

## Kurak Ekosistemlerde Toprak Faunasının Önemi

Meriç ÇAKIR<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Çankırı Karatekin Üniversitesi, Orman Fakültesi, Orman Mühendisliği Bölümü, ÇANKIRI

\*mericcakir@karatekin.edu.tr

### Öz

Enerji akışı ve besin maddesi döngüleri önemli ekosistem süreçleri olup bakteriler, mantarlar, nematodlar, solucanlar ve eklembacaklılar gibi toprak canlılarının aktiviteleri ile kontrol edilmektedir. Toprak içerisindeki süreçlerin işleyişi ve toprak verimliliği bu canlıların faaliyetlerine bağlı olarak devam etmektedir. Dünyadaki toplam karasal alanın %30'u kurak alanlar olup eklembacaklılar, kurak ekosistemlerde yaşayan toprak canlıları içerisinde büyük çeşitliliğe sahiptir. Bu ekosistemlerdeki hassas döngülerin sürdürülebilmesinde önemli görevleri olan canlıların ve fonksiyonlarının bilinmesi hayati önem taşımaktadır. Kurak alanlardaki toprak canlılarının besin ağındaki fonksiyonel yapılarını abiyotik faktörlerden özellikle sıcaklık ve toprak nemi etkilemektedir. Toprak faunasının düşük enerji ihtiyaçları da kuraklık gibi ekstrem şartlarda hayatta kalmalarını sağlamaktadır. Bununla birlikte ölüörtü-toprak ilişkisi hem termal hem de hidrolik özellikleri etkileyerek hızlı değişimlere neden olabilmekte ve özellikle toprak faunasının dağılımını ve çeşitliliğini etkilemektedir. Genel olarak ölüörtü ayrışması üzerinde yağışın etkisi baskın kurak alanlarda ayrışma üzerinde ışıl bozunmanın etkisi hakimdir. Eklembacaklıların ölüörtü ayrışmasına; ölüörtüyü toprakaltına taşıyarak doğrudan veya karmaşık trofik ilişkiler ile dolaylı etkisi olduğu bilinmektedir. Küresel değişim senaryolarında yer alan ekosistem fonksiyonları için toprak altı biyoçeşitliliği belirlenmesi, giderek artan araştırma konuları içinde yer almaktadır. Toprak faunasının miktar ve çeşitliliği ile ekosistem servisleri arasında kuvvetli bir ilişki vardır. Toprakaltı biyoçeşitliliğinin azalması bu servislerin aksamasına neden olmaktadır. Bu çalışmada, toprak faunasının biyoçeşitliliğine ve ekosistem fonksiyonlarına olan etkileri araştırılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Toprak faunası, kurak alan, eklembacaklılar, ayrışma, biyoçeşitlilik

### The Importance of Soil Fauna in Arid Ecosystems

#### Abstract

Energy flow and nutrient cycles are important ecosystem processes, which are controlled by activities of bacteria, fungi, nematodes, earthworms and arthropods. Belowground processes and soil productivity depend on the activity of soil fauna. Arid lands cover approximately 30% of the world's terrestrial area and arthropods have a great diversity of soil organisms living in arid ecosystems.. It is crucial to know the functions of these organisms in maintaining the fragile cycles in these ecosystems. The functional structure of soil fauna in the food web are affected by soil moisture and temperature in arid lands. Low energy consumption feature of soil fauna provides their survival in extreme conditions such as drought. However, the litter-soil relationship may cause rapid changes and thus affects the distribution and diversity of these organisms by affecting both thermal and hydraulic properties. Generally litter decomposition is affected by precipitation, while photodegradation is more dominant in arid lands. Arthropods are known to contribute to litter decomposition by removing litter into soil directly and also indirectly by complex trophic relationships. Determination of soil biodiversity is the growing body of research topic in ecosystem functions which are included in the global climate change scenarios. There is a strong correlation between the abundance and diversity of soil fauna and ecosystem services. Decreased biodiversity of soil fauna leads to a decreased ecosystem services. In this study, we investigated biodiversity of soil fauna and its effects on ecosystem functions.

**Keywords:** Soil fauna, arid land, arthropods, decomposition, biodiversity

#### 1. GİRİŞ

Karasal alanların (144.150.000 km<sup>2</sup>) %30'unu kurak alanlar kaplarken, toplam ormanlık alanların (38.690.000 km<sup>2</sup>) %6'sını kurak alan ormanları kaplamaktadır (Malagnoux, 2007). Göreceli olarak büyük bir alanı kaplayan kurak alanlar barındırdıkları biyoçeşitlilik ve ekosistem fonksiyonları bakımından hassas ekosistemlerdir (Shekhawat

ve ark., 2012). Genel olarak bitki örtüsünü, çalı ve otsu türlerin oluşturduğu kurak ekosistemlerde enerji akışı ve besin maddesi döngüleri gibi önemli ekosistem süreçleri toprak canlılarının aktiviteleri ile kontrol edilmektedir. Ekosistemin verimliliğini sağlayan, toprak altındaki ve dolaylı olarak toprak üstündeki süreçlerin işleyişi bu canlıların faaliyetlerine bağlı olarak devam etmektedir. Toprak canlılarının, ekosistem fonksiyonlarındaki rolleri

ve biyoçeşitliliklerinin belirlenmesi, ekosistem süreçlerinin anlaşılması bakımından özellikle kurak ekosistemlerde önemlidir.

Kurak ekosistemlerde yaşayan toprak canlıları içerisinde büyük çeşitliliğe sahip eklembacaklıların komünite yapıları zamansal ve mekânsal ölçekte değişiklikler göstermektedir (Wallwork, 1976). Mekânsal dağılımlarını; toprak sıcaklığı, toprak nemi, tekstür ve vejetasyon gibi faktörler etkilerken, zamansal değişimlerini ise mevsimler etkilemektedir (Noble ve ark., 1996; Cakır ve Makineci, 2013). Bu canlılar kurak şartlara uyum sağlamalarına rağmen susuzluğa oldukça duyarlıdır. Bu durum sadece habitatlarında meydana gelen ve tahmin edilemeyen durumlar ile başatmak için geliştirmiş oldukları fizyolojik ve morfolojik adaptasyonlar ile açıklanamamaktadır. Aynı zamanda kurak şartlara karşı bireysel olarak geliştirdikleri yaşam döngüleri ve fenolojik adaptasyonların bilinmesi gerekmektedir (Punzo, 2000). Bu adaptasyonlar omurgasızların kurak alanlardaki mekânsal olarak heterojen dağılımlarını açıklamasına rağmen bazı eklembacaklı taksonlarının (Collembola, Acarina, Formicidae, Coleoptera) çok çeşitli, baskın ve homojen bir dağılım göstermesini açıklayamamaktadır (Piñero ve ark., 2011).

Kurak alanlarda bulunan bitkilerin ve toprak faunasının üreme aktiviteleri, yağışlı sezonda meydana gelmektedir. Yağışlı sezonun sonunda başlayan kuraklıkla birlikte birçok bitki türü ölmekte ya da yapraklarını dökmektedir. Böylece kurak alanlardaki bitki kısımlarının yaklaşık % 90'ı ayrışmak üzere toprak sistemine katılmaktadır. Ölüörtü ayrışması toprak verimliliğini ve net birincil üretimi doğrudan etkileyen ekosistem süreçlerinden biridir. Kurak ekosistemlerde dökülen organik maddenin ayrışmasını, "biyolojik toprak kabuğu" olarak adlandırılan siyanobakteri, alg, mantar, liken ve yosunların oluşturduğu canlı grubu ile eklembacaklılar gerçekleştirmektedir (Lalley ve ark., 2006; Neher ve ark., 2009).

Diğer bir ifade ile kurak ekosistemlerde ekosistem süreçlerinin devamı için toprak faunasının hayati önemi bulunmaktadır. Bu durum kurak alanlarda yapılan ve yapılacak her araştırma sonucunda değerini arttırmaktadır. Bu bağlamda, kurak ekosistemlerde hassas döngülerin sürdürülebilmesinde önemli görevleri olan toprak faunasının, ekosistem fonksiyon ve süreçlerine olan etkileri ile biyoçeşitlilikleri bu çalışmada tanımlanmaya çalışılmıştır.

