



## Tatlı Su Protozoonları ve Önemi

Naciye Gülkız ŞENLER\*

İsmail YILDIZ

Yüzcüncü Yıl Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Biyoloji Bölümü, 65080, Van, TÜRKİYE

\*Sorumlu Yazar

e-posta: ngulkiz@hotmail.com

### Özet

Bu çalışmada tatlı sularda yaşayan protozoonlar hakkındaki bilgileri bir araya getirmek amaçlanmıştır. Protista üyeleri çok çeşitli habitatlarda yaşarlar. Deniz, tatlısu ve diğer organizmaların vücutları da dahil olmak üzere nemli olan her yerde bulunurlar. Protozoonlar tek hücreli, fagotrofik organizmalardır. Protista'nın 16 şubesi, serbest yaşayan tatlı su protozoon türlerini içerir. Çoğunluğu bakteri üzerinden beslenirken, bazıları ise bakteriyel ayrıştırma sonucu oluşan çözünmüş organik maddeleri absorbe edebilir. Protozoonların mikrobiyal besin ağında ve organik olarak kirletilmiş olan suların arıtılmasında önemli rolleri bilinmektedir. Bunların yanı sıra atık su arıtma sistemlerinin performans göstergesi ve doğal suların kirlilik ve ötrofikasyon indikatörü olarak da kullanılmaktadır. Tatlı su protozoon türleri muhtemelen hemen her yerde mevcut türlerdir. Çünkü çoğunluğu uzun zaman lokal olarak kriptomik durumda kalabilirler ve aktif biyoçeşitlilikten çok potansiyel biyoçeşitlilikten söz edilir.

**Anahtar Kelimeler:** Protista, Protozoa, Tatlısu Protozoonları, Biyoçeşitlilik, Komünite

### Abstract

In this review, it is to be purpose to pull together from knowledges regarding of protozoans in freshwaters. The members of the Protista inhabit in many various habitats. They live in marine, fresh-water and all moist habitats including bodies of other organisms. Protozoa are unicellular, phagotrophic organisms. 16 phyla of protists contain free living freshwater protozoans species. The most of them feed on bacteria, while some absorbe dissolved organic matters occuring during bacterial purification. Protozoa play an important role microbial food web and in the purification organically polluted waters. Furthermore, they also may use as indicator organisms of the performance of water-treatment plants, and the pollution and eutrophication of the natural waters. Freshwater protozoans species are probably ubiquitous. Many may persist locally for long periods in a cryptic state and, in this situation it is mentioned as potential rather than active biodiversity.

**Keywords:** Protista, Protozoa, Freshwater Protozoans, Biodiversity, Community

### GİRİŞ

Protozoa tek hücreli, ökaryotik mikroorganizmalardır. Özellikle bakteri, tek hücreli alg ve diğer protistler üzerinden beslenirler. 80.000'in üzerinde protozoon türü tanımlanmıştır. Bunların yarısından fazlası fosil, yaklaşık 10.000 kadarı da simbiyonttur [1]. Protozoon türleri uzun yıllar sadece insanlara verdikleri zarar düşünülerek, parazitolojik açıdan ele alınmış, serbest yaşayan protozoonlar ihmal edilmiştir. Gerçekte çok sayıda parazit protozoon olmasına rağmen, daha da fazla sayıda hem sucul hem de karasal habitatlarda yaşayan serbest protozoon türü bulunmaktadır. Serbest yaşayan protozoonların buldukları ortamdaki önemlerinin anlaşılmasından sonra, araştırmacılar dikkatlerini tıbbi protozoolojiden, serbest yaşayan protozoonların ekolojisine çevirmişlerdir.

Genel limnolojik çalışmalarda heterotrofik protozoa uzun bir süre dikkate alınmamıştır. Kesin olarak ortaya koymak güç olmakla birlikte, bu ihmalin sebebi, muhtemelen uzman eksikliği veya daha büyük olan metazoonlara göre preparasyon işlemlerinin zor ve zaman alıcı olması gösterilebilir [2].

Protozoonların mikrobiyal besin ağında ve organik kirlilik yükü yüksek suların arıtılmasında önemli rolleri bulunmaktadır. Bunların yanı sıra atık su arıtma sistemlerinin performans göstergesi ve doğal suların kirlilik ve ötrofikasyon indikatörü olarak da kullanılmaktadırlar [3-9].

Protozoon türlerinin planktonik besin ağının önemli bir parçası olduğu ve sucul habitatlarda toplam zooplankton biyoması içerisinde önemli bir yere sahip olduğunun anlaşılmasından sonra göl, gölet, akarsu, rezervuar, kaynak suları ve sulak

alanlar gibi tatlı su ekosistemlerinde, protozoon biyomas ve tür çeşitliliğinde meydana gelen mevsimsel değişimler, komünite yapıları çeşitli çalışmalarda ele alınmıştır.

Ülkemizde değişik ekosistemlerde bulunan farklı organizma gruplarına ait çalışmalarda büyük aşamalar kaydedilmiş olmasına karşın, protozoonlar ile ilgili çalışmalar yeterli ölçüde değildir. Türkiye tatlı su protozoonları ile ilgili bilgiler yeni, az ve eksiktir. Bu çalışmanın bu alanda yapılacak olan araştırmalara temel bilgi sağlaması beklenmektedir.

#### Protista Alemi ve Protozoonlar

Önceleri tüm canlılar iki alemlî sınıflandırma sistemi (Kingdom: Plantae, Kingdom: Animalia) içerisinde ya bitki ya da hayvan olarak kabul edilmişler ve protozoonlar hayvanlar alemine dahil edilmişlerdir. Uzun bir zamandır kullanılmakta olan Whittaker'in beş-alemlî sınıflandırma sisteminde bitki, mantar ya da hayvan tanımına uymayan tüm ökaryotik hücre organizasyonu gösteren tek hücreli canlılar Protista alemini oluşturmaktadır. Moleküler tekniklerin gelişmesi sonucunda canlı türleri arasındaki filogenetik ilişkiler ortaya çıkarılmış ve üç domain (süperkingdom) sistemi (Bacteria-Archaea-Eukarya) bilim dünyasına girmiştir. Bu sınıflandırma sisteminde bütün ökaryotik canlılar üçüncü domain olan Eukarya'ya dahil edilmiş ve domain Eukarya dört aleme (Protista-Plantae-Fungi-Animalia) bölünmüştür. Son zamanlarda bilim adamları bugün yaşayan türler arasındaki filogenetik ilişkilere dayanan sekiz alemden (Archaeobacteria-Eubacteria-Archaeozoa-Protista-Chromista-Plantae-Fungi-Animalia) oluşan yeni bir sınıflandırma sistemini teklif etmişlerdir [10,11].

