

**Derleme / Review****SUCUL ORTAMLARDA ÖTROFİKASYON DURUMU VE SENARYOLARI**

**Neslihan DOĞAN-SAĞLAMTİMUR (ORCID: 0000-0001-6287-6268)<sup>1\*</sup>**  
**Baybars SAĞLAMTİMUR (ORCID: 0000-0001-8678-2661)<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Çevre Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi, Niğde, Türkiye

<sup>2</sup>Yetiştiricilik Bölümü, Su Ürünleri Fakültesi, Mersin Üniversitesi, Mersin, Türkiye

*Geliş / Received:* 07.06.2017

*Kabul / Accepted:* 10.11.2017

**ÖZ**

Ötrofikasyon göl, haliç, rezervuar, kıyı alanları, yavaş hareket eden akarsular ya da Baltık Denizi gibi aşırı besin maddesi alan denizlerin yapısındaki su kütlelerinde meydana gelen ve plankterlerin aşırı büyümesi/artışını tetikleyen bir süreçtir. Ötrofikasyon kıyı alanlarda tür dağılımını ve ekosistem fonksiyonunu etkileyen bir çevre sorunudur ve özellikle iki ana besin maddesi (azot ve fosfor) bu süreci harekete geçirir. Ötrofikasyon etkilerini mikroskobik fitoplankterler, filamentli algler ve sucul bitkilerin çoğalması sonucu su ortamında berraklık azalması ile yansıtır. Ötrofikasyonun ileri aşamaları mavi-yeşil algleri (siyanobakteriler) içeren alg patlamaları ve balık stoklarında dramatik değişikliklerle sonuçlanır. Günümüzde ötrofikasyon durumu değerlendirilmeleri, ötrofikasyon izleme verilerine dayanır. Bu çalışmada, Dünya ve Türkiye'deki ötrofikasyon durumu ve senaryoları iklim değişikliği, kirleticiler, besin maddesi artışları gibi faktörler göz önünde tutularak genel çerçevede incelenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Besi maddesi, çevre, ötrofikasyon, sucul ortam, su kirliliği

**EUTROPHICATION STATUS AND SCENARIOS  
IN AQUATIC ENVIRONMENTS****ABSTRACT**

Eutrophication is a process that occurs in the water columns such as lakes, estuaries, reservoirs, coastal areas, slow-moving rivers or the Baltic Sea that receive excess nutrients, triggering the overgrowth of plankton. Eutrophication is an environmental issue that affects species distribution and ecosystem function in coastal areas, and in particular the two main nutrients (nitrogen and phosphorus) are involved in this process. The effects of eutrophication are reflected by microscopic phytoplankton, filamentous algae and aquatic plants with a decrease in clarity in the water. Further stages of eutrophication result in algal bloom containing blue-green algae (cyanobacteria) and dramatic changes in fish stocks. Today, assessment of eutrophication status is based on eutrophication monitoring data. In this study, eutrophication situation and scenarios in the World and Turkey have been assessed in the general framework considering factors such as climate change, pollutants and nutrient increase.

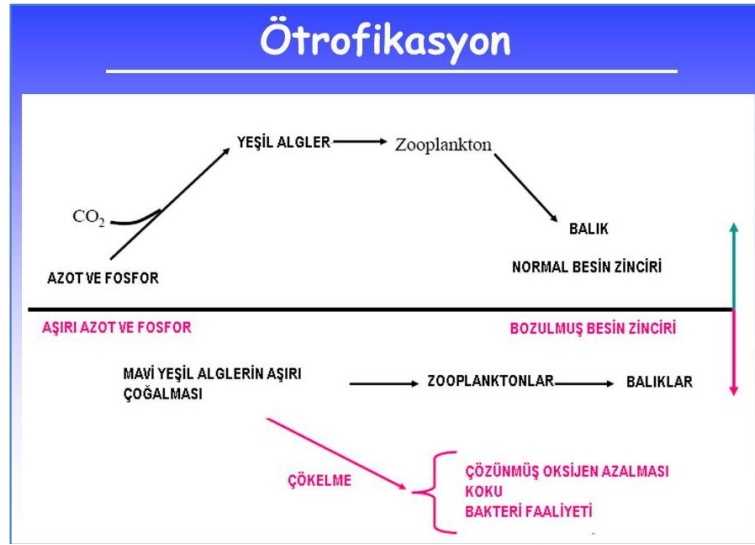
**Keywords:** Nutrient, environment, eutrophication, aquatic environment, water pollution

\*Corresponding author / Sorumlu yazar. Tel.: +90 388 225 22 29; e-mail / e-posta: neslihandogansaglamtimur@gmail.com

## 1. GİRİŞ

Su kaynaklarına besin elementleri noktasal ve noktasal olmayan (yayıllı) kirletici kaynaklardan ulaşmaktadır. Noktasal kaynaklar, evsel atıksular ve endüstriyel atıksulardır. Yayıllı kaynaklar ise tarımsal alanlarda yapılan gübreleme, katı atık depolama sahalarının sızıntı suları, büyükbaş, kümes ve küçükbaş hayvan atıkları, atmosferik taşınım, yüzey akışı ve erozyondur [1].

Ötrofikasyon, besin elementlerinin (genellikle fosfor ve azot bileşikleri) neden olduğu, rezervuar, göl ve nehirlerde biyolojik üretimin doğal prosesinin zenginleşmesidir. Ötrofikasyon, görülebilir mavi-yeşil alg (siyanobakteri) veya algal patlamalar, yüzey birikintileri, yüzey bitki yığınları ve bentik macrofitlerin toplanmasıyla sonuçlanabilir. Bu durum organik maddelerin bozunması, toksik maddelerin serbest kalması veya öncelikle okside olmuş fosfatların sedimanlara bağlanması ve oksijen yokluğundan balık ölümleri gibi ikincil problemlere neden olabilen suda çözünmüş oksijenin azalmasını tetikleyebilir.