## 2. TOPRAK CANLILARI

Toprak içerisinde veya hayatlarının büyük bölümünü toprağa bağımlı olarak yaşayan bütün canlılar toprak canlıları olarak adlandırılır. Toprak canlıları araştırma konusuna göre fonksiyonel, vücut boyutlarına göre ve toprakta bulunuşlarına göre üç kısımda sınıflandırılırlar (Çakır ve Makineci, 2012). En çok kullanılan sınıflandırma Swift ve ark. (1979) tarafından yapılan boyutsal sınıflandırmadır. Vücut boyutlarına göre sınıflandırılan toprak canlıları boyutları < 100 µm olan toprak canlıları mikroflora/mikrofauna, 100 µm ile 2 mm arasında olan toprak canlıları mezofauna ve boyutları > 2 mm olan toprak canlıları makro/megafauna olarak adlandırılarak üç gruba ayrılmaktadır (Şekil 1).

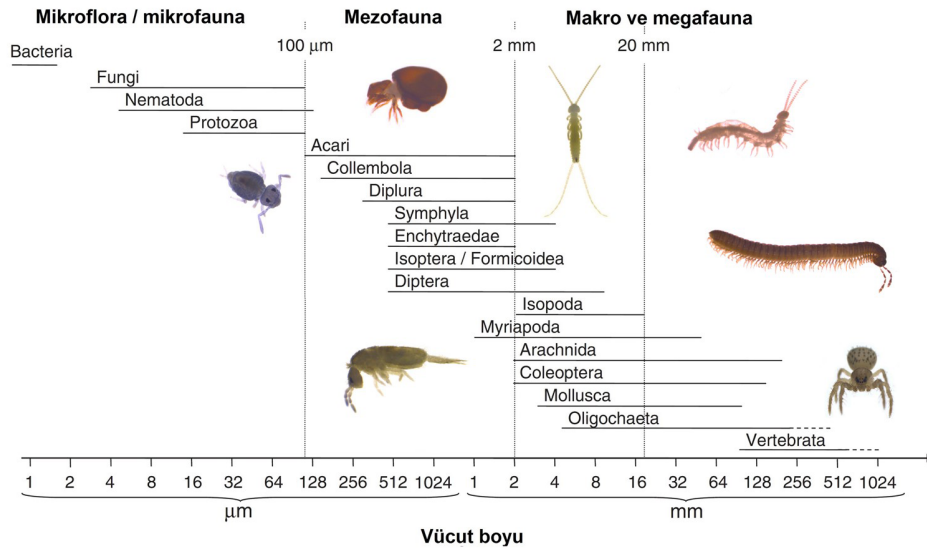
Toprak faunasının çeşitliliği ile ilgili çalışmalarda küresel tanımlanan tür sayısı ve birim alandaki miktar ve çeşitlilikleri Çizelge 1'de verilmiştir. Bu canlı grupları, ormanlar, tarım alanları ve meralar gibi farklı arazi kullanımlarında ve ılıman kuşak veya tropikler gibi farklı yaşam kuşaklarında yoğun olarak çalışılmasına rağmen kurak ve yarıkurak alanlarda yapılmış çalışma sayısı yetersizdir.

### 2.1 Mikroflora / Mikrofauna

Mikroflora, boyutları < 100 µm olan ve toprak içerisindeki miktar ve çeşitlilik bakımından en zengin gruptur (Fierer ve ark., 2007). En çok çalışılan mikroflora "mikrop" olarak adlandırılan bakteri ve mantarlardır. Bakteriler tek hücreli prokaryotlardır ve toprak taneciklerini saran su filmlerinde (higroskopik ve kapillar) yaşarlar. Toprak içerisinde en az 25 farklı bakteri taksonu bulunmaktadır. Bunlardan sayıca en baskın olan Acidobacteria, Proteobacteria, Actinobacteria, Bacteriodes ve Firmicutes taksonlarıdır. İpliksi mantarlar ise toprak içerisindeki boşluklarda yaşarlar ve Basidiomycota, Ascomycota ve Glomeromycota toprakta en fazla bulunan taksonlardır (Moore ve ark., 2011).

Mikroflora ölüörtü ayrışması, karbon ve besin döngüleri ve bitki büyümesi ile birincil üretimin düzenlenmesi gibi ekosistem fonksiyonlarına katkıda bulunurlar. Özellikle kök bölgesinde aktif olarak bulunan mantar ve bakteriler bitki büyümesini etkilerler (Wall ve ark., 2012).

Mikrofauna, toprak canlıları içerisinde boyutları < 100 µm olan Nematoda, Protozoa ve Rotifera taksonlarını içeren gruptur (Wallwork, 1970). Nematodlar toprak su filmlerinde ve yabıt köklerinde



Şekil 1. Toprak faunasının vücut boyuna göre sınıflandırılması (Swift et al., 1979) (Foto: M. Çakır).

Çizelge 1. Toprak canlılarının boyutlarına göre, tanımlanan ve tahmin edilen tür sayıları ile birim alandaki miktar ve çeşitlilikleri (Bardgett and van der Putten, 2014; Orgiazzi et al., 2016)

Canlılar	Tanımlanan Tür Sayısı	Tahmin Edilen Tür Sayısı	Birim Alandaki Tür Çeşitliliği	Birim Alandaki Miktarları
<b>Mikroflora/Mikrofauna</b>				
Prokaryot	40000	1.000.000.000	100-9000 cm <sup>-3</sup>	4-20x10 <sup>9</sup> cm <sup>-3</sup>
Fungi	97000	15.000.000-51.000.000	200-235 g <sup>-1</sup>	100 mg <sup>-1</sup>
Nematoda	25000	1.000.000-10.000.000	10-100 m <sup>-2</sup>	2-9x10 <sup>5</sup> m <sup>-2</sup>
<b>Mezofauna</b>				
Collembola	8500	24.000	20 m <sup>-2</sup>	1-5x10 <sup>4</sup> m <sup>-2</sup>
Acarina	45000	80.000	100-150 m <sup>-2</sup>	1-10x10 <sup>4</sup> m <sup>-2</sup>
<b>Makrofauna</b>				
Isopoda	5000	-	10-100 m <sup>-2</sup>	10 m <sup>-2</sup>
Diplopoda	11000	15.000-20.000	10-2500 m <sup>-2</sup>	110 m <sup>-2</sup>
Oligochaeta	7000	30.000	10-15 ha <sup>-1</sup>	300 m <sup>-2</sup>

yaşayan yuvarlak kurtlardır. Beslenme stratejileri çeşitlilik gösterir ve bu yüzden besin ağının her basamağında yer alırlar. Farklı ağız yapılarına sahip olan nematodlar bakterivor, fungivor, karnivor veya omnivordurlar. Tek hücreli ökaryot olan Protozoa ise içi su dolu toprak boşluklarında yaşar. Protozoa morfolojik olarak dört gruba ayrılır bunlar; Amoebae (kök ayaklılar), Flagellate (kamçılı hayvancıklar), Ciliata (Kirpikliler) ve Sporozoa'dır (Haktanır ve Arcak, 1997). Birçok protozoa türü bakteriler ile beslenmesine rağmen fungivor, predatör ve saprofit beslenmede gösterirler. Toprak mikrofaunasının farklı besin kaynaklarını tüketerek besin döngüsü gibi ekosistem fonksiyonlarına katkıları vardır. Mikrofauna mikroplar ile beslenerek mantar ve

bakterilerin popülasyonunu düzenlerken kendileride mezofaunanın besin kaynağını oluşturmaktadırlar (De Deyn ve ark., 2003).

