



MAKÜ FEBED  
ISSN Online: 1309-2243  
<http://dergipark.ulakbim.gov.tr/makufebed>

Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi 7(Ek Sayı 1): 194-201 (2016)

*The Journal of Graduate School of Natural and Applied Sciences of Mehmet Akif Ersoy University 7(Supplementary Issue 1): 194-201 (2016)*

**Araştırma Makalesi / Research Paper**

# Trofik Durum İndeksi ile Anahtar Sınırlayıcı Parametrelerin Değerlendirilmesi: Taihu Gölü Örneği

Dilek Eren AKYÜZ

İstanbul Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İstanbul

*Geliş Tarihi (Received): 07.09.2016, Kabul Tarihi (Accepted): 07.10.2016*

✉ *Sorumlu Yazar (Corresponding author): dilek.akyuz@istanbul.edu.tr*

☎ +90 212 4737070 📠 +90 212 4737180

## ÖZ

Ötrofikasyon tüm dünyada görülen oldukça yaygın bir su kalitesi problemidir. Hem gelişmekte olan hem de gelişmiş ülkelerde sorun olmasından dolayı ötrofikasyonun tespiti, derecelendirilmesi ve gidişatının belirlenmesi önemlidir. Bu çalışmada; sıkça kullanılan Trofik Durum İndeksinde (TSI) mevsimsel döngünün tespit edilmesi ve hesaplanan TSI değerinin parametrelere [toplam azot (TN), toplam fosfor (TP), klorofil a (Chl a) konsantrasyonlarına ve sekki disk (SD) derinliğine] göre döngüsünün değişip değişmediğinin sınanması amaçlanmıştır. Bunun için hipertrofik bir göl olan Taihu Gölü çalışma alanı olarak seçilmiştir. Göl içindeki 32 ölçüm istasyonuna ait Ocak 1992 - Aralık 2008 tarihleri arasındaki aylık ölçülmüş veriler kullanılarak her mevsim için ortalama parametre değerlerinden ortalama mevsimsel TSI değerleri hesaplanmıştır. Beklendiği gibi mevsimsel döngülerin etkileri TSI değerlerinde de görülmüştür. Farklı parametrelerle hesaplanan TSI değerleri birbirleri ile kıyaslanarak fark grafiği elde edilerek anahtar sınırlayıcı parametre tespit edilmiştir. TSI fark grafiğinden; gölün fosfor fazlasının ve algardan kaynaklanmayan bulanıklığının olduğu anlaşılmaktadır. Bu yüzden özellikle yaz mevsimindeki denitrifikasyondan kaynaklanan TN miktarındaki ve SD derinliğindeki azalma sebebiyle azot konsantrasyonunun kontrol altına alınması sürdürülebilir bir yönetim için gereklidir.

**Anahtar Kelimeler:** Ötrofikasyon, Carlson Trofik Durum İndeksi (TSI), Taihu Gölü, Anahtar Sınırlayıcı Parametre

## Key Limit Parameter Evaluation Using Trophic State Index: Taihu Lake Case

### ABSTRACT

Eutrophication is a common water quality problem seen all over the world. Both developing and developed countries have eutrophication problems; therefore, detection, determine the grading and trends of it are important. In this study, Trophic State Index (TSI) is used to detect seasonal cycle whether change TSI values according to calculated parameters [total nitrogen (TN), total phosphorus (TP), chlorophyll (Chl a) concentrations and Secchi Disk (SD) depth] is aimed. A hypertrophic lake, Taihu Lake, is selected as the study area. The average seasonal TSI parameter values was calculated with season average parameter data for using measured monthly data at 32 measuring stations between January 1992 and December 2008. As expected, a seasonal cycle of parameters affects to the TSI value. The TSI value was calculated with different parameters obtained graph comparing the difference with each other and the key limiting parameters have been determined. TSI difference graphs show that the lake has plenty of phosphorus load and fuzzy water are not only caused by the algae. Therefore, the decrease in the TN

concentration in the summer season, resulting from the denitrification and decrease in the SD depth shows that limiting the concentration of nitrogen is essential for a sustainable management.

**Keywords:** Eutrophication, Carlson Trophic State Index (TSI), Lake Taihu, Key Limit Parameter.

## GİRİŞ

Ötrofikasyon tuzlu (okyanus, deniz, göller), tatlı (göl, rezervuar, akarsu), tatlı-tuzlu (haliç, lagün) ekosistemlerde, gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerde görülebildiğinden oldukça yaygın ve hala tam çözülememiş bir su kalitesi problemidir. Ötrofikasyon suyun kalitesini düşürmekle beraber, yaygın olarak şikayet edilen olumsuz etkileri; kötü görüntü, koku ve aşırı alg çoğalmasındır. Tüm bu problemler ile ekoloji üzerinde giderek artan olumsuz bir baskı oluşturmaktadır. Bu yüzden ötrofikasyonla savaşmak için pek çok farklı mücadele yöntemleri denenmektedir (Schindler et al., 2008; Schindler, 2012; Lurling and Tolman, 2014). Bu kullanılan yöntemlerin sonuç ve etkilerini anlayabilmek için; ekosistemin içsel ve dışsal parametrelerine ait bütçelerinin ve zamansal-konumsal (spatio-temporal) değişimlerinin bilinmesi gereklidir.