Archaeozoa olarak sınıflandırılan bir hücreli organizmalar (Archaeamoebae-Metamonada-Microsporidia) gerçek bir çekirdeğe sahiptirler, ancak mitokondri, endoplazmik retikulum ve Golgi aygıtından yoksundurlar. Moleküler verilere göre, Archaeozoa üyeleri en eski ökaryotik hücreler olup, anaerobik periyodda, Golgi ve endoplazmik retikulumun gelişimi ve mitokondriyal simbiyontların hücreye dahil olmasından önce, ökaryotik evrim hattından ayrılmışlardır. Kahverengi algler ile klorofil c içeren diğer tek hücreli ökaryotlar Chromista adı altında ayrı bir alem içerisinde toplanmış, geriye kalan bir hücreli ökaryotlar, Protista alemine dahil edilmişlerdir [10-13].

Protista üyeleri yapı ve işlev bakımından çok çeşitlidir ve sınıflandırılması güçlüklerle dolu bir geçmişe sahiptir. Bu alemin sınırı değişik sınıflandırmalar arasında büyük farklılıklar göstermektedir [12, 14-16]. Çoğunluğu tek hücreli ve mikroskobik ökaryot canlılar olmasına karşın, aynı zamanda daha basit çok hücrelileri ve hatta deniz yosunları gibi karmaşık yapıları kapsar. Bunları bir araya toplayan asıl faktör hayvan, mantar ya da gerçek bitki olmamalarıdır. Protista aleminin, geleneksel bir yaklaşımla hayvan benzeri (Mastigophora-Sarcodina-Ciliata), mantar benzeri (Sporozoa-Mycetozoa-Gymnomycota), bitki benzeri (Euglenoidea-Dinoflagellata) gruplar şeklinde düzenlenmesi kabul görmektedir.

Hayvan benzeri bir hücreliler olarak "Protozoa", evrimsel ya da sistematik bir anlam ifade etmediğinden, takson olarak kabul edilmez. Protozoa kavramı, fonksiyonel anlamda bir organizasyon düzeyini ifade etmek için kullanılır. Bu grubu oluşturan organizmalar, hayvanlarla aynı tip beslenme stratejisini kullanırlar. Hayvan benzeri bir hücreliler enerji ve besinlerini heterotrofi yoluyla (osmotrofi-fagotrofi) elde ederler. Çok sayıda flagellat mikсотrofiktir ve her iki beslenme stratejisini de (heterotrofi-ototrofi) kullanırlar. Bir çok heterotrofik protozoa da sitoplazmalarında fotosentez yapabilen endosimbiyontlar içerirler.

Protozoanın olağanüstü çeşitliliğini içeren bir sınıflandırma sistemi düzenlemek oldukça zordur. Finlay ve Esteban [17] belirleyici karakter olarak fagotrofinin önemini vurgulayarak, tatlı suda yaygın olarak bulunan serbest yaşayan protozoonları aşağıda belirttiği gibi 16 şubeye ayırmışlardır. Bu sınıflandırmada protozoa kavramı, eski sınıflandırmalarda tanımlanan Kingdom Protozoa'yı ve geleneksel bir şekilde protozoon olarak kabul edilen ancak şimdi Archaeozoa ve Chromista'ya (esas olarak fototrofik protistler ya da alglerdir) dahil edilen organizmaları içermektedir.

**ARCHAEAMOEBAE:** Mitokondriden yoksun, tek-kamçılı amebiyot hücreler olup, "pelobiont"lar da denir (örneğin *Mastigamoeba*, *Mastiginella*, *Pelomyxa*). Kamçı *Pelomyxa* cinsinde güçlkle gözlenir, bu nedenle amip olarak da tanımlanmaktadır. Organik madde bakımından zengin, anoksik sedimentlerde yaygın olarak bulunurlar. Özel bir besin tercihleri yoktur; bakteri, alg, detritus vs. üzerinden beslenirler.

**METAMONADA:** Mitokondriden yoksun

anaerobik kamçılı protistlerdir. İki, dört, sekiz (ya da bazen daha fazla) kamçı taşırlar. Çoğunluğu endokommensal olmasına karşın, parazit türler ve serbest yaşayan diplomonad türleri de (örneğin *Hexamita*, *Trepomonas*) içerir. Organik olarak zengin, anoksik sedimentlerde yaygın olarak bulunurlar, bakteri üzerinden osmotrofik ve fagotrofik olarak beslenirler.

PERCOLOZOA: Genellikle 1-4 (bazen daha fazla) arasında değişen kamçı taşıyan flagellatları (örneğin amebosit olmayan dört kamçılı *Percolomonas*, çok kamçılı pseudosiliyatlar), geçici kamçılı safhaları bulunan amebosit flagellatları (örneğin iki kamçılı *Naeglaria*, dört kamçılı *Tetramitus*), kamçılı safha bulunmayan amebosit formları (örneğin *Vahlkampfia*) ve modifiye olmuş mitokondri (hidrogenozom) içeren anaerobik flagellatları (örneğin *Psalteriomonas*) içeren karışık bir gruptur. Bazıları fakültatif patojendirler. Tümü sedimentlerde yaşar ve esas olarak bakteri üzerinden beslenirler.

PARABASALA: Çok sayıda kamçıya sahip hidrogenozom içeren anaerobik, heterotrofik flagellatlarıdır. Karakteristik olarak parbasal cisimcik (modifiye olmuş Golgi) içerirler. Muhtemelen *Ditrichomonas*, *Pseudotrichomonas* hariç, hemen hemen tümü endosimbiyotiktir. İyi bilinmemekle beraber, bakteri üzerinden beslendikleri tahmin edilmektedir. Bazı araştırmacılar Parabasala'yı Archaeozoa alemine dahil ederler.

EUGLENOZOA: Genellikle iki (nadiren daha fazla) kamçı taşıyan flagellatlarıdır. Kamçılardan biri ya da her ikisi de anteriyör bir çöküntüden çıkar. Çoğu fagotrofik (örneğin *Rhychomonas*, *Bodo*, *Astasia*, *Paranema*, *Entosiphon*, *Anisonema*). Fagotrofik türler esas olarak sedimentlerde yaşarlar ve buraya tutunmuş bakteriler ya da su sütununda asılı duran bakteriler üzerinden beslenirler. *Entosiphon* gibi daha büyük öglenoitler büyük partiküllerle beslenirler. Kinetoplastid içeren biflagellat bodonidleri de içerir. Serbest yaşayanlara ilaveten simbiyotik olan üyeleri de vardır. *Ichthyobodo necator* tatlı su balıklarının solungaçlarında ektoparazit olarak yaşar.

OPALOZOA: Çoğu biflagellat protistlerdir (*Anisomonas*, *Apusomonas*, *Cercomonas*, *Heteromita*). Esas olarak bakteri üzerinden beslenirler. *Kathalepharis* türleri planktonda küçük algler üzerinden, bazıları ise (örneğin *Cercomonas*) pseudopod oluşturarak bakteri üzerinden beslenirler. *Cyathobodo* kendini zeminde tespit etmek için sap oluşturur. Bu takson endokommensal olarak yaşayan opalinidleri de kapsar.

