



Ekolojik Taşıma Kapasitesi : Fosfora Dayalı Yüklenme Modeli Kullanılarak Kılıçkaya Baraj Gölü için Taşıma Kapasitesi Tahmini [*]

Ekrem BUHAN^{1*} Melek YÜZER²

¹Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Zootečni Bölümü Tokat, Türkiye

²Tarım ve Orman Bakanlığı, Tokat Gıda Kontrol Laboratuvar Müdürlüğü, Tokat, Türkiye

Geliş Tarihi: 03.08.2022

Kabul Tarihi: 01.09.2022

Basım Tarihi: 30.09.2022

Atf yapmak için: Buhan, E. & Yüzer, M. (2022). Ekolojik Taşıma Kapasitesi : Fosfora Dayalı Yüklenme Modeli Kullanılarak Kılıçkaya Baraj Gölü için Taşıma Kapasitesi Tahmini. *Anadolu Çev. ve Hay. Dergisi*, 7(3), 323-330.

How to cite: Buhan, E. & Yüzer, M. (2022). Ecological Carrying Capacity: Carrying Capacity Estimation for Kılıçkaya Reservoir Using Phosphorus Based Loading Model. *J. Anatolian Env. and Anim. Sciences*, 7(3), 323-330.

<https://orcid.org/0000-0003-4338-1758>
 <https://orcid.org/0000-0002-2028-6822>

*Sorumlu yazarın:
Ekrem BUHAN
Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Ziraat
Fakültesi, Zootečni Bölümü, Tokat, Türkiye
✉: ekrem.buhan@gop.edu.tr

Öz: Ekolojik taşıma kapasitesi ekosistemlere zarar verilmeden ortamdaki üst düzeyde yararlanma ölçütünü tanımlar. Her ekonomik faaliyet gibi su ürünleri yetiştiriciliğinin de sucul ekosistemler üzerine önemli etkileri bulunmaktadır. Özellikle yüzer ağ kafes balık çiftlikleri yerleşim konumu gereği ortama besleyici element vererek ötrofikasyona neden olabilir. Bu nedenle balık çiftlikleri kurulmadan önce ortamın taşıma kapasitesi hesaplanmalıdır. Bu çalışmada Türkiye'nin Karadeniz Bölgesinde yer alan Kılıçkaya Baraj Gölünün taşıma kapasitesi Dillon-Rigler fosfor yüklenme modeli kullanılarak tahmin edilmiştir. Hesaplamalarda çiftlik ve göl limnolojik verileri; ortalama derinlik 16 m, yüzey alanı 64,4 km², kabul edilebilir fosfor yükü 30 mg/m³, ortalama fosfor konsantrasyonu 24 mg/m³, yemden yararlanma oranı 1,0-1,5-2,0 arasında kullanılmıştır. Model gölde ağ kafeslerde üretilebilecek yıllık alabalık miktarını 1.697 ton ile 25.162 ton arasında tahmin etmiştir. Gölün derinliğinin az olması, alt havzanın ötrofik yapısı ve küresel iklim değişimi dikkate alınarak, çevreye zarar vermeden ortalama 3000 ton/yıl alabalık üretilbileceği sonucuna ulaşılmıştır. Ayrıca Türkiye'nin tüm baraj göllerinde; ağ kafes çiftliği kurulmadan önce ekolojik taşıma kapasitesinin hesaplanması önerilmiştir.

Anahtar kelimeler: Yüzer ağ kafes, alabalık, su ürünleri yetiştiriciliği, taşıma kapasitesi.

