vd., 2018). Toprağın sunduğu ekosistem hizmetlerinin verimliliğinin izlenmesi için toprak kalitesinin kolay ve hızlı bir şekilde değerlendirilmesine imkân veren kaynakların mevcudiyeti birincil önem kazanmaktadır (Doran ve Zeiss, 2000; Paoletti vd., 2009). Toprak kalitesi, değerlendirmenin ölçeğine ve amacına bağlı olarak kimyasal, fiziksel, biyolojik parametreler içeren çok sayıda gösterge ile değerlendirilebilir (Gardi vd., 2002; Solida vd., 2015).

Mevsime bağlı olarak değişen nem ve sıcaklık, toprak mikro iklimini ve mezo fauna faaliyetlerini etkilemektedir (Wang ve Ruan, 2011). Ayrıca, arazi kullanım türleri de, mezo fauna topluluklarının yapısı ve çeşitliliğinde önemli değişikliklere yol açabilmektedir (Twardowski vd., 2016). Çoğunluğu eklemcabaklı şubesi taksonlarından oluşan bu canlılar, organik maddelerin ayrıştırılmasında farklı trofik seviyelerde yer alırlar. Collembolalar, genel olarak birincil ayrıştırıcılar olarak değil, esas olarak toprak besin ağının mikro flora düzenleyicileri olarak, ölü organik madde

ayrışmasını artırır veya inhibe ederler (Seastedt, 1984). Collembolaların patojenik mantarları yiyerek tükettikleri de bilinmektedir (Neher ve Barbercheck,1999). Dolayısıyla bir çeşit biyolojik mücadele ajanı rolü üstlenirler.

Biyolojik parametreler toprak kalite göstergesi olarak uluslararası çalışmalarda yaygın olarak kullanılmasına rağmen bu tür çalışmalar Türkiye’de sınırlı sayıdadır. Ayrıca farklı arazi kullanımlarının ve mevsimsel değişimlerin biyolojik parametreler üzerindeki etkilerine ait yeterince ulusal çalışma bulunmamaktadır. Biyolojik parametrelerin toprak kalite göstergesi olarak kullanılmasına yönelik yapılacak ulusal çalışmalar, bu bilim alanının Türkiye’de uygulanabilirliği açısından yararlı olacaktır.

Bu çalışmada, ağaçlandırılmış alan, çalılık, doğal çayır ve işlenmiş toprak gibi farklı arazi kullanım türlerindeki arazilerde toprak kalitesinin biyolojik göstergelerle belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla, aşağıdaki hipotezler test edilmiştir:

- 1- Arazi kullanım türü toprakta yaşayan Collembolanın miktarı ve çeşitliliği üzerinde etkilidir.
- 2- Mevsimsel değişim toprakta yaşayan Collembolanın miktarı ve çeşitliliği üzerinde etkilidir.
- 3- Toprak ortamındaki değişiklikler, farklı ekomorfolojik tiplerdeki Collembola taksonlarının varlığına dayanan (QBS-c) biyolojik kalite indeksinin kullanılması ile toprak kalitesinin tahminini sağlayabilir.

Bunun için Karabük’te farklı arazi kullanım türleri ve mevsimsel değişimlerin neden olduğu toprak özellik değişiklikleri göz önünde bulundurularak toprakta yaşayan Collembolaların miktar ve çeşitliliği araştırılmıştır.

2. Materyal ve metod

2.1. Çalışma alanı

Çalışma alanı, Karabük ili merkez köylerinden Kılavuzlar Köyü mevkiinde ve 41°11'46"N 32°38'52"E ile 41°12'33"N 32°39'47"E koordinatları arasındaki sahadır. Çalışma alanı düz ve hafif meyilli (<%10) bir arazi yapısına sahiptir. Denizden ortalama yükseltisi 350 m ve genel bakışı kuzeydir. Çalışmada farklı arazi kullanım tiplerini örnekleyebilmek için, ağaçlandırılmış alan, çalılık, toprak işlenmesi yapılmış arazi ve doğal çayırdan oluşan 4 farklı arazi kullanım türü seçilmiştir. Ağaçlandırılmış alan; karaçam ve sedir türlerinden kurulu göğüs çapı 4 - 8 cm olan ağaçlandırma sahasıdır. Çalılık; peyzaj amaçlı oluşturulmuş sürüngen ardıç, ilex ve lavanta gruplarıdır. Toprak işlenmesi yapılmış arazi; geniş aralıklı bodur ağaçlardan kurulu meyve bahçesinde ot kontrolü amacıyla traktörle sürülmüş açıklık alanlardır. Doğal çayır; en az 10 yıldır tarım veya hayvancılık yapılmayan doğal çimenlik alanıdır.

Yöreyle ait iklim verileri, Meteoroloji Genel Müdürlüğü (MGM) Karabük Meteoroloji İstasyonunun 1981 -2010 yılları aralığına ait uzun yıllar ortalamalarıdır (Çizelge 1). Çalışma alanının iklimi yarı karasal bir özellikte olup en soğuk ay Ocak (2,9°C), en sıcak ay ise Temmuzdur (24°C). Bahar ve güz mevsiminin ortalama sıcaklıkları oldukça yakındır (≈13°C). Her mevsim yağışlı olsa da bahar en yağışlı mevsimdir (MGM, 2020). Çalılık alan yazın damlama sulama sistemi ile sulanmasına rağmen, diğer arazi kullanım türlerinde her hangi bir sulama sistemi bulunmamaktadır.