Şekil 1. Ötrofikasyon oluşum mekanizması [2]

Bu çalışmada sucul ortamlarda ötrofikasyon durumundan bahsedilirken, literatürde ilk kez Dünya ve Türkiye ölçeğinde ötrofikasyon yönetimi ve senaryoları bazı temel araştırmalar üzerinden verilmiştir.

## 2. SUCUL ORTAMLARDA ÖTROFİKASYON DURUMU

Doğa ve insan ilişkisi dengeli bir şekilde gelişimini sürdürürken, insanoğlunun kalkınma problemi bu ilişkide dengenin doğa aleyhine bozulmasına neden olmuştur. İnsan, şu günlerde hemen her temel sucul ekosistemini güçlü biçimde etkilemektedir ve aktivitesiyle büyümeyi sınırlayıcı elementlerin topraktan alıcı su ortamına akışlarını değiştirmektedir. Bunun birincil nedeni tarımsal faaliyetlerin hızlı artışıdır. Besin maddelerinin, özellikle fosforun yüzey sularına atmosferik depolanması da artmıştır. Ayrıca insanlar akıcı yüzey sularını güvenli atıksu bertaraf sistemi olarak kullanmaktadırlar. Dünya'daki yüzey sularına N ve P yüklemesi insan popülasyon yoğunluğu ve arazi kullanımı ile güçlü bir şekilde etkilenmektedir [3]. Doğal kaynaklara olan baskının artmasıyla kaynakların tükenmeye başlamasının maliyetinin çok yüksek olması Dünya gündemindedir. Bu kapsamda, doğal kaynakların ekonomik değerlerinin ortaya konulmasında ve sürdürülebilir yönetimlerinin sağlanmasında çevresel değerlendirme yöntemlerinin kullanımı bir yol gösterici olarak kabul edilmektedir [4, 5].

Nüfus artışı ve kentsel deşarjlar, tarım, atıksu artımı, fosil yakıtların yanması gibi aktiviteler doğal seviyenin üstünde alıcı ortama besin maddesi girişini dramatik olarak artırmıştır. Azot ve fosfor, ötrofik koşulların temel tetikleyicisidir ve çoğunlukla noktasal olmayan kaynaklardan ileri gelir [6]. Ötrofikasyon, sucul ortamlarda çevresel değerlendirme yöntemlerinin en temel olanlarından. Ötrofikasyon bir ekosisteme organik madde giriş oranındaki artış olarak tanımlanmıştır [7]. Bu artış ya dış etmenlerden ya da artan besin maddesinin tetiklediği biyolojik prosesler yoluyla sistem içi üretimden de kaynaklanabilir. Organik madde kıyasal ve denizel besin zincirinin temel yakıtıdır. Artan organik madde ve daha spesifik olarak besin maddesi girdileri toksik alg çoğalması gibi çok çeşitli zararlı etkilere neden olabilir. Sucul bitkiler bu aşırı besin maddesini alarak miktarca

**SUCUL ORTAMLARDA ÖTROFİKASYON DURUMU VE SENARYOLARI**

hızlıca artar ve fotosentez yoluyla bu maddeyi enerjiye çevirirler. Bu sucul bitkiler öldüğünde organik maddeler taban suyuna çöker ve mikroorganizmalar (bakteri gibi) tarafından -proseste oksijen tüketerek- hipoksiya ya da ekstrem durumlarda anoksiyaya neden olabilirler [6]. Göl ötrofikasyonu, uzun yıllardır Dünya çapında sucul ekosistemlerin sağlığına bir tehdit olarak kabul edilmiştir [8-10].

**Tablo 1.** Tatlı su ve kıyısız deniz ötrofikasyonunun zararlı etkileri [3]

Fitoplankterler ve askıda alglerin biyokütlesinin ve üretkenliğin artışı
Fitoplankterlerin kompozisyonundan toksik ya da sucul avcı türler tarafından etkin olarak tüketilemeyen patlama yapan türlere doğru kaymalar
Üretkenlik, biyokütle ve bağlı mikro alg (periphyton) türleri kompozisyonunun artışı
Üretkenlik, biyokütle ve deniz makro alg türleri kompozisyonunun artışı
Üretkenlik, biyokütle ve sucul vasküler bitki türleri kompozisyonundaki değişiklikler
Suda olması istenen balık ve kabuklu türlerin veriminde azalma
Deniz mercan popülasyonlarının ebatı ve sağlığında düşüşler
Tehlike altındaki sucul türlere tehditler
Su kolonu berraklığında/geçirgenliğinde azalmalar
İçme suyu temininde tat, koku ve filtrasyon problemleri
Derin su oksijeninde düşüş
Su kütlesinin estetik değerinde azalmalar
Negatif ekonomik etkiler, özellikler ve rekreasyonel kullanımların azalmasını içererek

Besin maddeleri sucul ortamların içine iki modda (statik ve dinamik olarak) salınırlar. Statik moddaki salınma, farklı su derinliklerinde besin maddesi gradientinin sonucu olarak, durgun koşullar altında besin maddesinin yukarıya doğru difüzyonudur. Bu tarz bir salınma moleküler seviyede dispersiyon yoluyla yapılır. Kıyaslama olarak, dinamik moddaki salınma, göl tabanındaki depoları yeniden yüzeye çıkartan dalga ve akıntılara ihtiyaç duyar. İki moddaki iç salınım, büyük sığ göllerde gerçekleşir [11].