CHOANOZOA: Serbest yaşayan, tek kamçılı, renksiz flagellatlarıdır. Hücrelerin apikal yüzeyinde bulunan çok sayıda ince sitoplazmik uzantı, kamçının etrafında yaka benzeri bir yapı oluşturur. Çoğunlukla sesildirler. Soliter ya da koloniyal, çıplak ya da lorikal olabilirler. Sadece fagotrofik formları içerir, tatlı sudaki süspanse bakteri ve diğer küçük partiküller üzerinden beslenirler (örneğin *Codonosiga*, *Diploeca*, *Diplosigopsis*, *Monosiga*, *Sphaeroeca*).

DINOZOA: Ekolojik bakımdan önemli olan bir şubedir. Deniz ve tatlı sularda serbest, bir kısmı da diğer protistler veya metazoonlarda simbiyont olarak yaşayan, iki heterodinamik kamçı taşıyan flagellatlarıdır. Renksiz türler osmotrofikler, detritus ya da diğer protistler üzerinden beslenirler. *Katadinium*, *Peridinium*, *Gymnodium* ve *Ceratium* cinslerinde fagotrofik tatlı su türleri bulunur.

CILIOPHORA: Protista içerisinde yer alan şubeler arasında en homojen gruptan biridir. Nükleer dualizm (makro- ve mikronükleus) göstermeleri, hareket ve beslenme için sil veya bileşik sil yapıları (sir, membranel vs.) taşımaları, homothetogenik (enine) bölünmenin görülmesi (flagellatlarda symmetrogenik bölünme görülür) diagnostik özellikleridir. Bir çoğu kompleks ağız siliyatürüne sahiptir. Çoğu aerobiktir, anaerobik türlerde mitokondri yoktur ya da hidrogenozom bulunur. Siliyatlarda beslenme heterotroftir, fakat bazı türler fotosentetik algal protistler içerirler. Çoğunluğu serbest yaşar, çok sayıda türü kommensal veya nadiren de parazit olarak yaşayan simbiyontlardır. *Ichthyophthyrus multifiliis* balıklarda beyaz benek hastalığı etkenidir. Yumuşak zeminlerde geniş popülasyonlar oluştururlar (örneğin *Loxodes*, *Spirostomum*, *Caenomorpha*, *Aspidisca*, *Acineta*, *Nassula*, *Cyclidium*, *Vorticella*, *Frontonia*, *Paremecium*, *Prorodon*, *Lacrymaria*, *Actinobolina*). Bir çok siliyat serbest, fakat bazı peritrich ve suctorlar sesil yaşarlar. *Vorticella* soliterdir, fakat *Epistylis*, *Carchesium*, *Zoothamnium* ve *Operculata* koloniyaldir. Küçük türler bakteri üzerinden, büyük türler ise büyük tek hücreli algler, filamentöz siyanobakteri, diğer protozoonlar ve nadiren rotifer ve diğer mikrozooplankton üzerinden beslenirler. *Halteria viridis* gibi mikсотrofik türlerin metalimniyonda aşırı çoğalması primer üretim bakımından önemli olabilir.

RHIZOPODA: Beslenme ve hareket için pseudopod oluşturan, kamçısız amiplerdir. Yalancı ayaklar lobsu (lopod), ipliksi (filopod) ya da ağsı (retikulopod) olabilir. Çıplak amipler lobsu

(örneğin *Amoeba*, *Acanthamoeba*) ya da ipliksi (örneğin *Vampyrella*) yalancı ayaklara, kabuklu amipler ya lobsu (örneğin *Arcella*) ya da ipliksi (örneğin *Euglypha*) yalancı ayaklara sahiptirler. Foraminiferlerin (*Granuloreticulosa*) tümü hemen hemen denizeldir, kabuk yüzeyindeki deliklerden yalancı ayaklar ipliksi şekilde çıkarlar ve ağısı bir yapı şekillendirirler. Taksonun üyeleri esas olarak serbest yaşarlar, fakat endosimbiont olarak yaşayanları da vardır (örneğin *Entamoeba*). Serbest yaşayanların tümü fagotrofik heterotroflardır. Alg, detritus, bakteri vs. üzerinden beslenirler. *Vampyrella* filamentöz yeşil algler üzerinde parazit yaşarlar. Bazı kabuklular planktoniktirler (örneğin *Diffugia*).

HELIOZOA: Aksopodlu fagotrofik hücrelerdir. Sert, mikrotübüler aksonem içeren aksopodlar hücrenin etrafından ışınal olarak çıkar. Güneş hayvancıkları da denir. Esas olarak tatlı sularda yaşarlar (örneğin *Actinosphaerium*, *Actinophrys*, *Clathrulina*). Bazıları denizeldir. Alg, protozoa ve rotiferler üzerinden beslenirler. Aksopodlar diffüzyonla beslenmede kullanılır. Esas olarak planktonik protistlerdir ve sap ya da aksopodlar aracılığı ile yüzeye tutunabilirler.

BICOSOECA, DICTYOCHEAE, PHAEOPHYTA, HAPTOMONADA ve CRYPTOMONADA : Kingdom Chromista'ya ait şubelerdir. Çoğunluğu fototrof olduğu halde, fagotrofik türler de içerirler. Tatlısu formlarında mikstotrofi ve fagotrofi özellikle chrysonomalarda yaygındır. Chrysonomalar iki kamçılı, sesil ya da hareketli ve soliter ya da koloniyal olabilirler (örneğin *Spumella*, *Uroglena*, *Dinobryon*).

Beslenme ile ilgili organelleri başta olmak üzere, protozoon morfolojisi ve fonksiyonel rolleri arasında yakın bir ilişki vardır. Buldukları habitatlarda fonksiyonel rolleri dikkate alındığında, serbest protozoonlar siliyatlar, sarkodinler (kök bacaklılar) ve heterotrofik flagellatlar olmak üzere üç büyük gruba ayrılırlar. Fonksiyonel gruplar aynı yerde, bir arada yaşadıkları halde, besin yakalama mekanizmaları farklıdır. Flagellatlar genellikle 20µm'den, amipler 50 µm'den, siliyatlar 200 µm'den daha küçüktürler. Ancak bazı amip ve siliyatların büyüklükleri 2 mm'ye kadar ulaşabilir (örneğin *Pelomyxa*, *Actinosphaerium*, *Stentor*). Protozoonlar kendi büyüklüklerine uygun besini tercih ederek, mikrobiyal popülasyonları kontrol altında tutarlar.