Çizelge 1. Çalışma alanına ait ortalama iklim verileri (MGM, 2020)

| Ortalama iklim verileri | Kış | Bahar | Yaz | Güz | Yıllık |
|------------------------------|-------|-------|------|-------|--------|
| Sıcaklık (°C) | 4,0 | 12,5 | 23,0 | 13,8 | 13,3 |
| En yüksek sıcaklık (°C) | 9,0 | 20,1 | 31,5 | 21,5 | 20,5 |
| En düşük sıcaklık (°C) | 0,4 | 6,5 | 15,7 | 8,6 | 7,8 |
| Mevsimlik yağış miktarı (mm) | 131,1 | 156,2 | 92,7 | 117,0 | 497 |

2.2. Toprak özellikleri

Her bir farklı arazi kullanım tipini temsil edecek noktalardan 0-5 cm üst mineral toprak tabakasından her mevsim üçer örnek alınarak bazı toprak özellikleri tespit edilmiştir. Toprak reaksiyonu (pH) ve elektriksel iletkenlik (EC) 1/2,5 oranında toprak/su oranında pH/EC metre ile ölçülmüştür (Jackson, 1979). Toprak tekstürü Bouyoucos hidrometre yöntemiyle; toprak türü ise uluslararası tane çapları üçgenine göre belirlenmiştir (Bouyoucos, 1951). Toprak hacim ağırlığı ve nem oranı hacim silindiriyle alınan toprak örneklerinin taze ve kuru (105°C ve sabit ağırlığa kadar kurutulmuş) ağırlıklarına dayanarak bulunmuştur (Gülçür, 1974). Analiz sonuçlarına göre, çalışma alanının toprağı taşsızdır. Toprak taneciklerinin oranı kum %27, toz %32 ve kil %41 olup, uluslararası toprak üçgenine göre toprak türü killi topraktır. Ortalama taze toprak hacim ağırlığı 1485 g/l, kuru toprak hacim ağırlığı 1211 g/l, nem oranı %52, pH 7,3 ve elektriksel iletkenlik 637 µSiemens'tir.

2.3. QBS analizi için örneklerin alınması

QBS değerlerini elde etmek için ana fazlar şunlardır: 1) örneklerin alınması; 2) faunanın çıkartılması; 3) elde edilen örneklerin korunması; 4) biyolojik formların belirlenmesi; 5) QBS indeksinin hesaplanmasıdır (Parisi vd., 2005).

Örnekler dört farklı arazi kullanım tipini temsil eden birer parsel içerisinden alınmıştır. Deneme deseni, dört farklı arazi kullanım tipinde, dört mevsimde, üç tekerrürlü rastgele örnekleme olarak uygulanmıştır. Örnekleme yapıldığı aylar ocak, nisan, temmuz ve ekim aylarıdır. Örnekler bu ayların son haftalarında saat 10-12 arasında alınmıştır.

Collembolaların örnekleneceği toprakları almak için, keskin kenarlı metal silindirler (5 cm çap, 5 cm derinlik) kullanılmıştır. Numuneler silindirlerle birlikte naylon filme sarılarak, plastik torbalarda toplandı ve daha sonra laboratuvarından taşındı. Toprak eklembecaklıklarının çıkarılması değiştirilmiş Tullgren hunilerinde gerçekleştirilmiştir. Her numune altı gün süreyle ekstrakt edildi. Ekstraksiyondan sonra, Collembolalar bir stereo mikroskop altında sayılmış ve %75 etil alkol içinde korunmuştur. Bireyler mevcut teşhis anahtarları esas alınarak bir stereo zoom mikroskop altında familya düzeyinde tanımlanmıştır (Bei-Bienko vd., 1967; Dindal, 1990; Fjellberg, 2007).

2.4. QBS analizi

QBS analizi, omurgasız toprak faunasının toprak ortamlarına adaptasyonunu ortaya koyan morfolojik karakterlerinin değerlendirilmesi ile gerçekleştirilir. Gösterge fauna grubunun toprak içerisindeki ekosisteme uyum düzeyleri Ekolojik Morfolojik Form İndeksi (EMI) ile ifade edilmektedir. İlgili fauna için oluşturulan uyum

kriterlerine göre toprak içerisinde yaşamaya en iyi adapte olmuş form en yüksek puanı alırken en az uyum gösteren en düşük puanı almaktadır (Parisi, 2001).

Toprağın ekstraksiyonundan sonra Collembola familyaları ekolojik morfolojik taksonlara ayrılarak, sınıflandırılmıştır. Her familya için ekomorfolojik formuna uygun 0 (adaptasyon yok) ile 40 (maksimum adaptasyon) arasında değişen farklı birer EMI değeri hesaplanmıştır. Her bir örnekte tanımlanan biyolojik formlarla ilişkili tüm EMI değerlerinin toplamı, QBS-c değerini oluşturmaktadır (Parisi ve Menta, 2008).