Hem tatlı su hem de kıyısız deniz sistemlerinin ötrofikasyonu, sucul bitkilerin zarar verici düzeyde artışı ile doğrudan ya da dolaylı olarak ilgili geniş çapta istenmeyen semptomlara neden olur (Tablo 1). Birincil semptomlar için yüksek seviyede klorofil-*a*, epifitik alglerdeki artış ve makroalg patlaması sıralanabilir; ikincil semptomlar için ise düşük çözünmüş oksijen, batık sucul vejetasyonun kaybı ve alg patlaması belirtilebilir. Ötrofikasyonun bu semptomları, kıyı ekosistemlerinin kullanımında geniş çapta etki yaparlar. Aşırı ve göze hoş görünmeyen alg patlamaları tekne gezintisi, yüzme ve turizmi olumsuz yönde etkiler. Batık sucul vejetasyonun kaybı ve düşük çözünmüş oksijen balıklar, diğer ticari ve ekolojik yönden önemli organizmalar için habitatı önemli ölçüde azaltır. Diğer daha az bariz etkiler, temel bitki besin maddelerinin (azot, fosfor ve silikon gibi) oranlarındaki değişimin bir sonucu olarak fitoplankton topluluk yapısındaki değişimleri içerir [6].

### 3. ÖTROFİKASYON YÖNETİMİ VE SENARYOLARI

Dünya ve Türkiye ölçeğinde ötrofikasyon yönetimi ve senaryoları üzerine son yıllarda yapılan bazı temel araştırmalar aşağıda kronolojik sırayla verilmiştir.

Karul ve ark. [12] Keban Baraj Rezervuarı, Mogan ve Eymir Gölü'nde ötrofikasyon modellemesinde yapay sinir ağları kullanarak çalışmalar yapmışlardır. Yapay sinir ağları ile en başarılı olarak hesaplanan parametrenin klorofil-*a* (Chl-*a*) olduğunu ve çalışılan ortamların bu parametre açısından uygunluğunu belirtmişlerdir. Ötrofikasyon ve onunla bağlantılı olan alg patlamasının çok sayıda fiziksel, kimyasal ve biyolojik faktörlerden kaynaklandığını ifade etmişlerdir. Ötrofikasyonun başarılı bir simülasyonu için bu faktörlerin doğrudan ya da dolaylı olarak sistemin içinde olması gerektiğini vurgulamışlardır. Keban Baraj Rezervuarı'nın karmaşık ve heterojen karakteri nedeniyle, Chl-*a* giriş değişkenlerinin bir doğrusal fonksiyonla belirlenemeyeceğini belirtmişlerdir. Bu çalışma ötrofikasyon olayındaki doğrusal olmayan ilişkilerin gayet iyi biçimde modellenebileceğini göstermiştir. Mogan ve Eymir göllerindeki ötrofikasyonun davranışı, az alana yayılması ve daha homojen yapılarında olmasından dolayı, başarılı bir şekilde ortaya konmuştur [12].

NSTC [6] tarafından havza ve uyarlamalı yönetim yaklaşımlarının azot ve fosfor kirliliği etkilerini azaltmada maksimum başarı için kabul edilmesi gerektiği belirtilmiştir. Havza yaklaşımlarına Chesapeake ve Tampa Körfezleri, Long Island Boğazı, Mississippi/Atchafalaya Nehir Havzası durum çalışmaları olarak verilmiştir. Uyarlamalı yönetim yaklaşımı çerçevesi ise kapsamlı izleme programı, yorumlama, modelleme ve araştırma olarak çizilmiştir. Su ortamlarına spesifik yoldan besin maddesi girdisini azaltmak için metotlar 4 kategoriye

ayrılmıştır: (a) Kentsel ve kırsal kirlilik kaynaklarının, (b) tarımsal kaynakların, (c) atmosferik yüklerin azaltılması, (d) sulak alanların kullanımı ve besin maddesi durdurucu olarak tamponlama.

Mourad ve Van der Perk [14], Avrupa'nın en büyük göllerinden biri olan, Rusya ve Estonya arasında paylaşılan sınır ötesi Peipsi (Estonya)/Chudskoe (Rusya) Gölü Estonya bölümünde 1985-1999 periyodu için De Witt [13] yaklaşımını kullanarak besin elementleri akışlarını (PCRaster) GIS içinde modellemişlerdir. Ayrıca Emajögi Nehri ve Vöhandu Nehri için modellenen ortalama yıllık yükleri, ölçülen yıllık yükler ile karşılaştırmışlardır. Bu çalışmada yayılı ve noktasal kaynaklardan gelen besin elementleri emisyonlarının bir envanterini yapmışlar, drenaj havzasında uzun dönem su akışlarını modellemiş, toplam azot ve fosfor taşınımını hesaplamışlardır. Yayılı kaynaklardan toplam azot ve fosfor emisyonlarında sırasıyla %66 ve %83 azalmanın nedeninin gübre uygulama oranlarında azalmadan kaynaklandığını, nokta kaynaklardan toplam azot ve fosfor emisyonu miktarlarının nüfus ve atık su arıtma tesisi bağlantısı ve verimlilik oranları arasındaki ilişkilere bağlı olduğunu belirtmişlerdir [14].