Ecological Carrying Capacity: Carrying Capacity Estimation for Kılıçkaya Reservoir Using Phosphorus Based Loading Model

Abstract: Ecological carrying capacity defines the degree of maximum utilization of the environment without damaging ecosystems. Aquaculture has significant effects on the aquatic ecosystems something like every economic activity. Especially, floating net cage fish farms may cause eutrophication by releasing nutrients into the environment due to their settlement location. For this reason, the carrying capacity of the environment should be calculated before the establishment of fish farms. In this study, the carrying capacity of the Kılıçkaya Reservoir located in the Black Sea Region of Turkey was estimated using the Dillon-Rigler phosphorus loading model. In the calculations, limnological and cage farm data (average depth 16 m, surface area 64.4 km², acceptable phosphorus load 30 mg/m³, average phosphorus concentration 24 mg/m³, food conversion rate between 1.0-1.5-2.0) were used. According to the model, annual amount of trout that should be produced by cage farms in the reservoir was estimated as between 1.697 and 25.162 tons. Considering the low depth of the lake, the eutrophic structure of the lower basin, and the global climate change, it has been concluded that an average of 3.000 tons/year trout can be produced without damaging the environment. In addition, it is suggested that ecological carrying capacity for all reservoir in Turkey should be estimated before the fish farm establishment.

*Corresponding author:
Ekrem BUHAN
Tokat Gaziosmanpaşa University, Faculty of
Agriculture, Department of Animal Science,
Tokat, Turkey
✉: ekrem.buhan@gop.edu.tr

Keywords: Floating net cage, trout, aquaculture, carrying capacity.

GİRİŞ

Hızlı nüfus artışı ve ekonomik kalkınma girişimleri için su kaynaklarının aşırı kullanımı; sucul ekolojik ortamı çok ciddi olumsuz etkilemektedir (Li & Zhou,2009). Göller ve baraj gölleri su temini yanında balık ve diğer su ürünleri üretimi için de önemli su kaynaklarıdır (Sun et al., 1999). Günümüzde küresel ölçekte çoğu göl ve akarsu ekosisteminde yaşanan su kirliliği tehditleri söz konusu ortamların ekolojik işlevlerin bozulmasının ötesinde, toplumların ekonomisini ve sürdürülebilir kalkınmasını da ciddi şekilde olumsuz etkilemektedir (Zhang et al.,2014). Su ürünleri yetiştiriciliği sistemlerinin atık sularındaki azot ve fosfor gibi iki elementin fazlalığı ötrofikasyona ve bunun sonucunda su ekosisteminde istenmeyen değişikliklere yol açabilirler (Jahan et al., 2003). Keza, kültüre alınan yoğun ve üst düzeydeki balık miktarı da gölün özgün ekolojik dengesini bozar (Zhou et al.,2011; Zhang et al.,2014).

Su ürünleri yetiştiriciliği en hızlı büyüyen gıda üretim sektörlerinden biridir ve gıda güvenliği ve geçim kaynakları için büyük potansiyellere sahiptir. Bununla birlikte, kimyasal ve biyolojik kirlilik, hastalık salgınları, sürdürülemez yem kaynakları ve kullanım alanı için rekabet dahil olmak üzere çevre için endişe verici sonuçlara neden olabilmektedir (Carballeira Braña et al.,2021). Suda yaşayan hayvanların (balık, yumuşakça, kabuklu vb.) ve deniz yosunlarının yetiştirilmesi olarak bilinen su ürünleri yetiştiriciliği, 2000-2016 döneminde yıllık ortalama % 5,8 büyüme oranıyla 80 milyon tona ulaşmış ve dünyanın en hızlı büyüyen gıda üretim sektörü olmuştur (FAO, 2018). Türkiye'nin alabalık üretimi 135.732 ton (TÜİK,2022) ile İran'dan sonra ikinci sırada gelmektedir (EUMOFA,2021). 2014 yılında toplam 1945 adet 248.455 ton/yıl proje kapasiteli iç su üretim tesisinde, 122.873 ton/yıl fiili olarak alabalık üretimi gerçekleştirilmiştir (TÜİK, 2015). Bu üretimin büyük çoğunluğu baraj göllerindeki yüzer ağ kafes işletmelerinden gerçekleşmekte olup, potansiyel olarak ötrofikasyon tehdidi oluşturması kaçınılmaz görülmektedir. Ülkemizdeki 13.450 km²'lik içsu alanının yaklaşık 4.250 km²'lik (% 32) kısmı 677 adet baraj gölünden oluşturmaktadır (Tüfek ve Yalçın, 2007; Ayvaz ve vd., 2011). Bu baraj göllerinin potansiyel su ürünleri üretiminin sürdürülebilirliği literatür bildirişlerine göre ekolojik taşıma kapasitesinin belirlenmesi ile yakın ilişkilidir.