Bir biyolojik gelişmeyi (özellikle algler) sınırlayan parametrelerin tespiti için klasik olarak bir su fıçısı örnek olarak verilmektedir. Bir su fıçısını oluşturan parçaların her birinin bir parametreyi (azot, fosfor konsantrasyonu gibi kimyasal maddelerini veya ısı, ışık, gibi çevre şartlarını) temsil ettiği varsayılmaktadır. Bu fıçıyı oluşturan parçalardan en kısa olanının temsil ettiği parametre de; anahtar sınırlayıcı parametre olarak kabul edilmektedir. Anahtar sınırlayıcı parametre; göl ve rezervuarlar için çevresel veya kimyasal parametrelerden biri veya birkaçı olabilmektedir. Genel olarak literatürde; Toplam azot (TN), toplam fosfor (TP) konsantrasyonları, ışık geçirgenliği (sekki disk derinliği: SD) ve suyun sıcaklığı parametrelerine anahtar sınırlayıcı parametre olup olmadığına bakılmaktadır. Örneğin su sıcaklığı için; 20 °C ile 30 °C arasında bir çok alg çeşidi en verimli şekilde çoğalmakta ve 10 °C'den soğuk ve 35 °C'den sıcak sularda ise alg çoğalamamaktadır (Singh and Singh, 2015). Bu yüzden kış aylarında besi maddelerine ulaşılabilir olmasına rağmen genelde alg patlaması görülmemektedir. Suyun sıcaklığı alg büyümesi için uygun aralıkta olduğu zamanlarda ise; başka bir parametre alg çoğalmasında anahtar sınırlayıcı parametre olabilmektedir. Bu parametrelerden biri olan suyun hızı; özellikle bazı göllerde diğer sınırlayıcı parametrelere göre yapay karıştırıcılar ile daha kolay ve ucuz yöntemlerle kontrol edilebilmektedir. Suyun hızını değiştirmek için göl içerisinde (ortasında, kıyısında) bir veya birden fazla noktada karıştırıcılar çalıştırılmakta veya gölün kendi suyu veya komşu su kaynaklarındaki su başka bir noktaya pompalanmaktadır. Örneğin Taihu Gölü'nde alg patlamasını önlemek amacı ile gölün su kalitesin-

den daha iyi su kalitesine sahip olduğu zamanlarda Yangtze Nehrindeki su göle pompalanmaktadır (Li et al., 2013). Göle su pompalanarak suyun hızının artmasına sebep olunmakta böylece Taihu Gölü için sınırlayıcı parametre olarak tanımlanan eşik su hızı değerinden daha fazla bir hız gölde sağlanabilmektedir (Zhang et al., 2015). Bu makalede çalışma alanı olarak seçilen Taihu Gölü'nde eşik su hızı değeri 0.06 m/s olarak tanımlanmış ve bu eşik değer; derinlik, rüzgar hızı, rüzgar yönü gibi çevresel faktörlerinden etkilenebildiğinden göle ait bir özellik olduğu belirtilmiştir (Zhang et al., 2015).

Azot ve fosfor konsantrasyonlarının sınırlandırılması ile alg artışının kontrol edilebileceği yaygın kabul görmüş ve bu konu üzerine bir çok araştırmalar yapılmıştır (Levine and Schindler, 1992; Brown et al., 2000; Guildford and Hecky, 2000; Carpenter et al., 2001; James et al., 2009; McCarthy et al., 2009; Xu et al., 2010; Bachmann et al., 2012; Paerl et al., 2015; Xu et al., 2015; Zhu et al., 2015). Bu besi maddelerinin sudaki konsantrasyonlarını; göle ulaşan noktasal/yayılı yükler (dışsal yükler) ve göl tabanındaki sedimentlerin çözülmesi, tepkime sonucu form değiştirmeleri gibi yollardan oluşan içsel yüklemeler belirlemektedir. Göle ulaşan noktasal ve yayılı yüklerin doğal veya yapay yollarla kontrol altına alınması ile dışarıdan göle ulaşacak olan azot ve fosfor miktarları azaltılabilir. Azot ve fosforun ikisinin birden ve tamamı ile azaltılması maliyeti artıracığı için en etkili olabilecek sonucu en ucuz sürdürülebilir olarak ulaşmak önemlidir. Bunun için ise; hangi parametrenin anahtar sınırlayıcı madde olduğunun tespit edilmesi gerekir. Bu konuda pek çok araştırma olmasına rağmen tam bir fikir birliği yoktur ve hala tartışılmaktadır (Levine and Schindler, 1992; Brown et al., 2000; Guildford and Hecky, 2000; Carpenter et al., 2001; James et al., 2009; McCarthy et al., 2009; Xu et al., 2010; Bachmann et al., 2012; Paerl et al., 2015; Xu et al., 2015; Zhu et al., 2015). Atmosferde bolca bulunan azotun siyanobakteriler tarafından havadan da temin edilebiliyor olması fosforun anahtar sınırlayıcı madde olduğunu düşündürse de (Schindler et al., 2008), tatlı suların ulaştığı deniz sularında fosforun bolca bulunabiliyor olması ve yaz aylarında denitrifikasyon ile azot konsantrasyonunun en gerektiği zamanda azalması ile durum belirsizleşmiştir (Levine and Schindler, 1992; Brown et al., 2000; Guildford and Hecky, 2000; Lewis and Wurtsbaugh, 2008; James et al., 2009; Xu et al., 2010; Bachmann et al., 2012; Paerl et al., 2015; Xu et al., 2015; Zhu et al., 2015). Bu yüzden anahtar sınırlayıcı maddenin tek değil de ikisinin