Pers [15], ötrofik Ringsjön Gölü'nde farklı ötrofikasyon yönetim eylemlerine biyojeokimyasal göl modelinin (BIOLA) cevabını incelemiştir. Çalışmaya dahil edilen yönetim eylemleri besin yükü azaltımı, tortu manipülasyonu, biyomanipülasyon ve herbisit uygulamasıdır. Seçilen gölün davranışını daha iyi simüle etmek için çeşitli ekolojik parametreler kalibre edilmiş, ancak fosfat için hala bazı zorlukların olduğu belirtilmiştir. Göl içerisinde ekolojik statü, planktivor balık azaltması yoluyla biyomanipülasyon ve besin yükü azaltılmalı senaryolar için en olumlu bulunmuştur. Azot ve fosfor yüklerinin azaltılmasının, gölün su kalitesinde besin maddelerinin sadece birinin (N ya da P) azaltılmasından daha etkili olduğunu bulmuştur. Senaryo sonuçları, BIOLA'nın göl sistemlerinde bazı proseslerde değişimin etkisini ölçmede yardımcı olabileceğini göstermiştir. BIOLA, fosfat ve balık faktörleri geliştirilirse, farklı yönetim stratejilerini gözden geçirmek için faydalı bir araç olma potansiyeline sahiptir.

Wallin [16], Baltık Denizi'ne deşarj olan Daugava Nehri Havzası'nda hidrolojik aylık akım debisini ve aylık besin elementleri yüklerini tahmin etmek için modifiye edilmiş GWLF (The Generalized Watershed Loading Functions, Genelleştirilmiş Havza Yükleme Fonksiyonları) modelini uygulamıştır. Wallin bu çalışmada kalibrasyon, geçerlilik, besin elementleri kaynak bölüşümü üzerine eğri sayısı etkisini ve parametre hassasiyet analizini çalışmıştır. Wallin bu modelleme sonucunda fosfor yüklerini raporlanan değerlerden %90 daha az, azot yüklerini ise kalibrasyon periyodu için oldukça iyi sonuçlarda, geçerlilik periyodu için kalibrasyon periyodu esnasındaki sonuçlardan daha yüksek sonuçlar elde etmiştir.

Palumbo [17], Venice Lagoon Drenaj Havzası için mekansal bir bilgi veritabanı oluşturmuş ve bu havzaya PolFlow Modelini 1997-2001 beş yıllık bir zaman periyodu için uygulamıştır. Araştırmacı bu çalışmada modelden elde ettiği sonuçlar için kalibrasyon ve geçerlilik çalışması yapmış, ayrıca senaryo analizi yaparak iklim değişikliğinin nüfus gelişimi değişikliğini incelemiştir. Bu çalışma sonucunda, modelden (besin elementleri taşınım modeli) elde edilen sonuçların izleme istasyonundaki ölçümleri yansıttığını, senaryo analizi sonucunda da farklı senaryolardan elde edilen sonuçların çok benzer olduğunu bulmuştur.

Yenilmez ve Aksoy [18], Uluabat Gölü'nün su kalitesini modellemişlerdir. Bu amaçla, ABD Çevre Koruma Ajansı (US-EPA) tarafından desteklenen su kalitesi benzetim modeli WASP7.2 kullanmışlardır. Bu model, Ocak-Haziran 2000 zaman periyodu kullanılarak çözülmüş oksijen (ÇO), nitrat azotu (NO<sub>3</sub>-N), orto-fosfat (PO<sub>4</sub>-P) ve Chl-*a* parametreleri için kalibre edilmiştir. Kalibrasyon sonucunda, model tahminleri ve gözlenen değerler arasında kabul edilebilir bir benzerlik elde edilmiştir. Daha sonra, simülasyon sonuçları başka bir veri seti ile doğrulanmıştır. Bu çalışmada doğrulama periyodu olarak Haziran-Aralık 1999 periyodu seçilmiştir. Verifikasyon sonuçlarının da gözlenen değerlerle uyum içinde olduğu görülmüştür. Kalibrasyon ve doğrulaması tamamlanan model, bir fosfor yükü azaltma senaryosunun göl su kalitesi üzerindeki etkisinin incelenmesi amacıyla kullanılmıştır.

Durdu ve Cvetkovic [19], "Büyük Menderes Havzası'nda su ve besin elementleri akışlarının modellenmesi" çalışmasını yapmışlardır. PCRaster PolFlow modelini Büyük Menderes Havzası'na uygulamışlardır. Bu çalışmada Büyük Menderes Havzası için uzaysal bilgi veritabanı oluşturularak düzenlenmiş, su akışları ve besin elementleri akışları PCRaster PolFlow modeli kullanılarak beş yıllık bir zaman periyodu (1999-2004) için modellenmiştir.

Ayvaz ve ark. [20] yaptıkları çalışmada Manisa'da (Türkiye) bulunan Afşar Baraj Gölü'nün OECD kriterleri ve Carlson trofik indeksinin Chl-*a* ve seki-disk derinliği (SDD) değerlendirmelerine göre ötrofik seviyede olduğunu tespit etmişlerdir. Bu gölde SDD'ye dayanan indis değerlerinin Chl-*a*'ya dayanan indis değerlerinden büyük oluşları yani indis değerleri arasında sapmanın olması nedeniyle, türbiditenin sadece planktondan kaynaklanmadığını, organik olmayan partiküllerin de bulanıklıkta rol oynadıklarını belirtmişlerdir. Bu tip çalışmaların göllerle ilgili veritabanlarının oluşturulmasına da zemin sağladığını, su kaynakları ile ilgili ulusal ölçekte entegre bir veri sisteminin oluşturulmasının elzem bir konu olduğunu ifade etmişlerdir. Bu tip verilerin, göllerin taşıma kapasitelerinin ve teorik potansiyelin belirlenmesini mümkün kılabileceğini sonuç olarak sunmuşlardır.