2.5. Biyolojik indeksler ve veri analizi

Collembola topluluğu toprak biyoçeşitliliği ve kalite indeksleri kullanılarak analiz edilmiştir. Örneklerdeki taksonların birey sayıları (N) birey/m² ve toplum içerisinde bulunma yüzde oranları baskınlık oranı (B) olarak değerlendirilmiştir. Toplanan örneklerin biyolojik çeşitliliğini değerlendirmek için Shannon çeşitlilik indeksinin (H') yanı sıra, gözlenen takson sayısını ifade eden taksonomik zenginlik (S') ve örnek içerisindeki taksonların oransal ağırlıklı ortalamasını ifade eden Simpson indeksi (D') kullanılmıştır (Gülsoy ve Özkan, 2008). Toprağın biyolojik kalite göstergesi olarak da QBS-Collembola indeksi (QBS-c) (Parisi ve Menta, 2008) kullanılmıştır. Elde edilen veriler arazi kullanım türleri ve mevsimlere dağılımları bakımından SPSS istatistik programı ile analiz edilmiştir. Taksonların arazi kullanım türleri ve mevsimlere dağılımları ANOVA, varyans analizinde önemli fark bulunan parametrelerin ortalamalarının karşılaştırılması Duncan testi ve toplum içerisindeki oranları yüzde analizleri ile belirlenmiştir. Ayrıca miktar ve QBS-c indekslerinin mevsimlik olarak arazi kullanım türlerine göre değişimleri grafikler ile incelenmiştir.

3. Bulgular

3.1. Collembolaların miktarı ve biyoçeşitliliği

Çalışma alanındaki örnekler yedi farklı Collembola familyasını içermekte olup, Collembolaların yıllık ortalama sayısı 12853 birey/m² olup, miktarlarının mevsimlik değişimi anlamlıdır (P<0,001). Miktar ve çeşitlilikleri mevsimlere göre değerlendirilirken, miktarlar en fazladan en aza doğru bahar (21218 birey/m²), güz (20068 birey/m²), kış (7364 birey/m²) ve yaz mevsimi (2761 birey/m²) olarak sıralanmaktadır. Toplum içerisinde en baskın familyalar Onychiuridae (%35) ve Isotomidae (%25) iken, en az yer alan familyalar Sminthuridae (%4) ve Tomoceridae (<%1) olmuştur. Biyolojik çeşitlilik indeksleri de benzer bir dağılım göstermekte olup, H' çeşitliliği baharda 1,2 iken yazda 0,51'e; takson zenginliği (S') 5,08'den 1,75'e kadar düşmüştür (Çizelge 2). Çalışma alanındaki Collembolalar için en uygun mevsim bahar olurken en olumsuz mevsim yaz olarak ortaya çıkmaktadır. Taksonların bulunma sayıları ve baskınlık oranları mevsimlere bağlı olarak değişmektedir. Toprak altı şartlarına en iyi adapte olmuş familya olan Onychiuridae, tüm mevsimlerde en fazla sayı ile en baskın familya iken; sıcaklığın arttığı, yağış ve toprak neminin azaldığı yaz mevsiminde en düşük birey sayısı ve en az orana inmiştir. Yaz mevsiminin en baskın familyası, toprak şartlarına orta düzeyde uyum sağlayan Isotomidae (B= %57) olmuştur (Çizelge 2).

Toplam Collembola miktarı farklı arazi kullanımları arasında istatistiksel olarak anlamlı farklılıklar ($P=0,216$) göstermemekle beraber, Collembola familyalarının miktar ve çeşitliliği bazılarında (Onychiuridae ve Hypogastruridae) anlamlı farklılıklar göstermiştir (Çizelge 3). Örneğin Collembola familyalarının miktar ve çeşitliliği arazi kullanım türlerine göre kısmi değişiklikler göstermiştir. Collembolaların ortalama miktarı çayırık alanda en yüksek (17905 birey/m²) iken, çalılık alanda en az (7548 birey/m²) bulunmuştur. Onychiuridae familyasının miktarı arazi kullanım türleri arasında önemli ($P<0,005$) farklıdır. En yüksek baskınlık oranı işlenmiş toprakta %52 iken, çalılık alanda %11'e düşmektedir. Çalılık alanda baskınlık %41 oranla Isotomidae familyasına geçmiştir. Hypogastruridae familyası da arazi kullanım türlerine göre istatistiksel farklıdır ($P=0,027$). $N= 4465$ birey/m² miktar ve %25 baskınlık oranı ile çayırık alanda diğer alanlardan oldukça yüksek oranla ($B\approx 21$) fazladır. Diğer familyalar her ne kadar arazi kullanım türleri arasında istatistiksel farklılıklar

göstermese de hem miktar hem de baskınlık oranları bakımından belirgin farklılıklar göstermektedir. Örneğin Entomobryidae familyası ağaçlandırılmış alanda %34 baskınlık oranına sahip olduğu halde diğer alanlarda en yüksek %23 oranına ulaşmaktadır. Diğer familyalarda da benzeri değişimleri görmek mümkündür. Arazi kullanım türleri biyolojik çeşitlilik indeksleri bakımından ele alındığında ($P<0,05$) düzeyinde önemli farklı değildir. Yine de en yüksek biyolojik çeşitlilik indeksleri ağaçlandırılmış alanda ($H'=1,12$; $S'= 4,33$ ve $D'= 0,58$), en düşük indeks değerleri de işlenmiş alanda ($H'=0,65$; $S'= 3,0$ ve $D'= 0,35$) bulunmuştur (Çizelge 3).

Collembola miktarlarının mevsim ve arazi kullanımına göre değişimini ifade eden Şekil 1'e göre, en düşük birey sayısı yaz mevsimi dışındaki tüm mevsimlerde çalılık alanda belirlenmiştir. Çalılık dışında kalan diğer üç arazi kullanım biçiminde Collembola miktarları sonbahar dışındaki mevsimlerde belirgin olarak birbirine yakındır.