## 2.2 Mezofauna

Mezofauna, boyutları 100 µm ile 2 mm arasında olan toprak canlılarıdır (Swift ve ark., 1979). Mezofaunayı oluşturan ana taksonlar Acari, Collembola, Protura, Diplura, ve Symphyla'dır. Acari, mezofauna içerisinde en fazla bulunan ve en fazla çeşitliliğe sahip taksondur (Krantz, 1978). Toprak içerisindeki boşluklarda ve ölü örtü katmanında yoğun olarak bulunurlar. Toprak içerisinde en fazla bulunan taksonları Oribatida, Astigmata,

Mesostigmata ve Prostigmatadır (Çakır ve Makineci, 2013). Acari taksonu toprak besin ağında herbivor, bakterivor, fungivor, ve predatör olarak her bir trofik seviyede bulunur. Collembola, altı bacaklı, antenli, kanatsız ilkel böceklerdir. Acari ile kıyaslandığında çeşitlilikleri az olmasına rağmen toprak içerisindeki miktarları aynı olabilmektedir (Petersen ve Luxton, 1982). Collembola toprak içerisindeki boşluklarda ve ölüörtü içerisinde yoğun olarak bulunan canlılardır. Collembola bireylerinin nem ve besin istekleri (fungi, alg ve bitki) Acari taksonuna kıyasla daha sınırlıdır (Petersen, 2002). Toprak mezofaunası, patojenik organizmalar ile beslenerek hastalık ve zararlıların kontrolü ile besin döngüsü gibi süreçlere katkı sağlarken makrofauna ile küçük omurgalıların besin kaynağını oluştururlar (Akkaya ve Uğurtaş, 2006).

### 2.3 Makrofauna

Makrofauna boyutları >2 mm olan toprak canlılarıdır (Swift ve ark., 1979). Makrofauna, Insecta, Isopoda, Myriapoda, Arachnida gibi makroeklembacaklılar ile birlikte Gastropoda ve Oligochaeta gibi yumuşak vücutlu omurgasızları da kapsar. Makrofauna içerisinde Diplopoda, Isopoda ve Gastropoda ölüörtü ile beslenen önemli ayrıştırıcılarıdır. Chilopoda, Arachnida ve Carabidae toprak ve ölüörtüde beslenen perdatör grubun üyeleridirler. “Ekosistem mühendisleri” olarak adlandırılan karıncalar ve toprak solucanları buldukları çevrenin fiziksel, kimyasal ve biyolojik özelliklerini değiştirerek ekosistem fonksiyonlarını etkilemektedirler (Jones ve ark., 1994). Makrofauna, ayrışma, besin döngüsü, toprak strüktürü ile zararlı ve hastalık yapan canlıların popülasyon yoğunluğunu dengede tutmak gibi önemli ekosistem fonksiyonlarını etkilerler. Yukarıda belirtilen faaliyetleri ile makrofaunanın bitki büyümesi ve birincil üretime olumlu ve olumsuz etkileri olmaktadır (Barros ve ark., 2001; Frouz ve ark., 2006).

### 3. ABİYOTİK FAKTÖRLERİN TOPRAK FAUNASINA ETKİSİ

Kurak ekosistemlerde toprak canlılarının fonksiyonel olarak önemi doğrudan fizyolojik özellikleri ile ilgilidir. Çünkü dünyadaki kurak alanlardaki tahmin edilemeyen meteorolojik

olaylar, özellikle yağış, toprak nemi ve su potansiyelinde öngörülemeyen değişimlere neden olmaktadır. Kurak alanlarda toprak canlılarının aktif oldukları dönem, abiyotik faktörler tarafından belirlenmektedir. Örneğin çöl ekosisteminde toprak su potansiyeli 0,4 MPa (4 atm)’de bir çok protozoa kist haline geçerken nematodların %50’si uyku halinde bulunmaktadır. Toprak neminin arttığı dönemlerde bu canlılar aktif hale gelerek hızlı bir şekilde üremektedir (Whitford, 1989). Toprak faunası içerisinde yer alan her canlının nem ihtiyacı ve fizyolojik adaptasyonları farklılık göstermektedir (Somme, 1995). Eklembacaklıların düşük enerji ihtiyaçları da kuraklık gibi ekstrem şartlarda hayatta kalmalarını sağlamaktadır (Heatwole, 1996). Toprağın tane boyutları su ve hava ekonomisini etkileyerek toprağın fiziksel ve kimyasal yapısını değiştirmektedir (Wall ve ark., 2012). Noble ve ark. (1996) orta tekstürlü topraklarda Prostigmata (Acari) taksonunun miktar ve çeşitliliğinin ağır tekstürlü topraklara kıyasla daha fazla olduğunu belirtmiştir. Bu bakımdan tekstür, canlıların komünite yapıları ile miktar ve çeşitlilikleri üzerinde etkili olmaktadır. Toprak canlılarının büyük bir kısmı gün ışığında faaliyet göstermeyen kriptozon (cryptozoan: kryptos + zoon, saklanan + hayvan) canlılarıdır. Genellikle ölüörtü içerisinde, taşların altında, toprak içinde ve çatlaklarında yaşar ve faaliyet gösterirler (Coleman ve ark., 2004). Gece yaşamaları, düşük solunum oranları ve sınırlı solunum yüzeyleri gibi özelleşmeleri ve adaptasyonları ile kurumaya ve kuraklığa dayanıklıdırlar (Hattenschwiler ve Bretscher, 2008). Kurak alanlardaki toprak canlılarının besin ağındaki fonksiyonel yapılarını, abiyotik faktörlerden özellikle sıcaklık ve toprak nemi etkilemektedir. Bununla birlikte ölüörtü-toprak ilişkisi hem termal hem de hidrolik özellikleri etkileyerek hızlı değişimlere neden olabilmekte ve özellikle toprak canlılarının dağılımını ve çeşitliliğini etkilemektedir (Whitford, 1989).

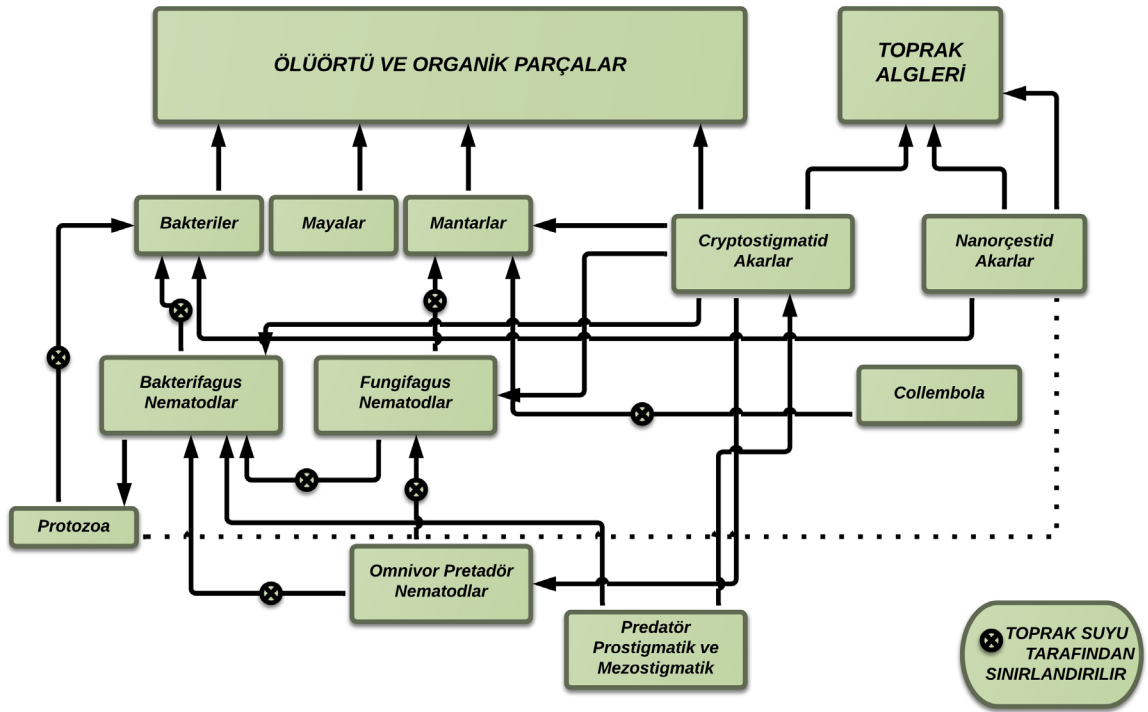
### 4. TOPRAK FAUNASININ ÖLÜÖRTÜ AYRIŞMA SÜRECİNE ETKİSİ