Fonksiyonel özellikler dikkate alındığında, siliyatlar (besin yakalamada sil kullanırlar) yırtıcı beslenenler (örneğin *Prorodon*, *Monodinium*,

*Didinium*, *Dileptus*, *Chidonella*, *Nassula*), süzerek beslenenler (*Cyclidium*, *Colpidium*, *Vorticella*, *Aspidisca*, *Eupletes*, *Strombidium*, *Strobilidium*) ve difüzyon ile beslenenler (Suctoria) olarak ayrılabilirler. Sarkodinler kendi içinde üç fonksiyonel gruba ayrılır: çıplak amipler, kabuklu amipler ve heliozoonlar. Bu protistler gruplara göre çeşitlilik gösteren pseudopodlarla, protistin büyüklüğüne uygun olarak alg yada bakteriler üzerinden, *Pelomyxa* türleri canlı olmayan organik partiküller üzerinden beslenirler. Heterotrofik flagellatlar diğer gruplara göre daha küçüktürler. Bu nedenle sucul ortamlarda, yüzey ve dipte önemli bakteri tüketicileridir. Yırtıcı beslenme (örneğin chrysonomalar), süzerek beslenme (örneğin choanoflagellatlar) ve difüzyonla beslenme (örneğin *Ciliophrys* ve helioflagellatlar) bu grupta da görülür.

Taksonomik gruplar ile fonksiyonel gruplar arasında yakın bir ilişki yoktur. Farklı türler, benzer ekolojik fonksiyonları olmasına karşın, farklı taksonomik gruplarda yer alabilirler. Heliozoonlar ve helioflagellatlar morfolojik olarak birbirlerine benzedikleri halde, farklı şubelerde yer alırlar. Bu iki şube benzer beslenme stratejisine sahiptirler. Benzer şekilde farklı beslenme stratejisi geliştiren bir hücrelilere çeşitli taksonomik gruplarda rastlanmaktadır. Örneğin değişik pek çok bir hücreli grubunda fotosentez yapan türler vardır. Bir grup fotosentez yapan türleri, heterotrofik türleri ve mikstotrofik türleri içerebilir.

Protist çeşitliliği ile ilgili iki farklı görüş bulunmaktadır. Mikrobiyal çeşitliliğin, makroskobik hayvan ve bitki çeşitliliği ile ayırt edici bazı özelliklere sahip olduğunu vurgulayan Finlay ve Esteban [17], tatlı su protozoon türlerinin az sayıda bireyle ya da kist olarak temsil edilse bile, tüm nemli habitatlarda her zaman bulduklarını ve muhtemelen hiçbir zaman da yok olmadıklarını ifade etmişlerdir. Lokal olarak, birçok tür nadir ya da kriptiktir (gizli türler, kist halinde olanlar). Çevresel koşulların onların tercih ettikleri yönde gelişmesini beklerler. Uzun süre "aktif" durumdan çok "potansiyel" durumda kalırlar. Bundan dolayı aktif biyoçeşitlilikten çok, potansiyel biyoçeşitlilikten söz edilir. Boyutlarının küçük olması, dirençli kistler oluşturmaları ve bir yerden bir yere kolay bir şekilde taşınmalarından dolayı kozmopolit türler olarak kabul edilirler. Mikrobiyal ökaryot türlerin dağılışı nadir olarak coğrafik bariyerlerle sınırlanmıştır. Bu nedenle spesifik coğrafik dağılımları hakkında bilgi vermek oldukça zordur. Endemizm nadirdir,

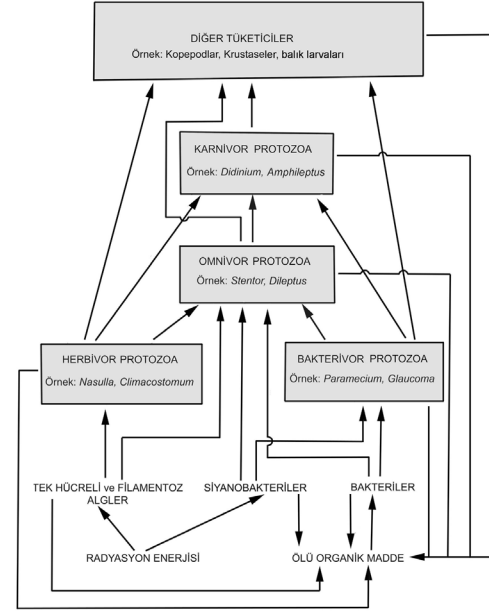
global tür çeşitliliği azdır ve en azından siliyatların çoğu halihazırda tanımlanmıştır [18-21]. Siliyat türlerinin çoğunun kozmopolit olduğu konusunda Finlay ve Fenchel'in görüşlerine katılan Foissner [22] önceki araştırmacıların aksine tür çeşitliliğinin çok fazla olduğunu, halen tanımlanmamış çok sayıda türün olduğunu, endemizmin yaygın olduğu ve spesifik coğrafik dağılış gösterdiklerini ileri sürmüştür. Yüksek yapılı hayvan ve bitkilerle karşılaştırıldığında, küçük oldukları ve yaşamlarının çoğunu kist safhasında geçirdikleri için protistleri tanımlamanın güç olduğunu ifade eden Foissner [23], sadece uygun koşullar oluştuğunda kistten çıktıklarını, birkaç tane her zaman mevcut ve sayısal olarak dominant tür tarafından gizlendiğini ve bu nedenle nadir türlerin gözden kaçırılabilceğini açıklamıştır.

### PROTOZOONLARIN SUCUL EKOSİTEMLERDEKİ GÖREVLERİ

Protozoonlar sucul ekosistemlerde madde ve enerji döngüsünün önemli organizma grubunu oluşturur. Hızlı büyüme yetenekleri, alg, bakteri ve çözülmüş besin kaynaklarını kullanabilmeleri, kendilerinden daha büyük diğer yaşam formlarına av oluşturmaları nedeni ile sucul besin ağında anahtar role sahiptirler. Bazı üyeleri fotosentetik yolla besinlerinin bir kısmını sentezleme yeteneğine sahip olmakla birlikte, serbest yaşayan formların tamamı kendilerinden daha küçük mikroorganizmaları besin olarak kullanırlar. Çoğu kez üzerinden beslendikleri avları ile eş büyüme potansiyeline sahip olduklarından büyük popülasyonlar meydana getirirler ve diğer mikrobiyal popülasyonların gelişimini kontrol ederler. Protozoon predasyonu sucul ekosistemlerdeki bakteriyel ölümün en büyük kaynağını oluşturur. Tek hücreli veya filametöz alglerin en önemli tüketicileridir. Aynı zamanda diğer protozoonları hatta metazoon yumurtaları ve küçük krustaseleri besin olarak kullanabilirler. Bununla birlikte, metazooplanktonlar gibi küçük omurgasız canlılar ile bazı balık larvaları gibi daha büyük canlılar için da besin oluştururlar [17, 24-26].