*SUCUL ORTAMLARDA ÖTROFİKASYON DURUMU VE SENARYOLARI*

Tuğrul ve ark. [21], yüzey sularında ötrofikasyon göstergesi olarak kullanılan TRIX indeksi parametresinin Mersin Körfezi açık sularında düşük ( $<2$ , oligotrofik özellik), Körfezin kıyı sularında ise 3-6 aralığında ve sürekli kirletilen Mersin Limanı-Seyhan Deltası arası sığ sularda yükselme eğilimi ( $>4$ ) gösterdiğini yani mezotrofik özellikten ötrofik duruma yöneliş seviyesinde olduğunu ortaya koymuşlardır. İskenderun iç körfez sularında ise  $TRIX < 3$  ve organik madde kirliliğinin düşük olduğunu belirtmiş bu durumun iç ve dış körfez sularının sürekli etkileşim içinde olduğunu göstergesi olduğunu ifade etmişlerdir. Özellikle yarı kapalı ve dip denizlerle su değişimi sınırlı olan sığ Mersin ve İskenderun gibi bölgelerin doğal ekolojik özelliklerinin korunması ve ötrofikasyon riskini azaltmak için denize taşınan organik madde ve fosfor yüklerin azaltılmasına yönelik gerekli idari ve teknik tedbirlerin alınmasına öncelik verilmesini önermişlerdir [21].

Atmaca [1], Türkiye'nin güneybatısında Ege Bölgesi'nde bulunan Büyük Menderes Havzası'nda PolFlow modelini kullanarak senaryo analizleri ile birlikte su akışları ve besin elementleri akışlarındaki değişimleri inceleyip parametre hassasiyet analizi yaparak, parametrelerden birinin değişimi ile havza çıkışındaki parametreler üzerindeki etkisini ortaya koymuştur. Bu çalışmada Büyük Menderes Havzası için iklim değişikliği senaryosu sonucu su akışları ve havza çıkışında nihai besin elementleri yüklerinde azalmalar ve nüfus senaryoları sonucu havza çıkışında nihai besin elementleri yüklerinde artışlar olduğunu, kentsel yaşam senaryosu sonucu havza çıkışında nihai fosfor yüklerinin azota göre daha fazla etkilendiğini ortaya koymuştur. Kırsal yaşam senaryosunda ise havza çıkışındaki nihai besin element yükleri kentsel yaşam senaryosu sonuçlarına göre daha düşük sonuçlar vermiştir. Ayrıca parametre hassasiyet analizi hem azot hem de fosfor için pms'nin (toprağın maksimum depolama kapasitesini tahmin parametresi) diğer parametrelere göre daha çok sayıda model çıkış parametresini etkilediğini ortaya koymuştur.

Yedi Renkli Göle Yedi Renkli Hayat Projesi çerçevesinde Eğirdir Gölü'nün su kalitesinin durumu, su kalitesini etkileyen faktörler ve su kalitesinin iyileştirilmesi için atılacak adımların ortaya konması için WWF [22] tarafından geliştirilen senaryolar ve mevcut durum simülasyonlarının sonuçları incelendiğinde, mevcut durum simülasyonu sonuçları ile geliştirilen tüm senaryo sonuçlarının, genellikle benzer eğilimler gösterdiği gözlenmiştir. Kirlilik artırma senaryoları karşılaştırıldığında, tarım alanlarından gelen yayılı kirlilik yüklerinin artırılmasının, yerleşim yerlerinden gelen yayılı kirlilik yüklerinin artırılmasına oranla, azot kirliliği üzerinde daha yüksek etkiye sahip olduğu söylenebilir. Kirlilik artırma senaryolarının, toplam fosfor üzerindeki etkisi incelendiğinde ise, tarım alanlarından gelen yayılı kirlilik yüklerinin artırılması ve yerleşim yerlerinden gelen yayılı kirlilik yüklerinin artırılması senaryolarının etkisinin hemen hemen aynı olduğu gözlenmiştir. Bu duruma, toplam fosfor (TP) açısından, yerleşim alanlarından gelen yayılı kirlilik yükü ile tarım alanlarından gelen yayılı kirlilik yüklerinin yüzdelik dağılımlarının oldukça yakın değerler göstermesinin neden olduğu düşünülmektedir [22].

Zhao ve ark. [23] yaptıkları analizleriyle, sucul ekosistem yapısının su kalitesini korumada önemli bir role sahip olduğunu bulmuşlardır. Sonuç olarak: (a) sucul bitkilerin alg patlamasını kontrol için önlemleri, (b) farklı su kalitesi hedefleri altında besin maddesi yükü azaltım ihtiyaçları, (c) besin maddeleri yük azaltımı ve alg patlamasıyla gösterilen ötrofikasyon koşulları arasındaki ilişkileri sayısallaştırmak için 3 temel senaryo kurgulamışlardır. Besin yükleri %77 kadar azalmış olsa bile Chl-*a* konsantrasyonunun sadece %50 oranında azaldığı ve suda yaşayan bitki örtüsü fitoplankterlerle güçlü etkileşime sahip olduğundan göl restorasyonu için kombine havza ve göl kıyısında yonetime ihtiyaç duyulduğu yönünde sonuçlar elde etmişlerdir. Model sonuçları, su bitki örtüsünün varlığının Yilong Gölü'nde alg bloğu üzerinde önemli etkileri olduğunu göstermiştir. Havza yükü aynı koşullar altında kalmış olsa da, göldeki alg patlaması yoğunluğu vejetasyon restorasyonu koşullarında su bitki örtüsünün azaldığı duruma göre belirgin bir şekilde bastırılabilir. Bu nedenle, Yilong Gölü'nde etkili ötrofikasyon kontrolü için havza yükü azaltımı ve göl restorasyonuna gerek vardır.