Kurak ekosistemlerde canlıların gelişimi için hayati öneme sahip iki etken vardır. Bunlardan birincisi yağış ikincisi ise yıllık ölüörtü döküm miktarı ve ayrışma sonucunda toprağa geri dönen organik madde miktarıdır (Austin ve Vivanco, 2006; Li ve ark., 2011). Kurak ekosistemlerde

birincil üretim miktarında, faydalanılabilir besin maddelerinden özellikle azotun önemli rolü vardır. Kurak alanların toprakları diğer ekosistemlere kıyasla göreceli olarak daha az gelişmiş olup organik madde ve besin maddesi içeriği düşüktür (Kemp ve ark., 2003). Topraktaki organik maddenin ve bitki besin maddelerinin kaynağı olan ölüörtü ayrışması toprak canlıları ile birlikte iklim, ölüörtü kalitesi ve toprağın fiziksel ve kimyasal yapısı tarafından etkilenmektedir (Swift ve ark., 1979). Genel olarak ayrışma üzerinde yağışın etkisi baskınken (Bradford ve ark., 2016) yarı kurak alanlarda ayrışma üzerinde ışıl bozunmanın etkisi hakimdir (Austin ve Vivanco, 2006). Yapılan çalışmalara göre çürükçül eklembecaklıların ölüörtü ayrışmasına; ölüörtüyü toprak altına taşıyarak doğrudan (Whitford ve ark., 1988; Lavelle ve Spain, 2001) veya karmaşık trofik ilişkiler ile dolaylı etkisi olduğu belirtilmiştir

(Kemp ve ark., 2003). Lawrence ve Wise (2000) tarafından yapılan deneysel çalışmada, Örümcekler (Arachnida) deney alanından çıkarıldığında Collembola popülasyonu % 60 artmış, ayrışma daha hızlı olmuştur. Bu sonuç avcı olan örümceklerin, ayrıştırıcı komünite üzerinde düzenleyici rol oynadığını ve ayrışmaya dolaylı etkileri olduğunu göstermektedir.

Ayrışma süreci; yaprağın toprağa değer değmez bakteri ve mantarlar tarafından kutikulasının parçalanması ile başlamaktadır (Berg ve Laskowski, 2005). Daha sonra ölüörtü üzerine bakteri ile beslenen nematodlar ve tydeid akarlar ile mantarla beslenen nematodlar ve diğer akarlar gelmekte son olarak da mantar ve nematodlar ile beslenen akarlar ile Collembola ve diğer mikroeklembecaklılar gelmektedir (Şekil 2) (Coleman ve ark., 2004; Berg ve McClaugherty, 2014).



Şekil 2. Kurak alanlarda toprak besin ağı. Ölüörtü ayrışmasında etkili olan toprak organizmaları birliğine göre yapılmıştır (Whitford, 1996)

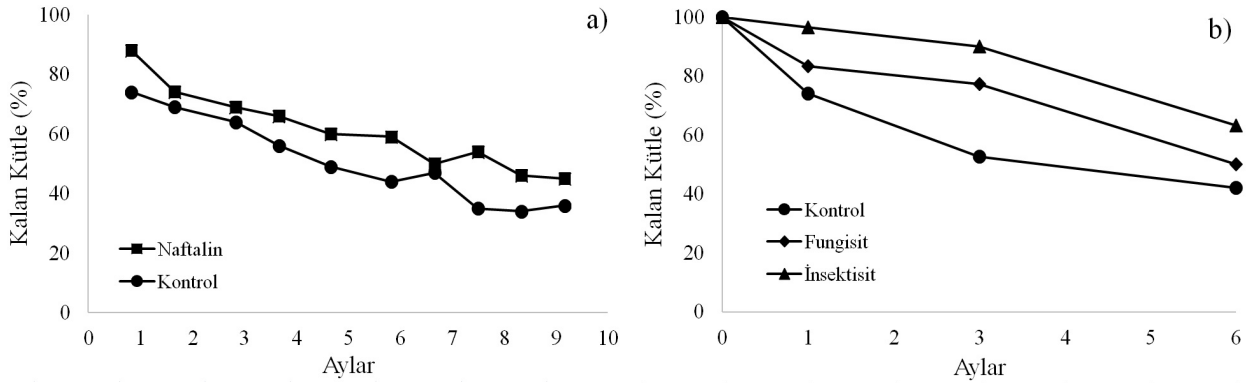
Canlıların ayrışma sürecine etkileri ile ilgili birçok çalışma yapılmıştır (Hunter ve ark., 2003). Bazı çalışmalarda ayrışmaya etki ettiği düşünülen canlıların naftalin, insektisit veya fungusit gibi kimyasallar kullanılarak uzaklaştırılması sonucunda ayrışmada meydana gelen farkın ortaya konması ile canlıların ayrışma sürecine olan etkisi belirlenmiştir (Santos ve Whitford, 1981; Heneghan ve ark., 1998; Cakir, 2012). Yapılan çalışmalarda naftalin

ile eklembecaklıların uzaklaştırıldığı ölüörtü keselerinde ayrışmanın yaklaşık % 20 azaldığı ve eklembecaklıların ayrışmada önemli rolleri olduğu belirtilmiştir (Şekil 3a). Diğer bir çalışmada fungusit kullanımı ile mantar misel yoğunluğunun azaltılması sonucunda ayrışmanın yavaşladığı fakat üçüncü aydan sonra fungusit etkenliğinin azalması ile ayrışmanın hızlandığı belirtilmiştir (Şekil 3b).

Toprak faunası içinde sayıca fazla olan

Collembola taksonu, azot mineralizasyonu, toprak solunumu, çözünebilir karbonun yıkanması ve bitki büyümesinde önemli etkileri olan canlılardır (Filser, 2002). Benzer olarak Oribatid akarlarda enzim aktiviteleri ile karbon mineralizasyonunu % 20 arttırarak ayrışma sürecinde ölüörtünün kimyasal

yapısını önemli derecede değiştirmektedir (Wickings ve Grandy, 2011). Austin ve Vivanco (2006) kurak bir ekosistemde, toprak canlılarını biyosit ile uzaklaştırdıklarında, karbon mineralizasyonu % 28, mikrobiyal biyokütle % 53 azalarak ayrışmanın önemli ölçüde yavaşladığını belirtmişlerdir.



Şekil 3. Ölüörtü ayrışmasında a) naftalin ile dışlanan (Heneghan et al., 1999) ve b) fungusit ve insektisit ile dışlanan eklembacaklıların ayrışma sonucunda kütle kaybına etkisi (Santos and Whitford, 1981).

Formicidae ve Coleoptera kurak alanlarda en çok görülen makroeklembacaklılardır. Makroeklembacaklıların komünite ve trofik yapıları ölüörtü ve toprak içerisinde değişmekte olup, ölüörtüde çürükçüller baskın olarak bulunurken, toprak altında sırası ile çürükçüller, otoburlar ve avcı komüniteler bulunmaktadır (Doblas-Miranda ve ark., 2007, 2009). Makroeklembacaklılar besin konusunda mikroeklembacaklılara kıyasla daha seçicidirler. Çürükçül olan Isopoda, ölüörtü ile birlikte fideciklerin yaprakları ve kökleriyle beslenmeyi tercih eder (Rushton ve Hassall, 1983). Diplopoda ise yüksek polifenollü besinlerden kaçınan fakat yüksek kalsiyum içeren yaprakları tercih ederken (Ashwini ve Sridhar, 2005) özümseme etkinlikleri yüksek olmasına rağmen yeni düşen yaprakları genellikle tercih etmezler (David ve Gillon, 2002). Ayrıca ayrışmaya olan katkıları ile azot mineralizasyonunu hızlandırır (Fujimaki ve ark., 2010). Makroeklembacaklılar ayrışma sürecinde, özellikle ölüörtünün kimyasal değişiminde etkili canlılardır. Makroeklembacaklıların olmadığı sahalarda ölüörtünün azot ve toplam fenolik miktarı azalmakta buna karşın selüloz ve tanin miktarı artmaktadır (Hunter ve ark., 2003). Bu bilgiler ışığında toprak faunasının, toprak besin ağı içerisinde ve besin döngüsünde önemli rolleri ve ekosistem süreçleri içinde hayati etkilerinin olduğu görülmektedir.