(TN, TP) birlikte olabileceği ve her ekosistem için sınırlandırıcı maddenin/lerin farklı olabileceği görüşü giderek yaygınlaşmıştır (Guildford and Hecky, 2000; Lewis and Wurtsbaugh, 2008). Hatta çalışma alanı olarak seçilen Taihu Gölü için gölün içindeki bölgelerde bile farklı sınırlayıcı besi maddesinin olabileceği gösterilmiştir (Xu et al., 2015). Daha önceki çalışmalarda Taihu Gölü'nün anahtar besi sınırlayıcı maddenin fosfor olduğunu (Paerl et al., 2014) gösteren çalışmalar olmasına rağmen ikisinin birden etkili olduğu görüşü çoğunluktadır (Ma et al., 2015; Paerl et al., 2015; Xu et al., 2015).

Göl suyunun kalitesinin derecelendirmesi için Trofik Durum İndeksi (Trophic State Index: TSI); Klorofil a (Chl a), toplam fosfor (TP), toplam azot (TN) konsantrasyonları ve sekki diski derinliği (SD) kullanılarak hesaplanmaktadır (Carlson, 1977; Osgood, 1982; Carlson, 1983). Yapılan bu parametrelere ait ölçümlerin birimleri ve değerleri farklı boyutta olduğu için bu parametreleri birbirleri ile kıyaslamak ve sınırlayıcı parametreyi tespit etmek zor olmaktadır. Bu indeks bize bir gölü farklı parametreler açısından tüm parametreleri ortak bir skalada değerlendirebilme şansı da vermektedir. TSI indeksini kullanarak, bir göldeki suyun kalitesinin farklı parametrelerce değerlendirilmesinin yanı sıra, farklı göl sularını da birbirleri ile tek bir skalada kıyaslayabiliriz. Bu çalışmada çalışma alanı olarak seçilen Taihu Gölü'nde, 32 noktada Ocak 1992-Aralık 2008 tarihleri arasında aylık olarak ölçülmüş olan temel parametrelerin her istasyon için mevsimsel ortalamalar ve TSI değerleri hesaplanmıştır. Mevsimsel değişimler ve bu değişimlerin birbirleri ile ilişkileri göl hakkında anahtar sınırlayıcı parametrenin hangisi olabileceği gibi oldukça önemli bilgiler vermektedir. Bu çalışmada; Taihu Gölü için hesaplanan mevsimsel TSI değerleri ve bu değerlerdeki değişimler irdelenmiş ve fark grafiklerinin

den elde edilen ipuçları ile anahtar sınırlayıcı maddeler mevsimsel olarak değerlendirilmiştir.

## MATERYAL VE YÖNTEM

### Çalışma Alanı

Taihu Gölü Şangay yakınında bulunan ile Çin'in beş yıllık kalkınma planlarında yer alan üç önemli gölden bir tanesidir (Şekil 1). Taihu Gölü +3.0 m kotunda 2427.8 km<sup>2</sup> alana sahip, maksimum derinliği 2.6 m, ortalama derinliği 1.9 metre olan sığ bir göldür. Göl içme ve sulama suyu temini için kullanılmaktadır. Gölün keskin bir kıyı kenar çizgisi olmadığından 5. yüzyıldan itibaren kıyı koruma yapıları, barajlar ve yaklaşık 320 tane göle giriş-çıkış yolları yapılmış iken şu an sadece 17 tanesi sağlam ve aktif olarak kalmıştır (Qin, 2008). Gölün etrafındaki yoğun sanayileşme ve kentleşme sonucu göl suyu kirlendiğinden her yıl gölde halk sağlığını tehdit edecek boyutta alg patlaması görülmektedir. Bu yüzden göl su kalite parametreleri, Taihu Gölü Ekosistem Araştırmaları Laboratuvarı (Taihu Laboratory for Lake Ecosystem Research TLLER) tarafından sürekli olarak ölçülmekte ve bu ölçümler kitap halinde basılarak dağıtılmaktadır (Qin and Hu, 2010).

Taihu Gölü ötrofikasyona çok iyi bir örnek oluşturduğu için çalışma alanı olarak seçilmiştir. Ayrıca bu gölün çalışma alanı olarak seçilmesinin diğer nedenleri ise; i) Uzun yıllar: Ocak 1992-Aralık 2008 arasında, ii) her ay düzenli olarak, iii) göl içindeki 32 noktada, iv) TN, TP, Chl a konsantrasyonları, SD derinliği gibi gerekli ölçümlerinin yapılmış ve v) bu verilerin TLLER tarafından bir kitapta basılmış olmasıdır. Bu çalışmada kullanılan tüm veriler ham halinde TLLER tarafından yayınlanan kitaptan alınmış ve gerekli hesaplamalar yapılmıştır (Qin and Hu, 2010).



Şekil 1. Taihu Gölü'nün Yeri (Google Earth).

Taihu Gölü'nün bulunduğu bölgede; İlkbahar mevsimi Mart, Nisan, Mayıs; Yaz mevsimi Haziran, Temmuz, Ağustos; Sonbahar mevsimi Eylül, Ekim, Kasım ve Kış

mevsimi Aralık, Ocak, Şubat aylarında görülmektedir (Qin, 2008). Yaz ayları en yağışlı geçen mevsim iken kış ayları en az yağışın meydana geldiği mevsimdir.