Her türlü insan faaliyeti ortamlarında istenmeyen değişikliklere neden olabilmektedir. Bu faaliyetlerin ortamlarına etkisini azaltmak için çevresel araçlar geliştirilmektedir. Taşıma kapasitesi kavramı sürdürülebilir kalkınmanın hem temelini oluşturur hem de işlevselleştirilmesi için bir çevresel araç olarak kabul edilir (Sala et al., 2015). Taşıma kapasitesi, modern çevre politikalarında yaygın olarak kullanılan bir kavram haline

gelmiş olup; genel olarak kabul edilemez çevresel bozulma meydana gelmeden önce, bir ortamın tolere edebileceği en üst kullanım seviyesi olarak tanımlanabilir (Weitzman and Filgueira, 2019). Taşıma kapasitesi; bağımsız olarak biyoloji, populasyon ekolojisi, insan demografisi, yaban hayatı ve kaynak yönetimi gibi birçok alanda sürdürülebilir kalkınmayı sağlayıcı bir dizi uygulama haline gelmiştir. Tarihsel ve kavramsal kökeni Thomas Malthus (1798) ve onun yaklaşımlarını "lojistik büyüme eğrisi" olarak tanınan formülasyona dönüştüren matematikçi Pierre Verhulst (1838)' a kadar uzanmaktadır (Sayre, 2008; Weitzman & Filgueira, 2019).

McKindsey et al. (2006); bölgeye ve yetiştirilecek su ürünleri sistemine göre kümülatif yoğunluğu dengelenen dört adet kaldırma kapasitesi tanımlamıştır. Bunlar;

- **Fiziksel Taşıma Kapasitesi:** Bir ekosistem içindeki potansiyel, yeterli ve mevcut su ürünleri yetiştiriciliği bölgelerinin tanımlanması (batımetri, akım, sıcaklık, arazi kullanımı, alt yapı vb.) olup ağırlıklı UA ve CBS kullanımı önerilir,
- **Sosyal Taşıma Kapasitesi:** Toplumsal görüş, görsel etki, değerler zinciri, rakip sektörler, paydaş izlenimleri vb. temel alınarak olumsuz sosyal etkinin hangi noktada oluştuğunun belirlenmesidir,
- **Üretim Taşıma Kapasitesi:** Bölge, yer ve çiftlik düzeyinde sürdürülebilir en üst su ürünleri üretiminin belirlenmesidir. Bu, kültür sistemine (yem, FCR, atık vb. oluşturmak için kullanılır), kullanılan teknolojiye ve gerekli yatırıma veya ekonomik kapasiteye ve ayrıca hedef pazarlara bağlıdır.
- **Ekolojik Taşıma Kapasitesi:** Üretim ortamlarının türleri, popülasyonları veya ekolojik süreçleri ve hizmetleri üzerinde önemli bir etki yaratmadan su ürünleri yetiştiriciliği faaliyetlerini idare etme kabiliyetini olarak özetlenebilir. Bu, oksijen tükenmesi, aşırı besleyici element yükü ve ötrofikasyon gibi kriterleri gösterge olarak kullanır.