## 5. KURAK ALANLARDA TOPRAK FAUNASININ ÇEŞİTLİLİĞİ VE EKOSİSTEM FONKSİYONLARINA ETKİLERİ

Biyoeçşitlilik ve ekosistem fonksiyonları arasındaki ilişki, son on yılda ekoloji ve doğa bilimlerinin dikkat çekici konusu olmuştur. Toprak içerisinde yaşayan, büyük çeşitliliğe sahip canlıların ekosistem hizmetlerinin düzenlenmesinde önemli rolleri vardır ve bu hizmetler ekosistemlerin şekillenmesinde önemli etkilere sahiptir (Lavelle, 1996; Bardgett, 2005). Küresel değişim senaryolarında yer alan ekosistem fonksiyonları için toprak altı biyoeçşitliliğinin belirlenmesi, giderek artan araştırma konuları içinde yer almaktadır (Wolters ve ark., 2000). Karbon ve besin döngülerinin temel süreçleri toprak içerisinde meydana gelmektedir. Bu döngüleri büyük ölçüde etkileyen ayrışma sürecinde, eklembacaklıların (Seastedt, 1984; Blair ve ark., 1990; Wang ve ark., 2009) ve mikrobiyal canlıların (Wright ve Coleman, 2002; Torres ve ark., 2005; Brandstätter ve ark., 2013) etkileri bilinmesine rağmen bu süreçler içerisindeki rolleri kesin olarak bilinmemektedir (Fitter ve ark., 2005). Toprak canlılarının; biyokimyasal döngülerin düzenlenmesi, toprak yapısının düzenlenmesi, toprak gübrelenmesi, atık ve kirleticilerin biyoslahı, besin ve gazların yerdeğiştirmesi, atmosferik gazların düzenlenmesi (CO<sub>2</sub> ve NO<sub>x</sub>), zararlı ve patojenlerin

kontrolü, bitki ve hayvan popülasyonlarının düzenlenmesi, bitkisel üretime katkı gibi ekosistem hizmetlerinde önemli rolleri vardır (Wall ve ark., 2001; Wall, 2004; Lavelle ve ark., 2006). Bu bağlamda toprak canlılarının miktar ve çeşitliliği ile ekosistem hizmetleri arasında kuvvetli bir ilişki vardır. Toprakaltı biyoçeşitliliğinin azalması bu hizmetlerin aksamasına neden olmaktadır (Lavelle, 1996). Bu durumda toprak biyoçeşitliliği ile ekosistem fonksiyonları ve hizmetleri arasındaki ilişkilerin belirlenmesi önem kazanmaktadır (Wall ve ark., 2012; Havlicek ve Mitchell, 2014).

### 5.1. Toprak Faunasının Çeşitliliği

Kurak alanlarda yamalar halinde bulunan bitki örtüsünde, çalı türlerinin altında ve biyolojik toprak kabuğunda eklembacaklı çeşitliliği bitki örtüsüne sahip olmayan alanlara kıyasla daha fazla bulunmaktadır (Lalley ve ark., 2006; Villarreal-Rosas ve ark., 2014; Liu ve ark., 2016). Ülkemizde kurak alanların büyük kısmında bozkır (step) vejetasyonu görülmektedir (Çetik, 1985). Yetiştirme ortamına bağlı olarak bozkır toprakları farklı fiziksel, kimyasal ve biyolojik özellikler göstermektedir. Genel olarak çalı ve otsu bitki türlerinin baskın olduğu bozkır alanları, bitki türü ve çeşitliliğine bağlı olarak ince köklerin göreceli olarak hızlı ayrışması sonucunda üst toprağın organik madde ve biyoçeşitlilik bakımından zengin olmasına neden olur (Frouz ve ark., 2001).

Organik madde, enerji ve besin döngülerinin önemli kısmının gerçekleştiği toprağın üst katmanı yüksek biyoçeşitliliğe sahip sıcak noktalardan biridir (Havlicek ve Mitchell, 2014). Ayrıca bu ince katmanda ayrışma, toprak besin ağı ve ekosistem hizmetleri de gerçekleşmektedir (Berg ve McClaugherty, 2014). Kurak alanlarda organik maddece zengin üst horizonun kalınlığı, toprağın gelişimini ve yaz kuraklığında toprak canlılarının hayatta kalmalarını sağlamaktadır (Wallwork, 1976). Üst horizonun organik madde miktarı ve kalınlığı toprak canlılarının miktar ve çeşitliliğini de etkilemektedir. Ölü örtünün kalınlığı, eklembacaklıların miktarını etkilerken kalitesi ise biyoçeşitliliğini etkilemektedir (Cakir ve Makineci, 2013).

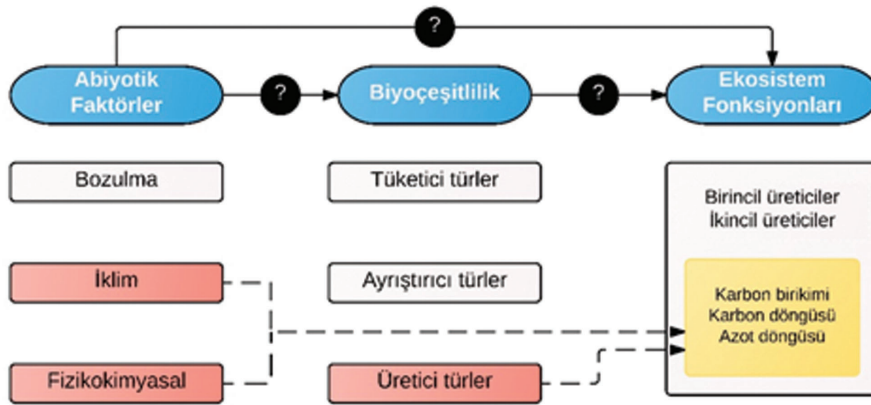
Toprak faunasının tür sayısı birim alandaki çeşitlilikleri ve miktarları Çizelge 1’ de verilmiştir. Halen bir çok tanımlanmamış türün olduğu da tahmin edilmektedir (Orgiazzi ve ark., 2016).

Yapılan çalışmalar her ekosistemin farklı biyoçeşitliliğe sahip olduğunu ve kendine özgü canlı gruplarını desteklediğini göstermiştir (Bardgett ve ark., 2005). Tropikal ve ılıman kuşaklar, kurak alanlara kıyasla göreceli olarak göre daha yüksek toprak biyoçeşitliliğine sahiptir. Kurak alan eklembacaklı faunası içerisinde genel olarak en baskın canlılar prostigmatid ve oribatid akarlardır ve toplam eklembacaklıların %20’sinden fazlasını oluşturmaktadırlar (Wallwork ve ark., 1986). Toprak faunasının tür çeşitliliği farklı ekosistemlerde değişkenlik göstermektedir. Rusek (1992) otlak-ladin ekotonunda (Çekoslovakya) yapmış olduğu çalışmada en yüksek Nematoda (40 tür) çeşitliliğini otlak alanda, Oribatida ve Collembola (ortalama 24 tür) çeşitliliğinin en fazla orman alanında olduğunu belirtmiştir. Mera toprağında (Kansas) yapılan diğer bir çalışmada 579cm<sup>3</sup> lük toprak örneği içerisinde 3361 birey içerisinde 159 akar türü teşhis edilmiştir (John ve ark., 2006). En düşük Collembola çeşitliliği 27 tür ile Illinois (Amerika) çayırlarında (Brand ve Dunn, 1998) ve 12 tür ile İskoçya asidik meralarında bulunmuştur (Cole ve ark., 2005). En yüksek Collembola çeşitliliği ise 211 tür ile Slovakyada belirlenmiştir (Rusek, 1998).