Yüzeysel akış en çok sonbahar mevsiminde en az ise kış mevsiminde meydana gelmektedir. Buharlaşmanın büyük çoğunluğu yaz aylarında, en az ise kış aylarında meydana gelmektedir. Bu çevre şartları değiştiği ve mevsimsel bir döngüde olduğu için gölün trofik durumu da bu döngülerden etkilenmektedir. Ayrıca verilerde gidişat (eğilim) mevcut olduğundan (Akyuz et al., 2014)

ortalamada çalışılmış ve gidişatın etkisi bertaraf edilmiştir. Mevsimsel değişimleri görmek amacı ile çalışmada kullanılan su kalitesi verilerinden (Ocak 1992 – Aralık 2008 arasında), mevsimsel ortalama, mevsimsel minimum, mevsimsel maksimum ve mevsimsel standart sapma değerleri hesaplanmış ve Tablo 1’de verilmiştir.

**Tablo 1.** Ocak 1992-Aralık 2008 tarihleri arasında Sekki Disk derinliği (SD), Total Azot (TN), Toplam Fosfor (TP), ve Klorofil a (Chl a) konsantrasyonuna ve TN/TP oranına ait temel istatistiksel parametre değerleri

Mevsim	İstatistik parametresi	SD (m)	TN (mg/L)	TP (mg/L)	Chl a (µg/L)	TN/TP Oranı
İlkbahar	Ortalama	0.4	5.0	0.1	23.3	38.6
	Minimum	0.2	1.1	0.0	3.6	20.8
	Maximum	0.9	13.2	0.6	276.2	63.0
	Std. Sapma	0.2	2.5	0.1	34.8	9.8
Yaz	Ortalama	0.5	2.7	0.1	32.2	21.9
	Minimum	0.2	0.7	0.0	1.9	12.2
	Maximum	3.4	7.7	0.5	99.3	63.0
	Std. Sapma	0.4	1.4	0.1	21.0	8.1
Sonbahar	Ortalama	0.5	2.4	0.1	22.9	20.7
	Minimum	0.2	0.7	0.0	1.7	9.7
	Maximum	1.5	6.9	0.3	58.7	44.9
	Std. Sapma	0.2	1.3	0.1	14.9	6.4
Kış	Ortalama	0.4	4.3	0.1	10.3	33.3
	Minimum	0.2	1.1	0.0	3.4	19.3
	Maximum	1.2	9.7	0.3	24.6	67.9
	Std. Sapma	0.2	2.4	0.1	5.2	10.6
Yıllık Ortalaması	Ortalama	0.4	3.6	0.1	22.2	28.6
	Minimum	0.2	0.7	0.0	1.7	9.7
	Maximum	3.4	13.2	0.6	276.2	67.9
	Std. Sapma	0.3	2.2	0.1	23.0	11.6

### Trofik Durum İndeksi (TSI)

Bu çalışmada trofik durum indeksi (Carlson Trophic State Index; TSI) kullanılmıştır (Carlson, 1977). İlk TSI tanımlandığında; SD derinliği, Chl a ve TP konsantrasyonlarından hesaplanır iken daha sonraki çalışmalarda TN konsantrasyonu da dahil edilmiştir (Kratzer and Brezonik, 1981). Bu dört parametreden TSI hesaplanabilirdiği için hangi parametreden hesap edildiği parantez

içerisinde gösterilmiştir. Örneğin TSI(SD) terimi; TSI değerinin SD derinliğinden hesaplanmış olduğunu göstermekte ve Denklem 1 ile hesap edilmektedir. Aynı şekilde TSI değeri Chl a konsantrasyonu TSI(CHL), TP konsantrasyonu TSI(TP), TN konsantrasyonu TSI(TN) ve bu dört TSI değerinin ortalaması TSI(ORT) ile ifade edilmekte ve formülleri Denklem 2’den Denklem 5’e kadar sırasıyla verilmiştir.

$$TSI(SD) = 60 - 14.41 \cdot \ln(SD), \quad (1)$$

$$TSI(CHL) = 9.81 \cdot \ln(CHL) + 30.6, \quad (2)$$

$$TSI(TP) = 14.42 \cdot \ln(TP) + 4.15, \quad (3)$$

$$TSI(TN) = 54.45 + 14.43 \cdot \ln(TN), \quad (4)$$

$$TSI(ORT) = [TSI(SD) + TSI(CHL) + TSI(TP) + TSI(TN)] / 4. \quad (5)$$

Burada; SD derinliği metre, TP ve CHLa konsantrasyonları mg/m<sup>3</sup> ve TN konsantrasyonu mg/L'dir. TSI değerinin birimi olmadığından TSI(ORT) birimi yoktur.

Bir göle ait TSI indeks değeri; 40'ın altında ise oligotrofik, 40-60 arasında mezotrofik, 60-70 arasında ötrofik ve 70'den büyük ise hiperötrofik su kalitesine sahip bir

göldür. Bu indeksin hesaplanması ile göl suyunun kalitesinin hangi trofik seviyeye geldiğinin tespit edilmesinin yanı sıra, parametrelerin birbirleri ile kıyaslanması ile göldeki sınırlayıcı parametrenin hangisi olduğu belirlenebilmektedir. TSI değerlerinin farkları ve birbirleri ile karşılaştırılmalarının göl su kalitesi için anlamları Tablo 2'de verilmiştir (Carlson and Havens, 2005).