Liu ve ark. [10], artan göl ötrofikasyonu sorunları ile uğraşan Çin'in en ötrofik Dianchi Gölü'ne su kalitesi modeline dayalı senaryo analiz yaklaşımı uygulamışlardır. Bu yaklaşımda, bir su dağıtım projesine Dianchi Gölü'nün ötrofikasyon yanıtlarını sayısal olarak değerlendirmek amaçlanmıştır. Birincil analitik çerçeve -geçmiş veriler kullanılarak- daha önce kalibre edilen ve onaylanan alg dinamik modelinin yanı sıra 3 boyutlu hidrodinamik, besin maddesi akıbeti ve dağılımı üzerine kurulmuştur. Araştırmacılar havza besin maddesi yükü, bölünmüş giriş suyundaki çeşitleme ve göl su seviyesini içeren üç itici gücün su kalitesi etkilerini analiz etmek için 16 senaryo kurgulamışlardır. Sonuç olarak havza yük azaltımı ve suyun bölünmesi kombinasyonunun göl hipoksiya hacim yüzdesini mevcut durum olan %6,82'den %3'e kadar giderebildiğini bulmuşlardır.

Mateus ve ark. [24] Tâmega Nehri'nde bulunan Torrão rezervuarında yıllık besin girdisi oranının nispeten düşük (yıllık yük yaklaşık %2, ancak neredeyse kuru sezon yükünün tamamı) olmasına rağmen nokta kaynakların katkısının önemli olduğunu (esas olarak kuru deşarjın giriş yüklerine hâkim olduğu kuru mevsimde) ve muhtemelen rezervuarın trofik durumunu kontrol ettiğini gösterdiğini belirtmişlerdir. Sistemdeki birincil üretim için ana kaynağı temsil eden bu katkıların, nehir akışının düşük olduğu yaz aylarında, çok önemli görüldüğü sonucuna ulaşmışlardır. Nokta kaynaklardan hareket etmenin, toprak ve akiferlerin iyileşmesi daha uzun sürdüğü için, daha acil bir sonuç doğurabileceğini ortaya koymuşlardır. Havzada bazı atıksu arıtma

tesislerinde atıksu kalitesindeki iyileştirmeleri hedef alan eylemlerin yapılması gerektiğini, ancak toplam azami girdi yükü ve mezotrofik seviyenin azaltılması için kaynak azaltımının yaygınlaştırılmasını önermişlerdir. Çalışmalarında elde ettikleri sonuçların su kalitesini hedeflerini başarmak isteyen yöneticiler için risk yönetimi kararlarında kılavuz olmaya yönelik olduğunu belirtmişlerdir [24].

Xing ve ark. [25], fosfor girdisi azalmasını, ötrofikasyon yönetim stratejisinde, avantaj ve zorlukların değerlendirilmesinde en önemli strateji olarak bulmuşlardır. Havzalardan gelen akışların kentsel göller üzerinde önemli etkiye neden olduğunu ortaya koymuşlardır. Bu nedenle ötrofikasyon kontrolünde havza ölçeğinde bir entegre su kaynakları yönetiminin kritik olduğunu belirtmişlerdir.

Flynn ve ark. [26], iki temel Avrupa su bölgesinde ötrofikasyon gelişiminde uzun dönem trendleri değerlendirme ve hassas bölgeleri belirleyen ekosistem model verilerini kullanmışlardır. Bu çalışmada iklim değişikliğinin değişiminin etkisini araştırmak için senaryo simülasyonları yapmışlardır. Model sonuçlarına göre azalan iklim değişimi (klimatolojik atmosferik tetikleme kullanılarak) birçok kıyı bölgesinde ve özellikle Ege Denizi'nde artan ötrofikasyon sorunlarına yol açacağı belirtilmiştir. Önerilen besin maddesi azalım senaryosu - sadece en belirgin besi maddesi girişlerinden yoksun Adriatik ve Ege Denizi'nde net olarak belirlenebilen-şarptıcı küçük iyileştirmeler yapmayı başarmıştır.

Katıp ve ark. [27] yaptıkları çalışmaya göre azot ve fosfor arasındaki orana ve azot formları ile klorofil-*a* arasındaki önemli istatistiksel korelasyona göre alg türleri tüm yıl boyunca fosfor ile birlikte azot tarafından da sınırlanmaktadır; her bir tür farklı nutrientler tarafından sınırlanabilir. Gözde yüksek tür çeşitliliği, artırılmamış evsel atık suların göle deşarjı ve kimyasal gübre kullanımı, azot ve fosforun eş sınırlandırıcı olma nedenleri olarak belirlenmiştir. Ayrıca, trofik seviye ve konsantrasyon değerlerine göre, Uluabat Gölü hiper ötrofik seviyeye ulaşmış olup içme suyu ve rekreasyon amaçlı kullanılamaz. Fosfor azot ile eş sınırlanabileceğinden, aşırı gübrelemenin önüne geçerek ve endüstriyel-evsel atıksuyun deşarjını engelleyerek azotu sınırlamanın gözde alınabilecek ilk önlemler olması gerektiği belirtilmiştir.