### 5.2. Toprak Faunasının Ekosistem Fonksiyonlarına Etkileri

Toprak canlılarının toprak fonksiyonları içinde, organik maddenin ayrışması, humus oluşumu ve besin döngüsü gibi ekosistem süreçlerinde önemli görevleri ve rolleri bulunmaktadır. Ayrıca toprağın gözenekliliğini, havalanmasını, geçirgenliğini ve organik maddenin toprak horizonları içindeki dağılımını etkilemektedirler. Toprak canlıları tarafından organik maddenin ayrıştırılması ekosistem fonksiyonları için çok önemlidir. Çünkü ayrışma, bitki büyümesi ve birincil üretim gibi ekosistem servislerinin sağlanmasında en önemli süreçlerden biridir (De Deyn ve ark., 2008; Menta, 2012).

Ekosistem fonksiyonlarını, abiyotik faktörler ve biyoçeşitlilik gibi ana faktörler tek tek veya birlikte etkilemektedirler (Midgley, 2012). Fakat ekosistemin bozulması ile tüketici ve ayrıştırıcı türler gibi alt faktörlerin, ekosistem fonksiyonlarına birlikte olan etkileri tam olarak belirlenmemektedir (Şekil 4). Maestre ve ark. (2012) bitki çeşitliliği ile abiyotik faktörlerin (iklim ve fizikokimyasal faktörler), karbon birikimi ve besin döngüsü gibi bazı ekosistem fonksiyonlarına olan etkisini belirlemiştir



Şekil 4. Biyoçeşitlilik ve abiyotik faktörlerin ekosistem fonksiyonlarına etkileri (Midgley, 2012).

Toprak besin ağı içerisinde Protozoa, Nematoda, Rotifer ve bazı Collembola ve Acari türleri beslenme faaliyetleri ile bakteri ve mantar (fungi) popülasyonlarını düzenler ve dışkıları ile de mantar sporlarını metrelerce uzağa yayabilirler (Wardle, 2002; Kampichler ve Bruckner, 2009). Bu faaliyetleri ile hem hastalık yapıcı canlıların popülasyonlarını kontrol altında tutarken hem de toprak biyoçeşitliliğini korurlar.

Kurak alanlardaki çok az canlı grubu kayaların ve diğer mineral yüzeylerin parçalanmasında ve bunun sonucunda besin maddelerinin faydalanılabilir hale gelmesinde etkilidir. Toprak faunası içerisinde salyangoz (Gastropoda) ve tespih böcekleri (Isopoda) toprak yüzeyindeki algler ile beslenirken önemli miktarda toprağı ayrıştırır ve besin maddelerini serbest hale getirirler (Huenneke ve Noble, 1996).

Ekosistem mühendisleri olarak adlandırılan karıncalar toprağın fiziksel, kimyasal ve biyolojik özelliklerini değiştirirler (Jones ve ark., 1994). Karıncalar toprak ekosistemini, koridorlar ve galeriler açarak gözenekliliğı ve havalanmasını değiştirerek fiziksel (McCahon ve Lockwood, 1990), besin madde miktarını artırarak, pH'ı nötre yaklaştırarak, organik maddeyi ve farklı besinleri yuva ve etrafında biriktirerek ayrıca ayrışmayı hızlandırarak kimyasal (Frouz ve ark., 2003; Frouz ve ark., 2005), yuva etrafındaki mikrobiyal aktiviteyi değiştirerek biyolojik (Jilková ve ark., 2015) olarak etkilerler. Ayrıca ekosistem mühendisleri yapmış oldukları faaliyetlerle tohumların dağılımı ve tozlaşma, bitki komünitelerinin düzenlenmesi ve zararlıların biyolojik kontrolü gibi ekosistem fonksiyonlarını gerçekleştirirler (Frouz ve Jilkova, 2008; Del Toro ve ark., 2012).

## 6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Toprak canlılarının ekosistem fonksiyon ve hizmetlerinde önemli rolleri olduğu bilinmektedir. Toprak faunasında meydana gelen değişimler sonucunda farklı ekosistemlerde farklı tepkiler meydana gelmektedir. Kurak alanlar gibi hassas ekosistemlerde meydana gelen bozulmalar, toprak faunasını ve buna bağılı olarak besin madde döngüleri gibi ekolojik süreçleri durma noktasına getirebilmektedir. Toprak faunasında meydana gelen değişime bağılı olarak karbon, azot ve su döngüleri gibi önemli ekolojik süreçlerin kesintiye uğraması, birincil üretim için gerekli süreçleri etkilerken hem toprak altı hem de toprak üstü ekosistemlerin zarar görmesine neden olabilmektedir. Vejetasyon süresinin kuraklık nedeni ile göreceli olarak kısa olduğu kurak ekosistemlerde, birincil üretimin azalması sonucunda doğal döngü ve süreçlerde aksamalar meydana gelmektedir. Birincil üretim ve ayrışma süreçlerinde meydana gelen bu aksamalar canlılar ile birlikte ekosistem fonksiyon ve hizmetlerini olumsuz etkilemektedir.

Kurak alanlardaki toprak canlılarının miktar ve biyoçeşitlilikleri nemli ekosistemlere kıyasla daha az olmaktadır. Bu durum kurak alanlardaki toprak canlılarının ekosistem süreçleri üzerindeki etkilerinin önemini arttırmaktadır. Son yıllarda toprak canlılarının ekosistemler üzerindeki etkilerinin araştırıldığı konulara gereken önem verilmeye başlanmıştır. Ancak kurak alanlardaki toprak faunasının, besin döngüsü, ayrışma süreci, biyoçeşitlilik ve ekosistem süreçlerine olan etkileri ile ilgili detaylı çalışmaların yapılması gerekmektedir.

Son olarak, ekosistem süreçlerine önemli etkileri olan toprak faunasının araştırılması ile elde



edilen bilgiler ışığında; toprak koruma ve toprak verimliliği, hastalıkların azaltılması ve önlenmesine yönelik yeni yaklaşımlar oluşturulup sürdürülebilir arazi yönetimine entegre edilebilir ve böylece kurak ekosistemlerden en üst seviyede faydalanma sağlanabilir.