**Tablo 2.** TSI farkları ve birbirleri ile ilişkilerinin anlamları (Carlson and Havens, 2005).

TSI ilişkileri	Gölün durumu
TSI(CHL) = TSI(SD)	Alg hakimiyeti ve ışıқта azalma,
TSI(CHL) > TSI(SD)	Büyük partiküller hakim örneğin Aphanizomenon,
TSI(TP) = TSI(SD) > TSI(CHL)	Algal olmayan çözünmüş partiküller hakim ve ışıқта azalma,
TSI(SD) = TSI(CHL) >= TSI(TP)	Fosfor alg büyümesinde anahtar sınırlandırıcı (TN/TP oranı 33:1'den büyük),
TSI(TP) > TSI(CHL) = TSI(SD)	Zooplankton otlaması hakim, fosfor yerine azot veya başka bir faktör alg büyümesi için anahtar sınırlandırıcı olabilir.

## BULGULAR VE TARTIŞMA

Büyük alanları kapsayan göllerde özellikle sığ göllerde yatay iletimin düşey iletimden çok daha az olması sebebi ile göl kendi içinde farklı özellikler/karakteristikler gösterebilmektedir. Bu farklılıklarının ise mutlaka bütüncül ve sürdürülebilir bir yönetim için değerlendirilmesi gereklidir. Bunu yapabilmek için Taihu Gölü'nün TSI değerleri hesaplanmış, gürültüleri (anlık değişimleri) bertaraf edebilmek amacı ile de mevsimsel ortalamalar alınmış ve elde edilen sonuçlar irdelenmiştir.

Hesaplanan TSI değerinin mevsimsel sıralaması;

$$\begin{aligned}
 & TSI(SD)_{İlk} > TSI(SD)_{Yaz} > TSI(SD)_{YOrt} > TSI(SD)_{Sonb} > TSI(SD)_{Kış} \\
 & TSI(TN)_{İlk} > TSI(TN)_{Kış} > TSI(TN)_{YOrt} > TSI(TN)_{Yaz} > TSI(TN)_{Sonb} \\
 & TSI(TP)_{İlk} > TSI(TP)_{Yaz} > TSI(TP)_{Sonb} > TSI(TP)_{YOrt} > TSI(TP)_{Kış} \\
 & TSI(CHL)_{Yaz} > TSI(CHL)_{Sonb} > TSI(CHL)_{YOrt} > TSI(CHL)_{İlk} > TSI(CHL)_{Kış} \\
 & TSI(ORT)_{İlk} > TSI(ORT)_{Yaz} > TSI(ORT)_{YOrt} > TSI(ORT)_{Sonb} > TSI(ORT)_{Kış}
 \end{aligned}$$

olarak bulunmuştur. TSI (TN) hariç TSI değerlerinin kış mevsiminde en düşük değere sahip olması; bu mevsimde alg çoğalmasının az olmasından dolayıdır. TN ve TP konsantrasyonu için sıralamada özellikle azot döngüsünün ve ilk yağış ile göle ulaşan birikmiş besi mad-

## Taihu Gölü'nün Trofik Seviye Değerleri

Taihu Gölü için Denklemler 1-5 kullanılarak TSI değerleri hesaplanmış ve bu değerlerin istatistiksel değerleri Tablo 3'de verilmiştir.

TSI(CHL) değeri tüm mevsimlerde en düşük değere sahip olduğu görülmektedir. Bunun anlamı mevcut alg büyümesinden daha fazla miktarda alg gelişimini sağlayabilecek miktarda besi maddesinin bulunduğudur. Bu durum bu göl için besi maddelerinden daha etkin anahtar sınırlayıcı parametrelerin değerlendirilmesi gerektiğini göstermektedir.

delerin miktarının çok olması etkilidir. Chl a konsantrasyonu için ise; hava sıcaklığının etkisi mevsimsel ortalamalara bakıldığında açıkça görülmektedir. Bu dört parametrenin ortalamasından hesaplanan TSI(ORT) ise TSI(SD) ile aynı sıralamaya sahiptir.

**Tablo 3.** Taihu Gölü için Ocak 1992 – Aralık 2008 arasındaki su kalitesi verilerinden hesaplanan TSI(SD), TSI(TP), TSI(TN), TSI(CHL) ve TSI(ORT) değerlerinin tüm göl için mevsimsel ortalama, minimum, maksimum ve standart sapma değerleri.

Mevsim	İstatistik parametresi	TSI(SD)	TSI(TN)	TSI(TP)	TSI(CHL)	TSI(ORT)
İlkbahar	Ortalama	74.50	76.09	73.78	57.53	70.48
	Minimum	61.05	56.35	54.17	45.02	54.84
	Maximum	85.12	91.72	97.21	85.74	87.26
	Std. Sapma	5.54	7.23	7.50	7.67	5.04
Yaz	Ortalama	72.85	68.81	72.37	61.84	68.97
	Minimum	42.19	49.46	53.20	36.63	53.10
	Maximum	87.34	83.95	92.98	75.71	81.89
	Std. Sapma	6.48	6.38	8.20	8.21	5.64
Sonbahar	Ortalama	72.42	65.32	72.35	60.08	67.54
	Minimum	53.68	50.84	53.90	42.41	51.26
	Maximum	84.51	82.41	85.00	70.55	77.09
	Std. Sapma	5.67	6.92	7.56	6.79	5.86
Kış	Ortalama	71.55	70.40	70.71	52.17	66.18
	Minimum	6.27	8.64	7.95	7.94	5.79
	Maximum	87.34	91.72	97.21	85.74	87.26
	Std. Sapma	10.95	12.49	11.84	8.91	9.76
Yıllık Ortalaması	Ortalama	72.78	70.14	72.24	57.70	68.21
	Minimum	6.27	8.64	7.95	7.94	5.79
	Maximum	87.34	91.72	97.21	85.74	87.26
	Std. Sapma	7.69	9.54	9.10	8.77	7.12