Çizelge 2. Collembolaların mevsimlere göre miktarı ve çeşitliliği

| Familyalar | Mevsim | | | | | | | | | | | |
|-----------------|--------|-----|-------|-----|------|-----|-------|-----|-------------------|-----|-------|-------|
| | Kış | | Bahar | | Yaz | | Güz | | Mevsimler toplamı | | | |
| | N* | B | N | B | N | B | N | B | N | B | P | |
| Onychiuridae | 2531 | 34 | 8285 | 39 | 46 | 2 | 6951 | 35 | 4453+7000 | 35 | 0,009 | |
| Hypogastruridae | 644 | 9 | 1841 | 9 | 230 | 8 | 3268 | 16 | 1496+4040 | 12 | 0,254 | |
| Entomobryidae | 1979 | 27 | 3774 | 18 | 552 | 20 | 3636 | 18 | 2485+3582 | 19 | 0,084 | |
| Isotomidae | 1979 | 27 | 5569 | 26 | 1565 | 57 | 3636 | 18 | 3187+4405 | 25 | 0,100 | |
| Tomoceridae | 0 | 0 | 230 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 58+327 | 0 | 0,218 | |
| Neelidae | 230 | 3 | 920 | 4 | 276 | 10 | 1150 | 6 | 644+824 | 5 | 0,007 | |
| Sminthuridae | 0 | 0 | 598 | 3 | 92 | 3 | 1427 | 7 | 529+1093 | 4 | 0,003 | |
| Toplam | 7364 | 100 | 21218 | 100 | 2761 | 100 | 20068 | 100 | 12853 | 100 | 0,000 | |
| H' | 0,83 | | 1,20 | | 0,51 | | 0,99 | | 0,88+0,47 | | | 0,002 |
| S' | 2,83 | | 5,08 | | 1,75 | | 4,50 | | 3,54+1,88 | | | 0,001 |
| D' | 0,48 | | 0,61 | | 0,31 | | 0,50 | | 0,78+0,24 | | | 0,016 |

*Biyolojik indeksler: N - birey sayısı (birey/m²), B - Baskınlık oranı (%), H' - Shannon Wiener indeksi, S' - Taksonomik zenginlik, D' - Simpson indeksi.

Çizelge 3. Collembolaların arazi kullanım türlerine bağlı miktarı ve çeşitliliği

| Familyalar | Arazi kullanım türleri | | | | | | | | | | | |
|-----------------|------------------------|-----|---------|-----|--------------|-----|-------|-----|-----------------|-----|-------|-------|
| | İşlenmiş | | Çalılık | | Ağaçlandırma | | Çayır | | Alanlar toplamı | | | |
| | N* | B | N | B | N | B | N | B | N | B | P | |
| Onychiuridae | 7181 | 52 | 828 | 11 | 2255 | 19 | 7549 | 42 | 4453+7000 | 35 | 0,030 | |
| Hypogastruridae | 598 | 4 | 184 | 2 | 736 | 6 | 4465 | 25 | 1496+4040 | 12 | 0,027 | |
| Entomobryidae | 1335 | 10 | 1703 | 23 | 4143 | 34 | 2761 | 15 | 2485+3582 | 19 | 0,219 | |
| Isotomidae | 3820 | 28 | 3130 | 41 | 3130 | 26 | 2669 | 15 | 3187+4405 | 25 | 0,941 | |
| Tomoceridae | 0 | 0 | 0 | 0 | 230 | 2 | 0 | 0 | 58+327 | 0 | 0,218 | |
| Neelidae | 598 | 4 | 1150 | 15 | 506 | 4 | 322 | 2 | 644+824 | 5 | 0,076 | |
| Sminthuridae | 276 | 2 | 552 | 7 | 1151 | 9 | 138 | 1 | 529+1093 | 4 | 0,104 | |
| Toplam | 13808 | 100 | 7548 | 100 | 12151 | 100 | 17905 | 100 | 12853 | 100 | 0,216 | |
| H' | 0,65 | | 0,92 | | 1,12 | | 0,84 | | 0,88+0,47 | | | 0,102 |
| S' | 3,00 | | 3,33 | | 4,33 | | 3,50 | | 3,54+1,88 | | | 0,359 |
| D' | 0,35 | | 0,52 | | 0,58 | | 0,45 | | 0,78+0,24 | | | 0,107 |

*Biyolojik indeksler: N - birey sayısı (birey/m²), B - Baskınlık oranı (%), H' - Shannon - Wiener indeksi, S' - Taksonomik zenginlik, D' - Simpson indeksi.

3.2. QBS-c indeksine göre toprak kalitesi

Çalışma alanından elde edilen Collembola familyalarının morfolojik değerlendirmeleri sonucunda, 1 ile 36 arasında değişen EMI değerlerine sahip oldukları belirlenmiştir (Çizelge 4). Toprak altında yaşama şartlarına en uygun taksonlar EMI değerleri yüksek olan Onychiuridae ve Neelidae familyalarıyken, Sminthuridae ve Tomoceridae familyaları daha çok toprak yüzeyinde yaşamaya uygun özelliktedirler (Çizelge 4).