## KAYNAKLAR

- Akkaya, A., Uğurtaş, İ.H., 2006. The feeding biology of *Ophisops elegans* Menetries, 1832 (Reptilia: Lacertidae) populations of the Bursa region. Turkish Journal of Zoology 30, 357-360.
- Ashwini, K.M., Sridhar, K.R., 2005. Leaf litter preference and conversion by a saprophagous tropical pill millipede, *Arthrosphaera magna* Attems. Pedobiologia 49, 307-316.
- Austin, A.T., Vivanco, L., 2006. Plant litter decomposition in a semi-arid ecosystem controlled by photodegradation. Nature 442, 555-558.
- Bardgett, R., Hopkins, D., Usher, M., 2005. Biological diversity and function in soils. Cambridge University Press, UK.
- Bardgett, R.D., 2005. The Biology of Soil: A Community and Ecosystem Approach. Oxford University Press, Oxford, UK.
- Bardgett, R.D., van der Putten, W.H., 2014. Belowground biodiversity and ecosystem functioning. Nature 515, 505-511.
- Barros, E., Curmi, P., Hallaire, V., Chauvel, A., Lavelle, P., 2001. The role of macrofauna in the transformation and reversibility of soil structure of an oxisol in the process of forest to pasture conversion. Geoderma 100, 193-213.
- Berg, B., Laskowski, R., 2005. Litter decomposition: a guide to carbon and nutrient turnover. Academic Press New York.
- Berg, B., McLaugherty, C., 2014. Plant litter: decomposition, humus formation, carbon sequestration. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg.
- Blair, J.M., Parmelee, R.W., Beare, M.H., 1990. Decay rates, nitrogen fluxes, and decomposer communities of single-and mixed-species foliar litter. Ecology 71, 1976-1985.
- Bradford, M.A., Berg, B., Maynard, D.S., Wieder, W.R., Wood, S.A., 2016. Understanding the dominant controls on litter decomposition. Journal of Ecology 104, 229-238.
- Brand, R.H., Dunn, C.P., 1998. Diversity and abundance of springtails (Insecta: Collembola) in native and restored tallgrass prairies. The American Midland Naturalist 139, 235-242.
- Brandstätter, C., Keiblinger, K., Wanek, W., Zechmeister-Boltenstern, S., 2013. A closeup study of early beech litter decomposition: potential drivers and microbial interactions on a changing substrate. Plant and Soil 371, 139-154.
- Çakır, M., 2012. Litter decomposition and organic matter turnover by soil microarthropods. In, Cost Action FP803 'Belowground Carbon Turnover in European Forests', Antalya, Turkey.
- 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.
- Cole, L., Buckland, S.M., Bardgett, R.D., 2005. Relating microarthropod community structure and diversity to soil fertility manipulations in temperate grassland. Soil Biology and Biochemistry 37, 1707-1717.
- Coleman, D.C., Crossley, D.A., Hendrix, P.F., 2004. Fundamentals of soil ecology. Academic press, USA.
- Çakır, M., Makineci, E., 2012. Toprak faunası: sınıflandırılması ve besin ağındaki yeri. İ.Ü. Orman Fakültesi Dergisi 61, 43-55.
- Çetik, R., 1985. Türkiye Vejetasyonu I: İç Anadolu'nun Vejetasyonu ve Ekolojisi. Selçuk Üniversitesi Yayınları, Konya.
- David, J.F., Gillon, D., 2002. Annual feeding rate of the millipede *Glomeris marginata* on holm oak (*Quercus ilex*) leaf litter under Mediterranean conditions. Pedobiologia 46, 42-52.
- De Deyn, G.B., Cornelissen, J.H., Bardgett, R.D., 2008. Plant functional traits and soil carbon sequestration in contrasting biomes. Ecology letters 11, 516-531.
- De Deyn, G.B., Raaijmakers, C.E., Zoomer, H.R., Berg, M.P., de Ruiter, P.C., Verhoef, H.A., Bezemer, T.M., van der Putten, W.H., 2003. Soil invertebrate fauna enhances grassland succession and diversity. Nature 422, 711-713.
- Del Toro, I., Ribbons, R.R., Pelini, S.L., 2012. The little things that run the world revisited: a review of ant-mediated ecosystem services and disservices (Hymenoptera: Formicidae). Myrmecological News 17, 133-146.
- Doblas-Miranda, E., Sánchez-Piñero, F., González-Megías, A., 2007. Soil macroinvertebrate fauna of a Mediterranean arid system: composition and temporal changes in the assemblage. Soil Biology and Biochemistry 39, 1916-1925.
- Doblas-Miranda, E., Sánchez-Piñero, F., González-Megías, A., 2009. Vertical distribution of soil macrofauna in an arid ecosystem: Are litter and belowground compartmentalized habitats? Pedobiologia 52, 361-373.

- Fierer, N., Breitbart, M., Nulton, J., Salamon, P., Lozupone, C., Jones, R., Robeson, M., Edwards, R.A., Felts, B., Rayhawk, S., 2007. Metagenomic and small-subunit rRNA analyses reveal the genetic diversity of bacteria, archaea, fungi, and viruses in soil. *Applied and environmental microbiology* 73, 7059-7066.
- Filser, J., 2002. The role of Collembola in carbon and nitrogen cycling in soil: Proceedings of the Xth international Colloquium on Apterygota, České Budějovice 2000: Apterygota at the Beginning of the Third Millennium. *Pedobiologia* 46, 234-245.
- Fitter, A., Gilligan, C., Hollingworth, K., Kleczkowski, A., Twyman, R., Pitchford, J., 2005. Biodiversity and ecosystem function in soil. *Functional Ecology* 19, 369-377.
- Frouz, J., Elhottová, D., Kuráž, V., Šourková, M., 2006. Effects of soil macrofauna on other soil biota and soil formation in reclaimed and unreclaimed post mining sites: results of a field microcosm experiment. *Applied soil ecology* 33, 308-320.
- Frouz, J., Holec, M., Kalčík, J., 2003. The effect of *Lasius niger* (Hymenoptera, Formicidae) ant nest on selected soil chemical properties. *Pedobiologia* 47, 205-212.
- Frouz, J., Jilková, V., 2008. The effect of ants on soil properties and processes (Hymenoptera: Formicidae). *Myrmecological News* 11, 191-199.
- Frouz, J., Kalčík, J., Cudlín, P., 2005. Accumulation of phosphorus in nests of red wood ants *Formica* s. str. In, *Annales zoologici fennici*. JSTOR, pp. 269-275.
- Frouz, J., Keplin, B., Pizl, V., Tajovský, K., Starý, J., Lukesová, A., Nováková, A., Hánel, L., Materna, J., Düker, C., 2001. Soil biota and upper soil layer development in two contrasting post-mining chronosequences. *Ecological engineering* 17, 275-284.
- Fujimaki, R., Sato, Y., Okai, N., Kaneko, N., 2010. The train millipede (*Parafontaria laminata*) mediates soil aggregation and N dynamics in a Japanese larch forest. *Geoderma* 159, 216-220.
- Haktanır, K., Arcaç, S., 1997. Toprak Biyolojisi (Toprak Ekosistemine Giriş). Ankara Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları, Ankara.
- Hattenschwiler, S., Bretscher, D., 2008. Isopod effects on decomposition of litter produced under elevated CO<sub>2</sub>, N deposition and different soil types. *Global Change Biology* 7, 565-579.
- Havlicek, E., Mitchell, E.A., 2014. Soils Supporting Biodiversity. In, *Interactions in Soil: Promoting Plant Growth*. Springer, pp. 27-58.
- Heatwole, H., 1996. *Energetics of Desert Invertebrates*. Springer, Berlin.
- Heneghan, L., Coleman, D., Zou, X., Crossley, D., Haines, B., 1998. Soil microarthropod community structure and litter decomposition dynamics: a study of tropical and temperate sites. *Applied Soil Ecology* 9, 33-38.
- Heneghan, L., Coleman, D., Zou, X., Crossley Jr, D., Haines, B., 1999. Soil microarthropod contributions to decomposition dynamics: tropical-temperate comparisons of a single substrate. *Ecology* 80, 1873-1882.
- Huenneke, L., Noble, I., 1996. Ecosystem function of biodiversity in arid ecosystems. *Scope-Scientific Committee on Problems of The Environment International Council of Scientific Unions* 55, 99-128.
- Hunter, M.D., Adl, S., Pringle, C.M., Coleman, D.C., 2003. Relative effects of macroinvertebrates and habitat on the chemistry of litter during decomposition. *Pedobiologia* 47, 101-115.
- Jílková, V., Frouz, J., Cajthaml, T., Bonkowski, M., 2015. The role of bacteria and protists in nitrogen turnover in ant nest and forest floor material: A laboratory experiment. *European Journal of Soil Biology* 69, 66-73.
- John, M.G.S., Wall, D.H., Hunt, H.W., 2006. Are soil mite assemblages structured by the identity of native and invasive alien grasses? *Ecology* 87, 1314-1324.
- Jones, C.G., Lawton, J.H., Shachak, M., 1994. Organisms as ecosystem engineers. *Oikos*, 373-386.
- Kampichler, C., Bruckner, A., 2009. The role of microarthropods in terrestrial decomposition: a meta-analysis of 40 years of litterbag studies. *Biological Reviews* 84, 375-389.
- Kemp, P.R., Reynolds, J.F., Virginia, R.A., Whitford, W.G., 2003. Decomposition of leaf and root litter of Chihuahuan desert shrubs: effects of three years of summer drought. *Journal of Arid Environments* 53, 21-39.
- Krantz, G.W., 1978. *A manual of acarology* (2nd edition). Oregon St Univ Bookstores, Corvallis.
- Lalley, J., Viles, H., Henschel, J., Lalley, V., 2006. Lichen-dominated soil crusts as arthropod habitat in warm deserts. *Journal of Arid Environments* 67, 579-593.
- Lavelle, P., 1996. Diversity of soil fauna and ecosystem function. *Biology International* 33, 3-16.
- Lavelle, P., Decaëns, T., Aubert, M., Barot, S., Blouin, M., Bureau, F., Margerie, P., Mora, P., Rossi, J.-P., 2006. Soil invertebrates and ecosystem services. *European Journal of Soil Biology* 42, S3-S15.
- Lavelle, P., Spain, A.V., 2001. *Soil ecology*. Kluwer Academic.
- Lawrence, K.L., Wise, D.H., 2000. Spider predation on forest-floor Collembola and evidence for indirect effects on decomposition. *Pedobiologia* 44, 33-39.