İlkbahar mevsiminde en yüksek TSI(SD), TSI(TN) ve TSI(TP) değeri hesaplanmış iken en yüksek ortalama TSI(CHL) değeri için gecikmeli olarak yaz mevsiminde meydana gelmektedir.

Literatürde PAR (photosynthetically available radiation) değerini düşüren etmenler sıralandığında; toplam askıdaki katı madde miktarı ilk sırada, Chl a konsantrasyonunu ikinci gelmektedir (Zhang et al., 2006). Taihu Gölü için PAR değeri kış ve ilkbaharda en düşük iken yaz ve sonbaharda daha yüksektir ki buda TSI(CHL) değeri ile de büyük bir uyum içerisindedir. Ayrıca TSI(SD) ile TSI(TP) mevsimsel sıralamasında büyük bir benzerlik mevcut olması TP konsantrasyonunun askıdaki katı maddeleri için etkili birer kaynak olduğunu düşündürmektedir.

Yaz, sonbahar, kış mevsimlerinde (YSK indisi ile gösterilmiştir) ve ilkbaharda farklı parametrelerden hesaplanan TSI değerlerinin sıralaması;

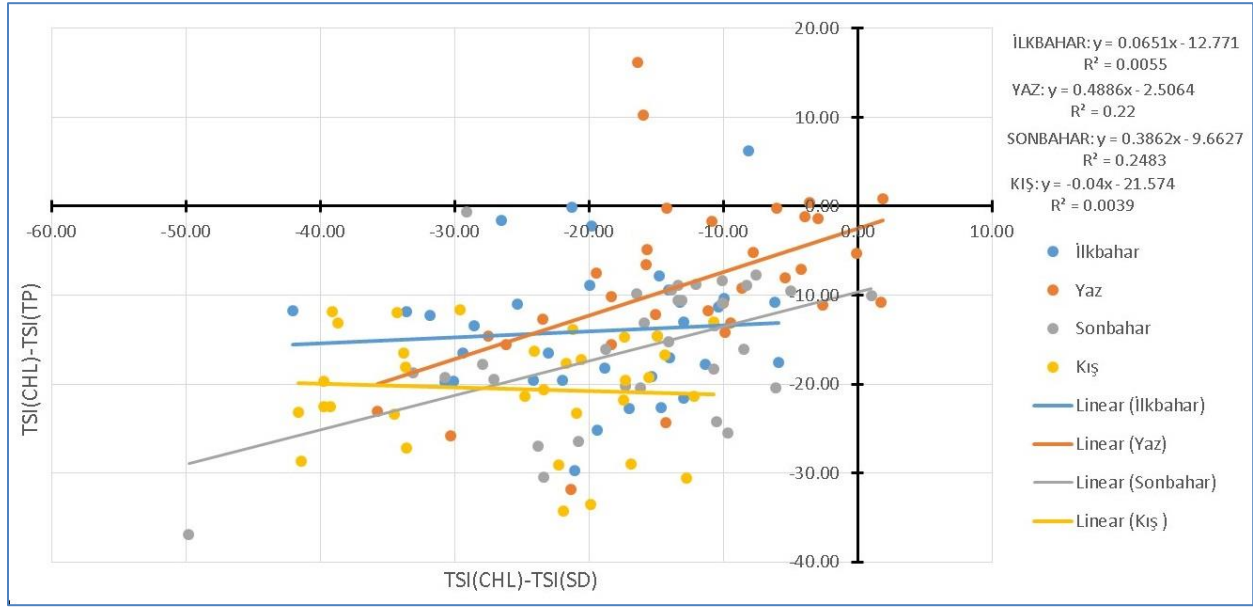
$$TSI(SD)_{YSK} > TSI(TP)_{YSK} > TSI(TN)_{YSK} > TSI(CHL)_{YSK}$$

$$TSI(TN)_{İlk} > TSI(SD)_{İlk} > TSI(TP)_{İlk} > TSI(CHL)_{İlk}$$

olarak bulunmuştur. TN konsantrasyonu göl kenarındaki tarlalarda kullanılan gübrelerin ilk yağmur ile yıkılarak göle ulaşması ilkbahar mevsimindeki artışının ve yaz mevsimindeki azalmanın nedeni ise; havanın ısınması ile azot konsantrasyonunun denitrifikasyon yolu ile havaya karışmasıdır (Akyuz et al., 2014).