Yakın zamanlara kadar sucul habitatlardaki besin ve enerji akışının, diyatom ve dinoflagellatlar gibi büyük fitoplanktonlar üzerinden beslenen zooplanktonlar aracılığıyla, balıklar gibi daha büyük organizmalara doğru olduğu düşünülmekteydi. Son zamanlarda bu görüş değişmiştir. Sucul primer üretimin büyük bir kısmının küçük ökaryotik

algler ve siyanobakteriler tarafından üretildiği ve bu üretimin önemli bir miktarının protozoonlar tarafından tüketildiği bilinmektedir. Aynı zamanda primer üretimin önemli bir kısmı çözülmüş organik madde olarak ortama salınmakta ve bu maddeler bakteriler tarafından kullanılmaktadır. Bakteriler diğer organizmaların ölmesinden ve salgılarından oluşan organik maddeleri de besin olarak kullanırlar [27]. Protozoonlar, bakteriler üzerinden beslenerek bu kaynakları da zooplanktonlar aracılığı ile besin ağının daha ileri kısımlarına pompalayan anahtar organizmalar olarak karşımıza çıkarlar (Şekil 1).



Şekil 1. Tatlısu mikrobiyal besin ağı.

Protozoon komüniteleri dinamik yapılar olup, ortamın fiziksel ve kimyasal koşullarında meydana gelen değişikliklere duyarlıdır. Çevresel koşullarda meydana gelen değişikliklere hücre bölünmesi, kist oluşturma ve kistten çıkma şeklinde hızla cevap verirler. Bundan dolayı, protozoon çeşitliliği ve spesifik türler, ekosistemdeki değişikliklerin indikatörü olarak kullanılabilir [5, 28].

Protozoa organik olarak kirletilmiş suların doğal arıtım sürecinde de rol alır. Ortamdaki çözülmüş ve partiküler organik materyali besin olarak kullanarak bu maddelerin ortamdaki uzaklaştırılmasını sağladıkları gibi, bunların üzerinden beslenen bakterileri tüketerek onların aktivitelerini de uyarır.

Sucul habitatlarda bulunan protozoonların

tümü faydalı organizmalar değildirler. Bazıları halk sağlığında ciddi problemlere neden olan insan bağırsak parazitleridir. Bunların kistleri ile kontamine olmuş sular aracılığıyla, bir konaktan diğerine geçerler: *Giardia lamblia* (flagellat), *Entamoeba histolytica* (amip), *Cryptosporidium* spp. (sporozyon). Parazitik *E. histolytica* dışında insan bağırsağında yaşayan diğer amip türleri (*E. hartmanni*, *E. coli*, *Endolimax nana*, *Iodamoeba buetschlii*) zararsız kommensaller olup, patojen değildirler. Bazı küçük amip türleri doğal olarak sularla ya da nemli topraklarda serbest yaşarlar, ancak insana ve diğer memelilere bulaştıklarında patojen özellik kazanırlar. *Naegleria fowleri* ve çeşitli *Acanthamoeba* türleri öldürücü amibik meningoensefalite neden olurlar. Bazı serbest yaşayan tek hücreli formlar da patojenik bakteri taşırlar ve hastalık rezervuarları olarak fonksiyon görürler. Bakteriler tek hücreli sitoplazmasında sadece yaşamlarını devam ettirmezler, aynı zamanda çoğalarak sitoplazmayı doğal habitat olarak kullanırlar [5]. Fotosentetik dinoflagellatların ekzotoksinleri, balık ve denizel omurgasızlar tarafından alınarak besin zinciri vasıtasıyla insana kadar taşınırlar. Bu ekzotoksinler birikim sonucunda öldürücü olabilirler. Bazı protozoon türleri ise tatlı su balıklarında ekto- (örneğin *Ichthyophthirus multifilis*, *Tetrahymena corlissi*, *Trichodina* spp., *Chilodonella piscicola*, *Ichthyobodo necator*, *Piscinoodinium* sp., *Epistylis* spp.) ve endoparazit (örneğin *Octomitus salmonis*, *Trypanoplasma borreli*) olarak yaşarlar ve kültür balıkçılığında önemli zararlara neden olurlar [29-31].

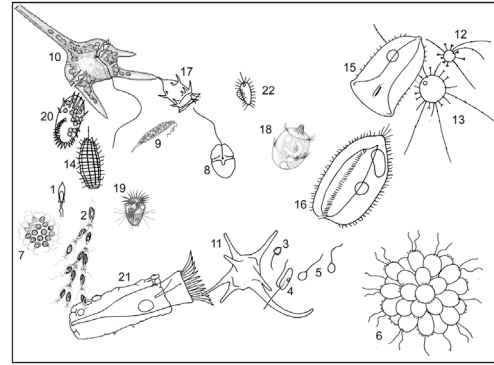
### PROTOZOON KOMMÜNİTELERİ

Ekologlar komüniteyi zaman ve mekan ile sınırlanmış, birbirleri ile etkileşim içinde bulunan türler topluluğu olarak tanımlarlar. Pratikte protozoa gibi belli organizma grubu için kesin bir komünite sınırlaması yapmak çoğu kez zor veya imkansızdır. Zira aynı habitatta protozoon olmayan fakat protozoonlarla av-avcı ilişkisi olan, onlarla besin ve diğer kaynaklar için rekabet eden diğer organizmalar da mevcuttur. Bunun yanı sıra aynı zaman ve mekanda bulunan bazı protozoonlar arasında ilişkiler çok zayıf, hatta hiç olmayabilir. Protozoon komünite kavramında bir diğer problem de örnekler konusunda karşımıza çıkmaktadır. Sucul bir habitatından alınan bir kavanoz su örneği çok sayıda pelajik protozoon türünü içerir. Fakat aynı örnek bir miktar askıda katı madde ve bunlara bağlı olarak yaşayan, pelajik

olmayan protozoonları da içerebilir. Benzer şekilde sediment örnekleri de sedimente ait olmayan diğer protozoon gruplarını içerebilir. Bütün bu sebeplerden dolayı protozoon komüniteleri gerçek anlamda biyolojik komüniteden ziyade benzer habitatlarda birlikte bulunan protozoon toplulukları anlamında kullanılmaktadır. Tatlı su protozoonları yaşama alanlarına göre pelajik (planktonik), bağlı (perifiton) ve bentik olmak üzere üç farklı komünite altında incelenebilir [3, 28].

### Pelajik Komünite

Pelajik komünite üyeleri su sütununda serbest olarak yaşayan türleri içerir. Koloni oluşturan veya ayrı yaşayan flagellatlar ile siliyatlardan oluşur (Şekil 2). Flagellat kolonileri genellikle küresel biçimli (*Gonium*, *Synura*) olmakla birlikte, saçaklı formlara sahip olan üyeleri (*Dinobryon*) de mevcuttur. Heterotrofik kamçılılar bakteriler, siliyatlar ise bakteri alg, flagellat protozoa ve diğer siliyatlar ile beslenir. Çözünmüş oksijen miktarının düşük olduğu habitatlarda bazı siliyatlar (*Coleps*, *Euplotes* gibi) endosimbiyotik alg taşıyabilirler. Bu algler konağa besin ve oksijen sağlar.