Bunlardan Ekolojik Taşıma Kapasitesi (ETK); McKindsey (2013) tarafından *kabul edilemez ekolojik etkilere neden olmayan, kültüre alınan türlerin maksimum yoğunluğu olarak tanımlanmıştır. Elliott et al.(2018) ise kavramın aynı zamanda özümleme kapasitesi terimiyle eşanlamlı kabul edilebileceğini belirtmiştir. FAO (2010) ise ekolojik taşıma kapasitesini; esneklik kapasitesinin ötesinde herhangi bir bozulma olmaksızın sürdürülebilir kalkınmanın bir gereği olarak ekosistem perspektifinde ele alınması gerektiğini bildirmiştir (Weitzman & Filgueira, 2019).*

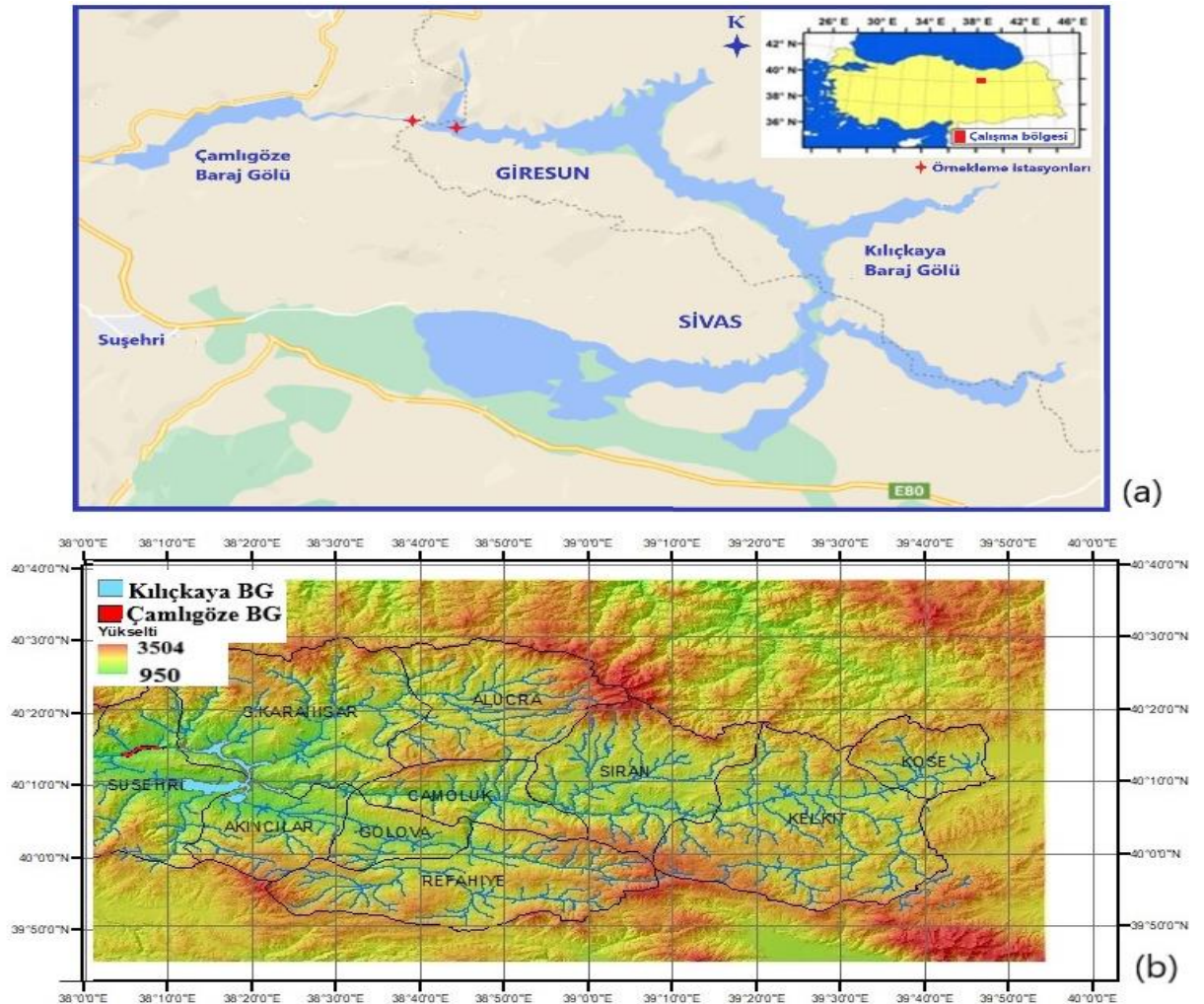
Ekolojik taşıma kapasitesi, su ürünleri üretimi için üst çevresel sınırların belirlenmesine yardımcı olan ve böylece doğal ekosistemlerde "kabul edilemez değişiklik" ten kaçınan; sürdürülebilirlik, dayanıklılık ve en iyi uygulama kılavuzlarına dayalı sürdürülebilir yönetim için önemli bir kavramdır (Ross et al., 2013). Özellikle ağ kafes işletmelerinin yoğunlaştığı baraj göllerinde ekolojik kaldırma kapasitesinin tahmini sektörel sürdürülebilir gelişim için hayati bir konudur. Ekolojik kaldırma kapasitesi için fosfor kütle dengesi modelleri ve hidrografik modeller