TSI(CHL)-TSI(TP) ile TSI(CHL)-TSI(SD) farkları arasındaki ilişki ile gölün durumu hakkında bilgi vermektedir (Carlson and Havens, 2005). Şekil 2’de bu fark grafiği verilmiştir. Bu grafiğe göre; gölün fosfor fazlasının ve alglerden kaynaklanmayan bulanıklığı mevcuttur. Bu ise; azot konsantrasyonu ve sekki disk derinliği anahtar sınırlayıcı parametreler olduğunu göstermektedir. Alg büyümesinin çok olduğu yaz ve sonbahar mevsimlerinde TN/TP oranının ortalaması 30 değerinden daha az olması da bu sonucu desteklemektedir (Tablo 1).





Şekil 2. Taihu Gölü'nün TSI Fark Grafiği [TSI(Chl)-TSI(TP) ile TSI(Chl)-TSI(SD)].

Şekil 2'de TSI fark grafiğinde mevsim olarak eğilimine bakıldığında ise; kış ve ilkbahar mevsimlerinde anlamlı bir değişimin olmadığı yani istasyondan istasyona stabil bir durum olduğu görülmektedir. Bunun sebebinin kış ve ilkbahar mevsimlerinde yatay karışımın yüksek olmasıdır.

## SONUÇLAR

TSI(Chl) değerlerinin daha düşük bir değere sahip olması, TSI(SD) değerinin yüksek olmasının, yani ışık geçirgenliğindeki azalmanın nedeninin fitoplankton kaynaklı olmadığını sediment veya suyun içerisinde partiküllerin olduğu anlamına gelmektedir. Sığ bir göl olan Taihu Gölü rüzgarın etkisiyle oluşan dalganın kırılması ile tabandaki metaryaller su kolonuna taşımakta ve böylece suyun berraklığı azalmaktadır. Bu durumun iyi yanı alg büyümesinde ışık geçirgenliği bir kısıt olarak karşımıza çıkabilmesi, kötü yanı ise sadece TSI(SD) kullanarak gölün trofik seviyesi hakkında söylenecek yorumların tam doğru olmamasıdır. Bu olumsuzluğu gidermenin en iyi yolu bu araştırmada da yapıldığı gibi tüm TSI değerlerinin hesaplanması ve birlikte değerlendirilmesidir.

Gölün trofik seviyesi; koruyucu önlemlerin alınıp alınmayacağına, alınacaksa hangi önlemlerin alınacağına karar verilmesinde yol göstericidir. Fakat hesaplandığı parametreye göre gölün trofik seviyesi değişiklik gösterebilmektedir. Bu yüzden TSI indeks değerleri tüm parametreler için hesaplanmalı ve gölün trofik seviyesinin tespitinde tek bir parametre veya tek bir mevsimde hesap yapılarak elde edilen değerlere göre karar verilmemelidir.

Bir gölün trofik seviyesindeki değişimin hızı içsel ve dışsal şartlara göre değişmekle birlikte normalde trofik seviyesindeki değişimin onlarca yılda meydana gelmesi beklenmektedir. İnsan eli ve doğal afetlerle ise çok kısa sürede bu değişimi meydana getirebilmektedir. Fakat trofik seviyenin iyileştirilmesi ve bu iyileşmenin sürdürülebilir olması oldukça zor ve maliyetlidir. Bu yüzden bir an önce göllerde gerekli önlemler alınarak bütüncül bir yaklaşımla yönetim planları hazırlanmalıdır. Bu yönetim planının efektif olabilmesi için anahtar sınırlayıcı parametreye odaklanmak daha kısa sürede daha etkili bir sonuç alınmasını sağlayabilmektedir.

## TEŞEKKÜR

Bu çalışmada kullanılan tüm veriler Taihu Gölü Ekosistem Araştırmaları Laboratuvarı (Taihu Laboratory for Lake Ecosystem Research; TLLER) tarafından ölçülmüştür. Bu verilerin ölçümünde ve ücretsiz dağıtımında emeği geçen herkese teşekkür ederim.

## KAYNAKLAR

- Akyuz, D.E., Luo, L.C., Hamilton, D.P. (2014). Temporal and spatial trends in water quality of Lake Taihu, China: analysis from a north to mid-lake transect, 1991-2011. Environmental Monitoring and Assessment, 186: 3891-3904.
- Bachmann, R.W., Bigham, D.L., Hoyer, M.V., Canfield, D.E. (2012). Phosphorus, nitrogen, and the designated uses of Florida lakes. Lake and Reservoir Management, 28: 46-58.
- Brown, C.D., Hoyer, M.V., Bachmann, R.W., Canfield, D.E. (2000). Nutrient-chlorophyll relationships: an evaluation of