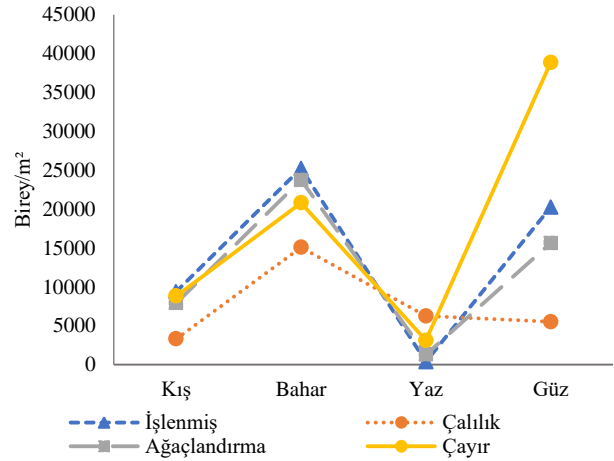
Örneklerdeki Collembola familyalarının EMI değerlerinin toplamından meydana gelen QBS-c indeksleri oluşturularak, mevsim ve arazi kullanımlarına bağlı değişimleri Şekil 2'de incelenmiştir. En düşük QBS-c değeri işlenmiş alanda yaz mevsiminde (11), en yüksek değer ise ağaçlandırma alanında bahar mevsiminde (110) bulunmuştur. Çalışma alanının QBS-c yıllık genel ortalaması ise 66 olmuştur. QBS-c değerleri arazi kullanım türleri bakımından değerlendirildiğinde, en yüksek QBS-c ağaçlandırma alanında 73, en düşük ise çalılık alanda 60 olarak bulunmuş (Şekil 2) olup, ANOVA F değeri 0,289 ve $P=0,833$ olduğu için de aralarında önemli farklılık yoktur. Fakat QBS-c değerlerinin mevsimsel değişimi incelendiğinde, ANOVA F değeri 16,9 ve $P<0,001$ olup, mevsimler arasında önemli farklılık olduğu anlaşılmaktadır (Çizelge 5). QBS-c değerlerinin mevsimlik ortalamaları bahar 95, güz 83, kış 56 ve yaz 29 şeklinde sıralanmaktadır (Şekil 2).

3.3. Habitat özellikleri ve biyolojik indeksler

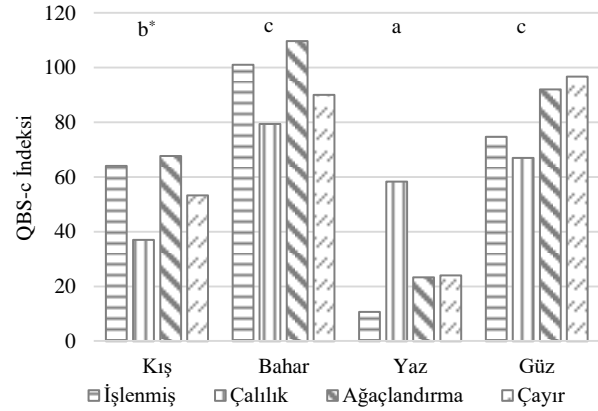
Mevsimsel yağış miktarı, biyolojik indekslerin tümünü olumlu yönde etkilemiştir ve topraktaki yaşamı etkileyen en önemli faktör olarak ortaya çıkmıştır (Çizelge 6). QBS-c indeksi yağış miktarı ve toprak nemi ile pozitif ilişkili olduğu halde, sıcaklıkla negatif ilişkilidir. Shannon - Wiener indeksi yağış miktarının yanı sıra toprak pH değerinden olumlu etkilenmiştir (Çizelge 6).

Çizelge 4. Toprak örneklerinde tanımlanan Collembola familyalarının EMI değerleri

| Familiya | EMI Değeri |
|-----------------|------------|
| Onychiuridae | 36 |
| Neelidae | 29 |
| Hypogastruridae | 16 |
| Isotomidae | 16 |
| Entomobryidae | 4 |
| Sminthuridae | 2 |
| Tomoceridae | 1 |



Şekil 1. Collembola miktarlarının arazi kullanım türleri ve mevsimlere göre karşılaştırılması



Şekil 2. Arazi kullanım türlerine ait QBS-c indekslerinin mevsimsel karşılaştırılması (* aynı harfli mevsimler istatistiki olarak benzerdir).

Çizelge 5. QBS-c indeksine ait varyans analizi

| Faktörler | Varyans kaynağı | Kareler toplamı | Serbestlik derecesi | Kareler ortalaması | F | P |
|------------------------|-----------------|-----------------|---------------------|--------------------|--------|-------|
| Mevsimler | Gruplar arası | 31059,083 | 3 | 10353,028 | 16,941 | 0,000 |
| | Grup içi | 26888,833 | 44 | 611,110 | | |
| | Toplam | 57947,917 | 47 | | | |
| Arazi kullanım türleri | Gruplar arası | 1120,417 | 3 | 373,472 | 0,289 | 0,833 |
| | Grup içi | 56827,500 | 44 | 1291,534 | | |
| | Toplam | 57947,917 | 47 | | | |