Şanal ve ark. [28] Türkiye'nin Avrupa Birliği'ne uyum sürecinde, su kaynaklarının etkin bir biçimde korunmasını hedefleyen Su Çerçeve Direktifi'nin uygulanmasına yönelik çalışmaların önem kazandığını [29] belirtmişlerdir. Direktife göre göllerin izlenmesinde kullanılan ekolojik kalite unsurlarından birisinin sucul makrofitler olduğunu ve bu canlıların özellikle sığ göllerde ve litoral bölgenin geniş olduğu göllerde ekolojik kalitenin tahmininde önem taşıdığını ifade etmişlerdir. Makrofit artışları ötrofikasyonun bir göstergesidir ve ötrofikasyon sonucu makrofit topluluğunda hassas türlerden toleranslı türlere doğru bir değişim oluşur. Bu çalışmada, ötrofik karakterde sığ bir göl olan Mogan Gölü'nün özellikle yaz aylarında yoğun olarak sualtı makrofitleri ile kaplandığı, gözde makrofit indeksine göre ekolojik kalitenin ortadan kötüye doğru değiştiği belirtilmiştir. Gölün yönetiminde ve alınan önlemlerin etkinliğinin belirlenmesinde ekolojik kalite unsuru olarak makrofitlerin izlenmesi önerilmiştir.

#### 4. SONUÇLAR

Doğada ötrofikasyon, tatlı su ekosistemleri için ortak bir olgu olup, birçok göl ve göletlerin normal yaşlanma sürecinin bir parçasıdır. Antropojenik ötrofikasyon kıyı alanlarda tür dağılımını ve ekosistem fonksiyonunu ciddi şekilde etkiler ve temel göstergelerinden biri suyun fiziksel parametrelerinden ışık geçirgenliğinin ölçüsü olan Seki Disk Serinliği (SDD)'dir. Araştırmalar göllerin, Asya'da %54, Avrupa'da %53, Kuzey Amerika'da %48, Güney Amerika'da %41 ve Afrika'da ise %28'inin ötrofik olduğunu göstermiştir. Su kaynaklarında ötrofikasyon istenmeyen bir durumdur. Özellikle tarımsal çalışmaların, temizlik maddesi kullanımlarının tetiklediği su kirliliği ve ötrofikasyon, suyun azot ve fosfor çevirim kapasitesinin aşılması sonucu oluşan birikimin kendi kendini temizleme kapasitesini aştığında oluşmaktadır. Bu nedenle noktasal ve noktasal olmayan kirlenici kaynaklarından yeraltı ve yüzey sularına besin elementleri girişleri önlenmelidir.

Yeraltı ve yüzey sularına besin elementlerinin girişleri ve ötrofikasyon (i) azot ve fosfor içeren sanayi atıklarının kontrol altına alınması, (ii) deterjanlara fosfor katılmaması, (iii) azot ve fosfor giderimi yapabilen evsel ve endüstriyel atıksu arıtma tesislerinin yapılması, mevcut arıtma tesislerinin iyileştirilmesi, sıkı denetimi ve optimum işletilmesi, (iv) tarımda bilinçli gübreleme yapılması ve tarımsal alanlarda gübreleme sonucu oluşan kirliliklerin kontrolü ile azaltılabilir.

Su ortamlarındaki besin maddesi artışından kaynaklanan kirlilik ve ötrofikasyon, sucul ortam -özellikle kıyı alanlar- ekosistem fonksiyonunun modellenerek ötrofik bölgeye özgü tetikleyici parametrelerin, senaryoların ortaya konulması ve bu senaryolara dayalı çözümlerin uygulanması ile önlenir. Bu çalışmada ortaya konan ötrofikasyon yönetimi ve senaryoları bu açıdan oldukça önemlidir.

*SUCUL ORTAMLARDA ÖTROFİKASYON DURUMU VE SENARYOLARI***TEŞEKKÜR**

Bu çalışmanın özeti, VII. Ulusal Limnoloji Sempozyumu Bildiri Özet Kitabı'nda yayınlanmıştır.