- empirical nutrient-chlorophyll models using Florida and north-temperate lake data. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 57: 1574-1583.
- Carlson, R.E. (1977). A trophic state index for lakes. *Limnology and Oceanography*, 22: 1939-5590.
- Carlson, R.E. (1983). Using Differences among Carlson Trophic State Index Values in Regional Water-Quality Assessment - Discussion. *Water Resources Bulletin*, 19: 307-308.
- Carlson, R.E., Havens, K.E. (2005). Simple graphical methods for the interpretation of relationships between trophic state variables. *Lake and Reservoir Management*, 21: 107-118.
- Carpenter, S.R., Cole, J.J., Hodgson, J.R., Kitchell, J.F., Pace, M.L., Bade, D., Cottingham, K.L., Essington, T.E., Houser, J.N., Schindler, D.E. (2001). Trophic cascades, nutrients, and lake productivity: whole-lake experiments. *Ecological Monographs*, 71: 163-186.
- Guildford, S.J., Hecky, R.E. (2000). Total nitrogen, total phosphorus, and nutrient limitation in lakes and oceans: Is there a common relationship? *Limnology and Oceanography*, 45: 1213-1223.
- James, R.T., Havens, K., Zhu, G.W., Qin, B.Q. (2009). Comparative analysis of nutrients, chlorophyll and transparency in two large shallow lakes (Lake Taihu, PR China and Lake Okeechobee, USA). *Hydrobiologia*, 627: 211-231.
- Kratzer, C.R., Brezonik, P.L. (1981). A Carlson-Type Trophic State Index for Nitrogen in Florida Lakes. *Water Resources Bulletin*, 17: 713-715.
- Levine, S.N., Schindler, D.W. (1992). Modification of the N:P Ratio in Lakes by In situ Processes. *Limnology and Oceanography*, 37: 917-935.
- Lewis, W.M., Wurtsbaugh, W.A. (2008). Control of Lacustrine Phytoplankton by Nutrients: Erosion of the Phosphorus Paradigm. *International Review of Hydrobiology*, 93: 446-465.
- Li, Y.P., Tang, C.Y., Wang, C., Anim, D.O., Yu, Z.B., Acharya, K. (2013). Improved Yangtze River Diversions: Are they helping to solve algal bloom problems in Lake Taihu, China? *Ecological Engineering*, 51: 104-116.
- Lurling, M., Tolman, Y. (2014). Beating the blues: Is there any music in fighting cyanobacteria with ultrasound? *Water Research*, 66: 361-373.
- Ma, J.R., Qin, B.Q., Wu, P., Zhou, J., Niu, C., Deng, J.M., Niu, H.L. (2015). Controlling cyanobacterial blooms by managing nutrient ratio and limitation in a large hyper-eutrophic lake: Lake Taihu, China. *Journal of Environmental Sciences*, 27: 80-86.
- McCarthy, M.J., James, R.T., Chen, Y.W., East, T.L., Gardner, W.S. (2009). Nutrient ratios and phytoplankton community structure in the large, shallow, eutrophic, subtropical Lakes Okeechobee (Florida, USA) and Taihu (China). *Limnology*, 10: 215-227.
- Osgood, R.A. (1982). Using Differences among Carlson Trophic State Index Values in Regional Water-Quality Assessment. *Water Resources Bulletin*, 18: 67-74.
- Paerl, H.W., Xu, H., Hall, N.S., Rossignol, K.L., Joyner, A.R., Zhu, G.W., Qin, B.Q. (2015). Nutrient limitation dynamics examined on a multi-annual scale in Lake Taihu, China: implications for controlling eutrophication and harmful algal blooms. *Journal of Freshwater Ecology*, 30: 5-24.
- Paerl, H.W., Xu, H., Hall, N.S., Zhu, G.W., Qin, B.Q., Wu, Y.L., Rossignol, K.L., Dong, L.H., McCarthy, M.J., Joyner, A.R. (2014). Controlling Cyanobacterial Blooms in Hypertrophic Lake Taihu, China: Will Nitrogen Reductions Cause Replacement of Non-N<sub>2</sub> Fixing by N<sub>2</sub> Fixing Taxa? *Plos One*, 9
- Qin, B. (2008). *Lake Taihu, China: Dynamics and Environmental Change*. Springer Netherlands.
- Qin, B., Hu, C. (2010). *Scientific observation and research data sets of Lake Taihu (1991-2006)*. China Agricultural Press Beijing.
- Schindler, D.W. (2012). The dilemma of controlling cultural eutrophication of lakes. *Proceedings of the Royal Society B-Biological Sciences*, 279: 4322-4333.
- Schindler, D.W., Hecky, R.E., Findlay, D.L., Stainton, M.P., Parker, B.R., Paterson, M.J., Beaty, K.G., Lyng, M., Kasian, S.E.M. (2008). Eutrophication of lakes cannot be controlled by reducing nitrogen input: Results of a 37-year whole-ecosystem experiment. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 105: 11254-11258.
- Singh, S.P., Singh, P. (2015) Effect of temperature and light on the growth of algae species: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 50: 431-444.
- Xu, H., Paerl, H.W., Qin, B.Q., Zhu, G.W., Gao, G. (2010). Nitrogen and phosphorus inputs control phytoplankton growth in eutrophic Lake Taihu, China. *Limnology and Oceanography*, 55: 420-432.
- Xu, S., Wang, Y., Huang, B., Wei, Z.B., Miao, A.J., Yang, L.Y. (2015). Nitrogen and phosphorus limitation of phytoplankton growth in different areas of Lake Taihu, China. *Journal of Freshwater Ecology*, 30: 113-127.
- Zhang, H.P., Chen, R.H., Li, F.P., Chen, L. (2015). Effect of flow rate on environmental variables and phytoplankton dynamics: results from field enclosures. *Chinese Journal of Oceanology and Limnology*, 33: 430-438.
- Zhang, Y.L., Qin, B.Q., Hu, W.P., Wang, S.M., Chen, Y.W., Chen, W.M. (2006). Temporal-spatial variations of euphotic depth of typical lake regions in Lake Taihu and its ecological environmental significance. *Science in China Series D-Earth Sciences*, 49: 431-442.
- Zhu, W., Sun, Q.Q., Chen, F.L., Li, M. (2015). Cellular N:P ratio of *Microcystis* as an indicator of nutrient limitation-implications and applications. *Environmental Earth Sciences*, 74: 4023-4030