Çizelge 6. Habitat özellikleri ile biyolojik indeks değerlerinin ilişkisi

| | N* | QBS-c | H' | S' | D' |
|--------------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Mevsim | 0,183 | 0,049 | -0,044 | 0,100 | -0,106 |
| Arazi kullanımı | 0,157 | 0,074 | 0,184 | 0,150 | 0,165 |
| Mevsim ortalama sıcaklığı (°C) | -0,162 | -0,305* | -0,269 | -0,241 | -0,277 |
| Mevsimlik yağış toplamı (mm) | 0,448** | 0,594** | 0,479** | 0,549** | 0,431** |
| Toprak hacim ağırlığı (g/l) | 0,016 | -0,047 | 0,025 | -0,067 | 0,027 |
| Toprak nemi (%) | 0,160 | 0,324* | 0,196 | 0,243 | 0,232 |
| Toprak gözenekliliği (%) | -0,016 | 0,047 | -0,025 | 0,067 | -0,027 |
| Kum (%) | -0,234 | -0,060 | 0,117 | -0,007 | 0,176 |
| Kil (%) | 0,241 | 0,043 | -0,161 | -0,027 | -0,215 |
| Toz (%) | 0,164 | 0,114 | 0,075 | 0,141 | 0,011 |
| Toprak pH | 0,092 | 0,136 | 0,328* | 0,250 | 0,236 |
| Toprak EC | -0,258 | -0,083 | 0,046 | -0,061 | 0,109 |

* Biyolojik indeksler: N - birey sayısı, QBS-c Collembolalara dayalı biyolojik toprak kalitesi indeksi, H' - Shannon - Wiener indeksi, S' - Taksonomik zenginlik, D' - Simpson indeksi.

4. Tartışma ve sonuç

Farklı arazi kullanımı ve mevsimlerin Collembolaların miktar ve çeşitliliği üzerindeki etkisinin araştırıldığı bu çalışmada, mevsimsel değişikliklerin Collembolaların miktar ve çeşitliliği üzerinde oldukça önemli olduğu anlaşılmaktadır. Farklı arazi kullanımları arasında ise istatistiksel olarak birkaç Collembola familyasının (Onychiuridae ve Hypogastruridae) anlamlı farklılık gösterdiği, toplam Collembola miktarı bakımından önemli farklılıkların bulunmadığı tespit edilmiştir. Bununla beraber, farklı arazi kullanımlarının toplam Collembola miktarı sayısal olarak birbirinden farklılık göstermektedir. Parisi (2001) belirli bir habitattaki edafik Collembolaların miktarının daha fazla olmasını, o toprağın biyolojik kalitesinin daha iyi olduğu biçiminde ifade etmektedir. Collembolalar toprak özelliklerindeki değişimlere karşı oldukça hassastır (Santorufu vd., 2012). Collembolalar için sıcaklık ve toprak nemi önemli faktörlerdir (Parisi ve Menta, 2008). Karabük meteoroloji istasyonu verilerine göre, Collembolaların en yüksek miktarda bulunduğu bahar ve güz mevsimlerinde ortalama en yüksek sıcaklıklar $\approx 20,5^{\circ}\text{C}$ iken, nispeten daha az bulunduğu kış mevsiminde 9°C , en az bulunduğu yaz mevsiminde ise $31,5^{\circ}\text{C}$ derecedir. Bunun yanında yaz mevsiminde yağış miktarının diğer mevsimlere göre oldukça düşük olması (Çizelge 1) Collembola miktarının sıcaklık ve toprak nemi ile ilişkili olduğunu göstermektedir. Esasında çalışma alanının genelinde yaz mevsiminde Collembola miktarındaki azalmanın nedeninin sıcaklığın artması ve topraktaki nem miktarının düşmesi olarak değerlendirilmektedir. Bu çalışmadaki çalılık alan bu ilişkiyi kanıtlar niteliktedir. Çünkü burası örnek alanlar içerisinde yaz mevsiminde sulanma imkânı olan tek yerdir. Çalılık alan sulanarak yaz kuraklığını atlattığı için Collembola miktarı diğer örnek alanlardan oldukça fazla bulunmuştur. Ancak, uygun nem şartlarına rağmen, yüksek hava sıcaklığı nedeniyle bahar mevsiminin gerisinde kalmıştır. Toprak neminin azlığı kadar, aşırı sıcak ve aşırı soğuk şartlar da Collembola biyoçeşitliliğini etkilemektedir. Conti vd. (2015) tarafından gerçekleştirilen çalışmada da benzer sonuçlar bildirilmiştir. Edafik şartlara iyi uyum sağlamış Onychiuridae vb taksonlar, genel itibarıyla mikrobiyal beslenmektedir (Neher ve Barbercheck, 1999). Fungus gibi mikrobiyal canlılar da belirli nemlilik şartlarında faaliyet gösterebilmektedir (Innocenti vd., 2011).

Bogdanović ve Blesić (2011) toprak eklembecaklıklarının mevsim şartlarına göre toprak tabakaları içerisinde dikey göçler yaptıklarını belirtmektedir. Kurak dönemlerde Collembola taksonlarının miktar ve çeşitliliğinin azalmasının altında yatan faktörlerden birisi de beslenme imkânlarının azalması nedeniyle Collembolaların daha derin topraklara göç ettikleri biçiminde yorumlanabilir.