**KAYNAKLAR**

- [1] ATMACA, D., “Büyük Menderes Havzası’nda Besin Elementleri Taşınım Senaryoları”, Yüksek Lisans Tezi, Adnan Menderes Üniversitesi, 81 s., 2012.
- [2] YETİŞ, Ü., Su (Kirliliği) Kimyası, Su Yönetimi Genel Müdürlüğü (SYGM) sunum, 2016.
- [3] SMITH, V.H., “Eutrophication of Freshwater and Coastal Marine Ecosystems A Global Problem”, *ESPR-Environmental Science and Pollution Research*, 10, 126-139, 2003.
- [4] ANDERSON, G.D., BISHOP R.C., *The Valuation Problem, Natural Resource Economic Policy Problems and Contemporary Analysis*, Kluwer Nijhoff Publishers, Dordrecht, NL, 1985.
- [5] KULA, E., *Economics of Natural Resources, the Environment and Policies*, Chapman&Hall, London, UK, 1994.
- [6] NSTC, *An Assessment of Coastal Hypoxia and Eutrophication in U.S. Waters*, National Science and Technology Council, Committee on Environment and Natural Resources, 2003.
- [7] NIXON, S.W., “Coastal Marine Eutrophication: A Definition, Social Causes, and Future Concerns”, *Ophelia*, 41, 199-219, 1995.
- [8] CARPENTER, S.R., “Eutrophication of Aquatic Ecosystems: Bistability and Soil Phosphorus”, *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 102, 10002-10005, USA, 2005.
- [9] CONLEY, D.J., PAERL, H.W., HOWARTH, R.W., BOESCH, D.F., SEITZINGER, S.P., HAVENS, K.E., LANCELOT, C., LIKENS, G.E., “Controlling Eutrophication: Nitrogen and Phosphorus”, *Science*, 323, 1014-1015, 2009.
- [10] LIU, Y., WANG, Y., SHENG, H., DONG, F., ZOU, R., ZHAO, R., GUO, H., ZHU, X., HE, B., “Quantitative Evaluation of Lake Eutrophication Responses Under Alternative Water Diversion Scenarios: A Water Quality Modeling Based Statistical Analysis Approach”, *Science of the Total Environment*, 468-469, 219-227, 2014.
- [11] LE, C., ZHA, Y., LI, Y., SUN, D., LU, H., YIN, B., “Eutrophication of Lake Waters in China: Cost, Causes, and Control”, *Environmental Management*, 45, 662-668, 2010.
- [12] KARUL, C., SOYUPAK, S., ÇİLESİZ, A.F., AKBAY, N., GERMEN, E., “Case Studies on the Use of Neural Networks in Eutrophication Modeling”, *Ecological Modelling*, 134, 145-152, 2000.
- [13] DE WITT, M.J.M., “Nutrient Fluxes at the River Basin Scale. I: The PolFlow Model”, *Hydrological Processes*, 15, 743-759, 2001.
- [14] MOURAD, D., VAN DER PERK, M., “Modelling Nutrient Fluxes from Diffuse and Point Emissions to River Loads: The Estonian Part of the Transboundary Lake Peipsi/Chudskoe Drainage Basin (Russia/Estonia/Latvia)”, *Water Science and Technology*, 49, 21-28, 2004.
- [15] PERS, B.C., “Modeling the Response of Eutrophication Control Measures in a Swedish Lake”, *Ambio*, 34, 552-558, 2005.
- [16] WALLIN, A., *Nutrient Transport Modeling in the Daugava River Basin*, Master Thesis, Uppsala University, 37 p, 2005.
- [17] PALUMBO, V., *Material Transport in the Dese Drainage Basin: Integrating GIS and Hydrological Process Modelling*, Stockholm: KTH Land and Water Resources Engineering, 2006.
- [18] YENİLMEZ, F., AKSOY, A., Uluabat Gölü Su Kalitesinin WASP7.2 Modeli Kullanılarak Değerlendirilmesi, 7. Ulusal Çevre Mühendisliği Kongresi Yaşam Çevre Teknoloji, 56-62. İzmir, Türkiye, 2007.
- [19] DURDU, Ö.F., CVETKOVIC, V., “Modeling Water and Nutrients Fluxes in the Büyük Menderes Drainage Basin, Turkey”, *Water Science and Technology*, 59, 531-541, 2009.
- [20] AYVAZ, M., TENEKECIOGLU, E., KORU, E., “Afşar Baraj Gölü’nün (Manisa-Türkiye) Trofik Statüsünün Belirlenmesi”, *Ekoloji*, 20, 37-47, 2011.
- [21] TUĞRUL, S., UYSAL, Z., ERDOĞAN, E., YÜCEL, N., “Kilikya Baseni (Kuzeydoğu Akdeniz) Sularında Ötrofikasyon İndikatörü Parametrelerinin (TP, DIN, Chl-a ve TRIX) Değişimi”, *Ekoloji*, 20, 33-41, 2011.
- [22] WWF, 2013. Eğirdir Gölü’nde Kirlilik Durumu ve Kirlilik Kaynakları Modelleme Çalışması Raporu, İstanbul: Yedi Renkli Göle Yedi Renkli Hayat Projesi Raporu, 1-35.

N. DOĞAN SAĞLAMTİMUR, B. SAĞLAMTİMUR

- [23] ZHAO, L., LI, Y., ZOU, R., HE, B., ZHU, X., LIU, Y., WANG, J., “A Three-Dimensional Water Quality Modeling Approach for Exploring the Eutrophication Responses to Load Reduction Scenarios in Lake Yilong (China)”, *Environmental Pollution*, 177, 13-21, 2013
- [24] MATEUS, M., ALMEIDA, C., BRITO, D., NEVES, R., “From Eutrophic to Mesotrophic: Modelling Watershed Management Scenarios to Change the Trophic Status of a Reservoir”, *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 11, 3015-3031, 2014.
- [25] XING, Z., CHUA, L.H.C., IMBERGER, J., “Evaluation of Management Scenarios for Controlling Eutrophication in a Shallow Tropical Urban Lake”, *International Journal of Environmental Pollution and Remediation (IJEPR)*, 2, 66-72, 2014.
- [26] FLYNN, K.J., DARREN, R.C., ADITEE, M., HEINER, F., HANSEN, P.J., GLIBERT, P.M, WHEELER, G.L., STOECKER, D.K., BLACKFORD, J.C., BROWNLEE, C., “Ocean Acidification with De(eutrophication) will Alter Future Pytoplankton Growth and Succession”, *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 282, 20142604, 1-6, 2015.
- [27] KATIP, A., ILERI, S., KARAER, F., ONUR, S., “Determination of the Trophic State of Lake Ulubat (Bursa-Turkey)”, *Ekoloji*, 24, 1-9, 2015.
- [28] ŞANAL, M., KÖSE, B., COŞKUN, T., DEMİR, N., “Mogan Gölü’nde Sucul Makrofitlere Göre Ekolojik Kalitenin Tahmini”, *Iğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 5, 51-55, 2015.
- [29] WFD (Water Framework Directive) 2000/60/EC. Directive of the European Parliament and of the Council of 23 Oct. 2000 establishing a Framework for Community action in the field of water policy. *Official Journal of European Communities*, 72 p, 2000.