- Li, L.-J., Zeng, D.-H., Yu, Z.-Y., Fan, Z.-P., Yang, D., Liu, Y.-X., 2011. Impact of litter quality and soil nutrient availability on leaf decomposition rate in a semi-arid grassland of Northeast China. *Journal of Arid Environments* 75, 787-792.
- Liu, R., Zhu, F., Steinberger, Y., 2016. Changes in ground-dwelling arthropod diversity related to the proximity of shrub cover in a desertified system. *Journal of Arid Environments* 124, 172-179.
- Maestre, F.T., Quero, J.L., Gotelli, N.J., Escudero, A., Ochoa, V., Delgado-Baquerizo, M., García-Gómez, M., Bowker, M.A., Soliveres, S., Escolar, C., 2012. Plant species richness and ecosystem multifunctionality in global drylands. *Science* 335, 214-218.
- Malagnoux, M., 2007. Arid land forests of the world: global environmental perspectives. In, *International Conference on Afforestation and Sustainable Forests as a Means to Combat Desertification*, Jerusalem, Israel, pp. 16-19.
- McCahon, T., Lockwood, J., 1990. Nest architecture and pedoturbation of *Formica obscuripes* Forel (Hymenoptera: Formicidae). *Pan-Pacific Entomologist* 66, 147-156.
- Menta, C., 2012. Soil fauna diversity-function, soil degradation, biological indices, soil restoration. INTECH Open Access Publisher.
- Midgley, G.F., 2012. Biodiversity and ecosystem function. *Science* 335, 174-175.
- Moore, D., Robson, G.D., Trinci, A.P., 2011. 21st century guidebook to fungi with CD. Cambridge University Press.
- Neher, D., Lewins, S., Weicht, T., Darby, B., 2009. Microarthropod communities associated with biological soil crusts in the Colorado Plateau and Chihuahuan deserts. *Journal of Arid Environments* 73, 672-677.
- Noble, J.C., Whitford, W.G., Kaliszewski, M., 1996. Soil and litter microarthropod populations from two contrasting ecosystems in semi-arid eastern Australia. *Journal of Arid Environments* 32, 329-346.
- Orgiazzi, A., Bardgett, R.D., Barrios, E., Behan-Pelletier, V., Briones, M.J.I., Chotte, J.-L., De Deyn, G.B., Eggleton, P., Fierer, N., Fraser, T., Hedlund, K., Jeffery, S., Johnson, N.C., Jones, A., Kandeler, E., Kaneko, N., Lavelle, P., Lemanceau, P., Miko, L., Montanarella, L., Moreira, F.M.S., Ramirez, K.S., Scheu, S., Singh, B.K., Six, J., van der Putten, W.H., Wall, D.H., 2016. Global soil biodiversity atlas. European Commission, Luxembourg.
- Petersen, H., 2002. General aspects of collembolan ecology at the turn of the millennium. *Pedobiologia* 46, 246-260.
- Petersen, H., Luxton, M., 1982. A comparative analysis of soil fauna populations and their role in decomposition processes. *Oikos* 39, 288-388.
- Piñero, F., Tinaut, A., Aguirre-Segura, A., Miñano, J., Lencina, J., Ortiz-Sánchez, F., Pérez-López, F., 2011. Terrestrial arthropod fauna of arid areas of SE Spain: Diversity, biogeography, and conservation. *Journal of Arid Environments* 75, 1321-1332.
- Punzo, F., 2000. *Desert arthropods: Life history variation*. Springer-Verlag, Berlin.
- Rusek, J., 1992. Distribution and Dynamics of Soil Organisms Across Ecotones. In: Hansen, A.J., di Castri, F. (Eds.), *Landscape Boundaries: Consequences for Biotic Diversity and Ecological Flows*. Springer-Verlag, New York.
- Rusek, J., 1998. Biodiversity of Collembola and their functional role in the ecosystem. *Biodiversity & Conservation* 7, 1207-1219.
- Rushton, S.P., Hassall, M., 1983. Food and feeding rates of the terrestrial isopod *Armadillidium vulgare* (Latreille). *Oecologia* 57, 415-419.
- Santos, P.F., Whitford, W.G., 1981. The effects of microarthropods on litter decomposition in a Chihuahuan desert ecosystem. *Ecology*, 654-663.
- Seastedt, T., 1984. The role of microarthropods in decomposition and mineralization processes. *Annual review of entomology* 29, 25-46.
- Shekhawat, N.S., Phulwaria, M., Rai, M.K., Kataria, V., Shekhawat, S., Gupta, A.K., Rathore, N.S., Vyas, M., Rathore, N., Vibha, J., 2012. Bioresarches of fragile ecosystem/desert. *Proceedings of the National Academy of Sciences, India Section B: Biological Sciences* 82, 319-334.
- Somme, L., 1995. *Invertebrates in hot and cold arid environment*. Springer, Berlin.
- Swift, M.J., Heal, W., Anderson, J.M., 1979. *Decomposition in Terrestrial Ecosystems*. University of California Press, Berkeley.
- Torres, P., Abril, A., Bucher, E., 2005. Microbial succession in litter decomposition in the semi-arid Chaco woodland. *Soil Biology and Biochemistry* 37, 49-54.
- Villarreal-Rosas, J., Palacios-Vargas, J.G., Maya, Y., 2014. Microarthropod communities related with biological soil crusts in a desert scrub in northwestern Mexico. *Revista Mexicana de Biodiversidad* 85, 513-522.
- Wall, D.H., 2004. *Sustaining biodiversity and ecosystem services in soils and sediments*. Island Press.
- Wall, D.H., Adams, G.A., Parsons, A.N., 2001. Soil biodiversity. In: III., F.S.C., Sala, O.E., Huber-Sannwald, E. (Eds.), *Global Biodiversity in a Changing Environment: Scenarios for the 21st Century*. Springer-Verlag, New York, pp. 47-82.
- Wall, D.H., Bardgett, R.D., Behan-Pelletier, V., Herrick, J.E., Jones, T.H., Ritz, K., Six, J., 2012. *Soil ecology and ecosystem services*. Oxford University Press.

Wallwork, J., Macquitty, M., Silva, S., Whitford, W., 1986. Seasonality of some Chihuahuan Desert soil oribatid mites (Acari: Cryptostigmata). *Journal of Zoology* 208, 403-416.

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.

Wang, S., Ruan, H., Wang, B., 2009. Effects of soil microarthropods on plant litter decomposition across an elevation gradient in the Wuyi Mountains. *Soil Biology and Biochemistry* 41, 891-897.

Wardle, D.A., 2002. *Communities and ecosystems: linking the aboveground and belowground components*. Princeton University Press, Princeton.

Whitford, W.G., 1989. Abiotic controls on the functional structure of soil food webs. *Biology and Fertility of Soils* 8, 1-6.

Whitford, W.G., 1996. The importance of the biodiversity of soil biota in arid ecosystems. *Biodiversity and Conservation* 5, 185-195.

Whitford, W.G., Stinnett, K., Anderson, J., 1988. Decomposition of roots in a Chihuahuan Desert ecosystem. *Oecologia* 75, 8-11.

Wickings, K., Grandy, A.S., 2011. The oribatid mite *Scheloribates moestus* (Acari: Oribatida) alters litter chemistry and nutrient cycling during decomposition. *Soil Biology and Biochemistry* 43, 351-358.

Wolters, V., Silver, W.L., Bignell, D.E., Coleman, D.C., Lavelle, P., Van Der Putten, W.H., De Ruiter, P., Rusek, J., Wall, D.H., Wardle, D.A., 2000. Effects of global changes on above-and belowground biodiversity in terrestrial ecosystems: implications for ecosystem functioning. *BioScience* 50, 1089-1098.

Wright, C.J., Coleman, D.C., 2002. Responses of soil microbial biomass, nematode trophic groups, N-mineralization, and litter decomposition to disturbance events in the southern Appalachians. *Soil Biology and Biochemistry* 34, 13-25.