QBS-c indeksi orman ekosistemleri (Conti vd., 2015), tarım alanları (Twardowski vd., 2016) ve kentsel alanlar (Santofuro vd., 2012) gibi çeşitli arazi kullanım türlerinde toprak kalite indeksi olarak başarı ile kullanılmıştır. Bu indeks Collembolaların alandaki miktarından bağımsız olarak, örneklerde rastlanılan taksonların toprağa adaptasyon derecesini ifade eden EMI değerlerinin toplamı olduğu (Parisi ve Menta, 2008) için, miktarlara kıyasla farklı dağılımların ortaya çıkması (Conti vd., 2015) beklenmektedir. Fakat bu çalışmada, mevsim ve arazi kullanım türlerine bağlı olarak değişen QBS-c değerleri, Collembolaların miktar ve çeşitliliklerinin değişimine benzer bir dağılım sergilemiştir. QBS-c değerleri, tüm arazi kullanım türlerinde kış ve yaz mevsimlerinde düşerken, ılıman ve yağışlı geçen bahar ve güz mevsimlerinde en yüksek değerlere ulaşmaktadır. Gardi ve arkadaşları da (2006) çalışmalarında bahar ve güz mevsimlerinde diğer mevsimlerden daha yüksek QBS-c değeri buldukları için sonuçları benzerlik göstermektedir. QBS-c indeksi değerlerinin yaz mevsiminde en az bulunmasındaki temel faktörün yüksek hava sıcaklığı ve kuraklık olduğu anlaşılmaktadır. Ancak yaz mevsiminde çalılık alandaki QBS-c değerinin diğer arazi kullanım türlerine oranla artması gibi, Conti vd. (2015) kavak fidanlığında en düşük QBS-c değerini güz mevsiminde tespit etmiştir. Bu farklılığın nedeni olarak, diğer alanlarda toprak kuraklığı devam ederken, çalılıkta sulama kaynaklı daha yüksek toprak nemi olduğu düşünülmektedir. Toprakta Collembola varlığını etkileyen temel faktör toprak nemi olarak görülmesine rağmen, kış mevsimindeki değerlerin diğer mevsimlerle birlikte ele alındığında hava sıcaklığının da önemli ortaya çıkmaktadır.

Bu çalışmanın sonuçlarına göre, Karabük'te birbirine yakın ortak yetişme ortamında seçilmiş olan farklı biçimlerde kullanılan araziler arasında Collembola miktar ve çeşitliliği bakımından dikkate değer farklılık bulunmamaktadır. Arazi kullanım türleri farklı olması rağmen, arazilerin tümünün benzer edafik ve iklimik şartlar altında olması nedeniyle alanlar arasında QBS-c indeks değerleri bakımından da önemli farklılık ortaya çıkmamıştır. Buna göre, çalışma alanındaki arazi kullanım türlerinin toprak biyolojik kalite göstergeleri benzer bulunmuştur. Ancak iklim şartlarındaki mevsimsel değişimler, hem Collembolaların miktar ve çeşitliliği hem de QBS-c indeksi üzerinde anlamlı farkların oluşumunda etkili olmuştur. Bu çalışmada örneklerdeki tüm Collembola familyalarının sayılarak tasnif edilmesi esasına dayanan miktar ve biyoçeşitlilik analizleri ile familyanın örnek içerisinde var olup olmadığına dayanan QBS-c indeksi toprağın biyolojik kalite göstergesi kapsamında benzer sonuçlar vermiştir. Biyolojik toprak kalitesi belirleme çalışmalarında QBS-c indeksi örnek içerisindeki tüm bireyleri saymayı gerektirmeyen daha kolay bir yöntem olduğundan, uygulamalar için kullanılması mümkündür. Bundan sonra yapılacak çalışmalarda, örnekleme sıklıklarının ve örnek sayılarının değiştirilmesi ile biyolojik göstergelerde değişim olup olmadığı da incelenmelidir.