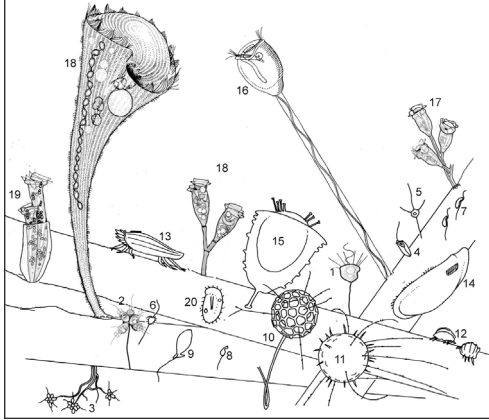


**Şekil 2.** Bazı pelajik protozoon komünite üyeleri. 1,2 *Dinobryon*, 3 *Paraphysomonas*, 4 *Kathablepharis*, 5 *Trachelomonas*, 6 *Synura*, 7 *Gonium*, 8 *Gymnodinium*, 9 *Euglena*, 10 *Ceratium*, 11 *Amoeba*, 12 *Raphidocystis*, 13 *Acanthocystis*, 14 *Coleps*, 15 *Phascolodon*, 16 *Lembadion*, 17 *Hastatella*, 18 *Didinium*, 19 *Halteria*, 20 *Euplotes*, 21 *Tintinidium*, 22 *Cyclidium*. (Patterson ve Hedley, 1992'den değiştirilerek).

### Bağlı Komünite (Perifiton)

Su yüzeyinde veya içerisinde bulunan bitkiler, hayvanlar ve diğer partiküller ile zemin materyali üzerinde yaşayan protozoonları içerir (Şekil 3).

Bazı türler sürekli veya geçici olarak üzerinde yaşadıkları materyale tutunmuş olarak, bazıları da bu materyaller üzerinde sürünerek yaşamlarını sürdürürler. Bir grubu da (örneğin, *Vorticella* spp.) hücre bölünmesinden sonra bir süre serbest olarak (larval evre) yaşar. Bakteri, alg, diyatom ve diğer protozoonları besin olarak kullanırlar. Sesil türler çoğunlukla bakterileri süzerek beslenir.

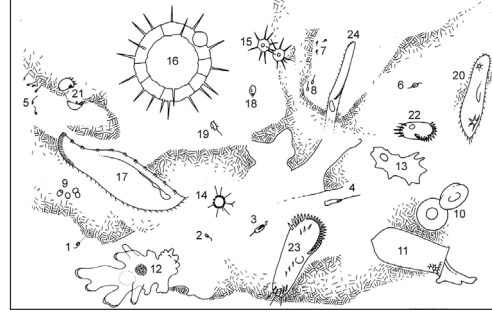


**Şekil 3.** Bazı bağlı protozoon komünite üyeleri. 1 *Actinomonas*, 2 *Codosiga*, 3 *Anthophysa*, 4 *Bicosoeca*, 5 *Actinomonas*, 6 *Paraphysomonas*, 7 *Bodo*, 8 *Rhynchomonas*, 9 *Urceolus*, 10 *Clathrulina*, 11 *Acanthocystis*, 12 *Aspidisca*, 13 *Euplotes*, 14 *Trithigmostoma*, 15 *Acineta*, 16 *Vorticella*, 17 *Zoothamnium*, 18 *Epistylis*, 19 *Vaginicola*, 20 *Chilodonella*. (Patterson ve Hedley, 1992'den değiştirilerek).

#### Bentik Komüniteler

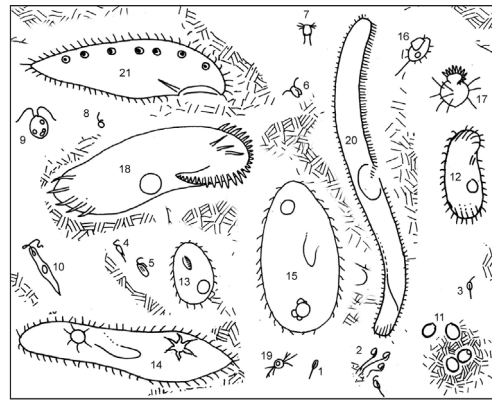
Sucul habitatların zeminini oluşturan bentik bölge, organik materyalin biriktiği, biyolojik verimliliğin yüksek olduğu ortamlardır. Burada yaşayan protozoon tür kompozisyonu, ortamdaki organik madde ve çözünmüş oksijen miktarına göre değişir. Bu bakımdan bentik protozoon komüniteleri temiz, organik maddece zengin ve anoksik bentik bölge komüniteleri olmak üzere üç kısımda ele alınacaktır.

Temiz bentik komünite: Organik madde birikiminin az olduğu bentik bölgelerde yaşayan protozoonların oluşturdukları popülasyonlardır. Bol miktarda bakteri ve bunlar üzerinden beslenen protozoon gruplarını barındırır (Şekil 4). Protozoon çeşitliliği ve bolluğu mevsime, organik maddenin miktarı ve suyun derinliği gibi faktörlere bağlı olarak değişir.



**Şekil 4.** Bazı temiz bentik bölge protozoonları. 1 *Paraphysomonas*, 2 *Notosolenus*, 3 *Entosiphon*, 4 *Paraneme*, 5 *Bodo*, 6 *Protaspis*, 7 *Rhynchomonas*, 8 *Petalomonas*, 9 *Cryptodiffugia*, 10 *Arcella*, 11 *Diffugia*, 12 *Amoeba*, 13 *Mayorella*, 14 *Pompholyxophrys*, 15 *Actinophrys*, 16 *Actinosphaerium*, 17 *Loxophyllum*, 18 *Cinetochilum*, 19 *Cyclidium*, 20 *Paramecium*, 21 *Apidisca*, 22 *Euplotes*, 23 *Stylonchia*, 24 *Spirostomum*. (Patterson ve Hedley, 1992'den değiştirilerek).

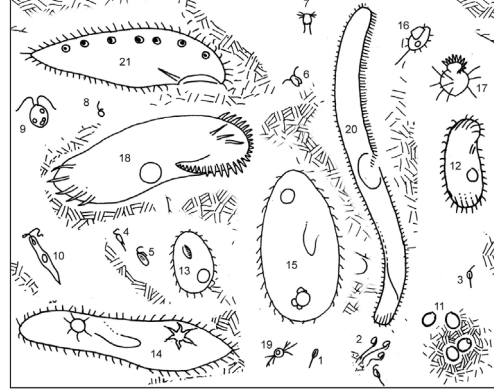
Organik maddece zengin bentik komünite: Organik maddece zengin fakat anoksik koşulların hüküm sürmediği ortamlarda bulunan mikroaerofilik protozoonların oluşturduğu popülasyonlarıdır (Şekil 5). Düşük çözünmüş oksijen ve asiditeye toleranslı türleri içerir. Tür çeşitliliği azdır. Bakteriler ve çözünmüş organik madde protozoonların temel besin kaynağını oluşturur.