Kaynaklar

- Bei-Bienko, G.Y., Blagoveshchenskii, D.I., Chernova, O.A., Datsig, E.M., Emel'yanov, A.F., Kerzhner, I.M., Loginova, M.M., Martynova, E.F., 1967. Keys to Insects of the European USSR, Akademiya Nauk, USSR.
- Bogdanović, A.M., Blesić, B., 2011. Seasonal dynamics of protura in an oak forest in Kragujevac (Serbia). Kragujevac Journal of Sciences, 33: 77-82.
- Bouyoucos, G.J., 1951. A recalibration of the hydrometer for making mechanical analysis of soils. Agronomy journal, 43(9): 434-438.
- Cassagne, N., Gers, C., Gauquelin, T., 2003. Relationships between Collembola, soil chemistry and humus types in forest stands (France). Biology and Fertility of Soils, 37: 355-361.
- Conti, F.D., Gardi, C., Panzacchi, P., Ventura, M., Visioli, G., Menta, C., 2015. Biochar in soil: Effects on soil microarthropods. In Wageningen Soil Conference 2015: 'Soil Science in a Changing World', 23-27 August, Wageningen, Netherlands, p. 208.
- Çelebi, H., 1970. Kars çayır toprakları ile Sarıkamış orman topraklarının erozyona mukavemetleri üzerine bir araştırma. Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi, 1(2): 34-39.
- 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.
- Duyar, A., Makineci, E., 2016. Seasonal and altitudinal variations of soil arthropods in *Abies nordmanniana* subsp. *bormulleriana* forests. Bosque, 37(2): 335-345.
- Duyar, A., 2018. Diversity of soil micro arthropods in habitats containing different tree species in the spring season. Fresenius Environmental Bulletin, 27(12B): 9634-9641.
- Fjellberg, A., 2007. The Collembola of Fennoscandia and Denmark. Part II: Entomobryomorpha and Symphyleona. Fauna Entomol Scand. Brill.
- Frampton, G.K., 1997. The potential of Collembola as indicators of pesticide usage: Evidence and methods from the UK arable ecosystem. Pedobiologia, 41: 179-184.
- Fusaro, S., Gavinelli, F., Lazzarini, F., Paoletti, M.G., 2018. Soil Biological Quality Index based on earthworms (QBS-e). A new way to use earthworms as bioindicators in agroecosystems. Ecological Indicators, 93: 1276-1292.
- Gardi, C., Menta, C., Parisi, V., 2002. Use of microarthropods as biological indicators of soil quality: the BSQ synthetic indicator. Options Méditerranéennes, Seria A. 50: 297-304.
- Gardi, C., Menta, C., Leoni, A., 2006. Evaluation of the environmental impact of agricultural management practices using soil microarthropods. Bio-Bio Project EUR, 22245: 92-97.
- Giller, K.E., Beare, M.H., Lavelle, P., Izac, A.M.N., Swift, M.J., 1997. Agricultural intensification, soil biodiversity and agroecosystem function. Applied Soil Ecology, 6: 3-16.
- Gülçur, F., 1974. Toprağın Fiziksel ve Kimyasal Analiz Metodları. İstanbul Üniversitesi Yayınları, İstanbul.
- Gülsoy, S., Özkan, K., 2008. Tür çeşitliliğinin ekolojik açıdan önemi ve kullanılan bazı indisler. Türkiye Ormancılık Dergisi, 9(1): 168-178.
- Innocenti, G., Montanari, M., Ganassi, S., Sabatini, M.A., 2011. Does substrate water content influence the effect of Collembola-pathogenic fungus interaction on plant health? A mesocosm study. Bulletin of Insectology, 64(1): 73-76.
- Jackson, M.L., 1979. Soil chemical analysis advanced course. 2nd ed, 11th Printing, Department of Soil Science, University of Wisconsin, Madison, Wisconsin.
- Kostenko, I.V., 2018. The impact of artificial forest plantations on mountain-meadow soils of Crimea. Eurasian Soil Science, 51(5): 485-494.
- MGM, 2020. Resmi istatistikler. <https://www.mgm.gov.tr/veridegerlendirme/il-ve-ilceler-istatistik.aspx?k=H&m=KARABUK>, Erişim: 23.03.2020.
- Menta, C., Conti, F.D., Pinto, S., 2018. Microarthropods biodiversity in natural, seminatural and cultivated soils QBS-ar approach. Applied soil ecology, 123: 740-743.
- Neher, D., Barbercheck, M., 1999. Diversity and function of soil mesofauna. In: Collins W, Qualset C, editors. Biodiversity in agroecosystems. New York, NY: CRC Press, LLC, pp. 27-47.
- Nortcliff, S., 2002. Standardisation of soil quality attributes. Agriculture, Ecosystems Environment, 88: 161-168.
- Oliveira Filho, L.C.I., Klauber Filho, O., Baretta, D., Tanaka, C.A.S., Sousa, J.P., 2016. Collembola community structure as a tool to assess land use effects on soil quality. Revista Brasileira de Ciência do Solo, 40: 1-18.
- Paoletti, M.G., D'Inca, A., Tonin, E., Tonon, S., Migliorini, C., Petruzzelli, G., Sommaggio, D., 2009. Soil invertebrates as bio-indicators in a natural area converted from agricultural use: the case study of Valvecchia-Lugugnana in north-eastern Italy. Journal of sustainable Agriculture, 34(1): 38-56. DOI: 10.1080/10440040903396698
- Parisi, V., 2001. The biological soil quality, a method based on microarthropods (in Italian). Acta Naturalia de L'Ateneo Parmense, 37: 97-106.
- 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(1-2): 323-333.
- Parisi, V., Menta, C., 2008. Microarthropods of the soil: Convergence phenomena and evaluation of soil quality using QBS-ar and QBS-c. Fresenius Environmental Bulletin, 17(8 B): 1170-1174.
- Petersen, H., Luxton, M., 1982. A comparative analysis of soil fauna populations and their role in decomposition processes. Oikos, 39: 288-388.
- Ponge, J.F., 2000. Acidophilic Collembola: living fossils? Contributions from the Biological Laboratory, Kyoto University, 29(2): 65-74
- Santorufu, L., Van Gestel, C.A., Rocco, A., Maisto, G., 2012. Soil invertebrates as bioindicators of urban soil quality. Environmental Pollution, 161: 57-63.
- Seastedt, T.R., 1984. The role of microarthropods in decomposition and mineralization processes. Annual review of entomology, 29(1): 25-46.
- Solida, L., De Nicola, C., Fanfani, A., Jacomini, C., Licitra, V., Testi, A., 2015. Multi-set indicators to assess environmental quality using soil microarthropods, plants and humus. Rendiconti Lincei, 26(3): 561-569.
- Twardowski, J.P., Hurej, M., Gruss, I., 2016. Diversity and abundance of springtails (Hexapoda: Collembola) in soil under 90-year potato monoculture in relation to crop rotation. Archives of Agronomy and Soil Science, 62(8): 1158-1168.
- Wang, S., Ruan, H., 2011. Effects of soil mesofauna and microclimate on nitrogen dynamics in leaf litter decomposition along an elevation gradient. African Journal of Biotechnology, 10(35): 6732-6742.