**Şekil 5.** Organik maddece zengin bentik bölge protozoonları. 1 *Helkesimastix*, 2 *Bodo*, 3 *Heteromita*, 4 *Cercomonas*, 5 *Chilomonas*, 6 *Trepomonas*, 7 *Hexamita*, 8 *Spumella*, 9 *Polytoma*.

10 *Astasia*, 11 *Cryptodiffugia*, 12 *Colpidium*, 13 *Glaucoma*, 14 *Paramecium caudatum*, 15 *Paramecium putrinum*, 16 *Cyclidium*, 17 *Halteria*, 18 *Holostica*, 19 *Diplophrys*, 20 *Spirostomum teres*, 21 *Loxodes*. (Patterson ve Hedley, 1992'den değiştirilerek).

Anaerobik bentik kommunitte: Sucul ortamlarda aşırı organik madde birikimi yoğun mikrobiyal aktiviteye ve buna bağlı olarak yüksek çözünmüş oksijen kullanımına sebep olur. Mikroorganizmalar tarafından kullanılan oksijen, sisteme giren oksijenden daha fazla olduğu durumlarda oksijen tamamen kullanılacak ve anaerobik koşullar hüküm sürecektir. Bu gibi aşırı organik maddenin bulunduğu oksijensiz sedimentlerde yaşayan protozoon populasyonları anaerobik kommuniteler olarak bilinir (Şekil 6). Tür çeşitliliği oldukça düşüktür. Oksijen bu organizmalar için öldürücüdür. Temel besin kaynaklarını sülfür bakterileri oluşturur.



**Şekil 6.** Anaerobik bentik protozoon kommunitesi. 1 *Mastigoamoeba*, 2 *Mastigella*, 3 *Hexamita*, 4 *Trepomonas*, 5 *Trigonomonas*, 6 *Brachonella*, 7 *Metopus*, 8 *Spirostomum*, 9 *Plagiopyla*, 10 *Loxodes*, 11 *Saprodinium*, 12 *Myelostoma*, 13 *Caenomorpha*, 14 *Trimyema*, 15 *Lagynus*, 16 *Pseudocohnilembus*, 17 *Enchelyomorpha*. (Patterson ve Hedley, 1992'den değiştirilerek).

**Çizelge 1.** Atık su arıtma tesislerinde bulunan bazı protozoon türleri (Curds, 1992'den).

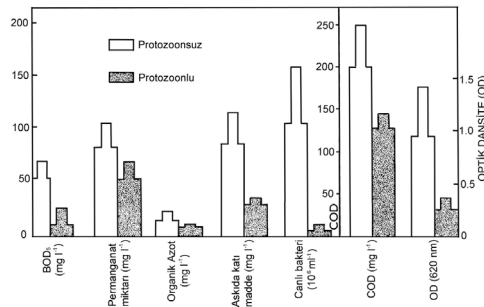
Siliyatlar	Amipler	Flagellatlar
<i>Trachelophyllum pusillum</i>	<i>Amoeba proteus</i>	<i>Bodo</i> spp.
<i>Amphileptus claparedei</i>	<i>Acanthamoeba castellanii</i>	<i>Pleuromonas jaculans</i>
<i>Litonotus fasciola</i>	<i>Hartmanella</i> sp.	<i>Euglena</i> sp.
<i>Chilodonella uncinata</i>	<i>Naegleria</i> sp.	<i>Peranema trichophorum</i>
<i>Cyclidium</i> spp.	<i>Arcella vulgaris</i>	Koanoflagellatlar
<i>Glaucoma scintillans</i>	<i>Centroptxis aculeata</i>	
<i>Cinetochilum margaritaceum</i>	<i>Euglypha</i> sp.	
<i>Carchesium polypinum</i>		
<i>Zoothamnium</i> sp.		
<i>Vorticella</i> spp.		
<i>Epistilis plicatilis</i>		
<i>Opercularia</i> spp.		
<i>Aspidisca cicada</i>		
<i>Euplotes</i> spp.		
<i>Stylonychia</i> spp.		
<i>Tachysoma pellionella</i>		



### ARITMA TESİSLERİ VE PROTOZOA

Çalışma metodları birbirinden farklı olsa da arıtma tesislerinin tamamı çeşitli protozoon gruplarını barındırır (Çizelge 1). Biyolojik unsurlar organik madde üzerinden beslenerek organik maddenin topaklaşmasını ve çökmesini sağlarlar. Bakteri bu maddelerin sıvı fazdan uzaklaştırılmasında rol alan en etkin organizma grubunu oluşturur. Protozoonlar, atık su arıtma sistemlerinde biyolojik parçalanmadan sorumlu bakteriler üzerinden beslendiklerinden dolayı, önceleri sistem için zararlı organizmalar oldukları düşünülmekteydi. Fakat daha sonraları yapılan çalışmalar protozoal predasyonun bakteriyel aktiviteyi teşvik ettiği ve dolayısıyla mikrobiyal parçalanma hızını artırdığı sonucunu ortaya çıkarmıştır. Günümüzde aktif çamur sistemlerinde, protozoonların çıkış suyu kalitesi üzerinde hayati öneme sahip organizmalar oldukları bütün otoriteler tarafından kabul edilen bir gerçektir [5, 12, 24].

Aktif çamur sistemi ile çalışan arıtma tesislerinde protozoonların rolünü belirlemek amacıyla çeşitli çalışmalar yürütülmüştür [5, 32, 33]. Bu çalışmalarda laboratuvar koşullarında geliştirilen arıtma modelleri protozoonlu ve protozoonluz olarak çalıştırılmış, çıkış suları analiz edilmiştir. Protozoonluz olarak çalışan arıtma modellerinin tamamında düşük kaliteli, protozoonlu çalışanların ise daha yüksek kaliteli çıkış suları ürettikleri görülmüştür (Şekil 7). Daha sonra protozoonluz çalışan ünitelere aktif çamur protozoonları aşılandığında çıkış suyu kalitesinde önemli iyileşmeler olduğu gösterilmiştir.



**Şekil 7.** Protozoonlu ve protozoonluz çalışan aktif çamur arıtma modellerinin çıkış suyu parametrelerinin karşılaştırılması (Curds, 1992'den).

Protozoonların bakteri predasyonu, mikrobiyal aktiviteyi uyardığı gibi aşırı bakteriyel üremeyi kontrol ederek, çıkış suyundaki bakteri süsbansiyonunun azaltılması açısından da önem arz ederler. Protozoonlar genel olarak bakterileri besin olarak kullanmakla birlikte bazı türleri ortamda bulunan çözünmüş ve partiküler organik maddeleri de tüketerek arıtım sürecine doğrudan katılırlar. Ayrıca kesin veriler olmamakla birlikte, protozoonların sil ve kamçı hareketleri mikrosirkülasyon sağlayarak bakterilerin organik maddeyi kullanmalarına katkıda bulduklarına dair görüşler de mevcuttur [32].

### KAYNAKLAR

- [1] Corliss, JO. 2000. Biodiversity, Classification, and Numbers of Species of Protists. In: Nature and Human Society: The Quest Sustainable World (ed. PH. Raven, T. Williams ), pp.130-155, National Academy Press, Washington DC.
- [2] Foissner W, 1999. Soil Protozoa as Bioindicators: Pros and Cons, Methods, Diversity, Representative Examples. Agriculture, Ecosystems and Environment, 74:95-112.
- [3] Fenchel T, 1987. Ecology of Protozoa. Science Tech. Inc., Wisconsin, U.S.A.
- [4] Anderson OR, 1988. Comparative Protozoology-Ecology, Physiology, Life History. Springer-Verlag, New York Inc.
- [5] Curds CR, 1992. Protozoa in the Water Industry. Cambridge University Pres, U.K.
- [6] Sudo R, 1984. Role and Function of Protozoa in the Biological Threatment of Polluted Waters. Advances in Biochemical Engineering/Biotechnology, 29:117-141.
- [7] Augustin H, Foissner W, 1992. Morphologie und Ökologie einiger Ciliaten (Protozoa: Ciliophora) aus dem Belebtschlamm. Arch. Protistenkd., 141:243-283.
- [8] Foissner W, Berger H, 1996. A User-Friendly Guide to the Ciliates (Protozoa, Ciliophora) Commonly Used by Hydrobiologists as Bioindicators in Rivers, Lakes and Waste Waters, with Notes on their Ecology. Freshwater Biology, 35:375-482.
- [9] Şenler NG, Bıyık H, Yıldız, İ. 1999. A Study

- of the Relationships Between Microfauna and Water Quality in Biological Sewage-Treatment Plant of Yüzüncü Yıl University in Van. *Bio-Science Research Bulletin*, 15:37-47.
- [10] Campell NA, Reece JB, Urry LA, Cain ML, Minorsky PV, Wasserman SA, Jackson RB, 2008. *Biology*. Pearson Education Inc., 8. Edition, San Francisco.
- [11] Atatür KA, Budak A, Göçmen B, 2003. *Omurgasızlar Biyolojisi*. Ege Üniversitesi Fen Fakültesi Kitaplar Serisi, N0: 187, İzmir.
- [12] Sleight MA, 1989. *Protozoa and Other Protists*. Edward Arnold, New York, 342p.
- [13] Demirsoy A, Türkan İ, Gündüz E, 2004. *Genel Biyoloji (Keton WT, Gould JL, Gould CG.'den çeviri)*. Palme Yayıncılık, Sıhhiye, Ankara.
- [14] Corliss JO, 1994. An Interim Utilitarian ("User-Friendly") Hierarchical Classification and Characterization of the Protists. *Acta Protozool.* 33:1-51.
- [15] Lynn DH, Small EB, 2002. *The Illustrated Guide to the Protozoa* (ed. Lee JJ, Leedale GF, Bradbury P), 2. Edition. Allen Pres, Lawrence, Kansas.
- [16] Cavalier-Smith T, 2003. Protist Phylogeny and the High-Level Classification of Protozoa. *Europ. J. Protistol.*, 39:338-348.
- [17] Finlay BJ, Esteban GF, 1998. Freshwater Protozoa: Biodiversity and Ecological Function. *Biodiversity and Conservation*, 7:1163-1186.
- [18] Fenchel T, Esteban F, Finlay BJ, 1997. Local Versus Global Diversity of Microorganisms: Cryptic Diversity of Ciliated Protozoa. *Oikos*, 80:220-225.
- [19] Finlay BJ, 1998. Global Diversity of Protozoa and Other Small Species. *Int. J. Parasitol.*, 28:29-48.
- [20] Finlay BJ, 2002. Global Dispersal of Free-Living Microbial Eukaryote Species. *Science*, 296:1061-1063.
- [21] Finlay BJ, Fenchel T, 2004. Cosmopolitan Metapopulations of Free-Living Microbial Eukaryotes. *Protist*, 155:237-244.
- [22] Foissner W, 1999. Protist Diversity: Estimates of the Near-Imponderable. *Protist*, 150:363-368.
- [23] Foissner W, 1997. Global Soil Ciliate (Protozoa, Ciliophora) Diversity: A Probability-Based Approach Using Large Sample Collections From Africa, Australia and Antarctica. *Biodiversity and Conservation*, 6:1627-1638.
- [24] Laybourn-Parry J, 1994. *A Functional Biology of Free-Living Protozoa*. London & Sydne., UK, 218p.
- [25] Porter KG, Sherr EB, Pace M, Sanders MW, 1985. Protozoa in Planktonic Food Webs. *J. Protozool.*, 32:409-415.
- [26] Pratt JR, Lang BZ, Kaesler RL, Cairns J, 1986. Effect of Seasonal Changes on Protozoans Inhabiting Artificial Substrates in a Small Pond. *Arch. Protistenkd.*, 131:45-57.
- [27] Sherr EB, Sherr BF, 2002. Significance of Predation by Protists in Aquatic Microbial Food Webs. *Antonie van Leeuwenhoek*, 81: 293-308.
- [28] Patterson DJ, Hedley, S, 1992. *Free Living Freshwater Protozoa*. Wolfe Publishing Ltd., England.
- [29] Urawa S, Awakura T, 1994. Protozoa Diseases of Freshwater Fishes in Hokkaido. *Sci. Rep., Hokkaido Fish Hatchery*, 48:47-58.
- [30] Göçmen B. 2002. *Genel Parazitoloji*. Ege Üniversitesi Fen Fakültesi Kitaplar Serisi, No: 168, Ege Üniversitesi Basımevi, Bornova-İzmir.
- [31] Kim J-H, Hayward CJ, Joh S-J, Heo, G-J, 2002. Parasitic Infections in Live Tropical Fishes Imported to Korea. *Diseases of Aquatic Organisms*, 52:169-173.
- [32] Curds, CR, 1973. The Role of Protozoa in the Activated – Sludge Process, *Amer. Zool.*, 13: 161-169.
- [33] Madoni, P., Davoli, D., Chierici, E. 1993. Comparative Analysis of the Activated Sludge Microfauna in Several Sewage Treatment Works, *Wat. Res.*, 27(9): 1485-1491.