geliştirilmiştir (Akpojotor,2015). Beveridge (2004)'e göre daha en popüler fosfor kütle dengesi modellerinden ikisi Dillon & Rigler (1974) modeli ve OECD (1982) modelidir. Vollenweider (1975) denkleminin çeşitli modifikasyonları, su kütlelerinin besleyici element kapasitesini modellemek için çeşitli araştırmalarda kullanılmıştır. Sürdürülebilir su ürünleri üretimi, su kütleleri gibi doğal kaynakların verimli kullanımı için ekolojik taşıma kapasitesinin değerlendirilmesini dikkate almalıdır (David et al.,2015). Kılıçkaya Baraj Gölünde ağ kafeste alabalık yetiştiriciliği için henüz kapasitesi belirlenmemiş bir potansiyel bulunmaktadır. Bu çalışma, Kelkit Irmağı üst havzasında bulunan Kılıçkaya Baraj Gölünde alabalık kafes kültürü için ekolojik taşıma kapasitesini tahmin etmek için gerçekleştirilmiştir. Çalışmada göl ortamın taşıyabileceği fosfor yüklerini değerlendirmek için limnolojik ve alabalık yetiştiricilik verileri dikkate alınarak Dillon & Rigler (1975) fosfor yüklenmesi modeline dayalı tahminde bulunulmuştur. Makalede ayrıca ülkemizin balık üretim kapasitesi ve potansiyelini de dikkate alarak; yaşamakta olduğumuz küresel iklim değişimi döneminde su kaynaklarımızın

korunması için ekolojik kaldırma kapasitesi kavramı ve önemine de vurgu yapmaktadır.

MATERYAL VE METOT

Çalışma Alanı: Bu çalışma Karadeniz Bölgesinde bulunan Giresun ili Şebinkarahisar İlçesi ile Sivas İli Suşehri ilçesi sınırları arasında bulunan Kılıçkaya Baraj Gölünde yürütülmüştür. Çalışma alanının 40°14'K 38°11'D ve 40°14'K 38°11'D koordinatları arasında konumlanmaktadır (Şekil 4). Baraj gölü Yeşilırmağın en büyük kolu olan 320 km uzunluğundaki Kelkit Çayı üzerinde enerji ve taşkın koruma amacıyla 1990 yılında hizmete alınmıştır. Barajın yüksekliği 135 m, normal su kotunda göl hacmi $103 \times 10^7 \text{ m}^3$, normal su kotunda göl alanı 64 km^2 'dir (DSİ, 2017). Gölün en derin yeri 100 m civarındadır. Kılıçkaya Hidroelektrik Santrali'nin yıllık ortalama enerji üretimi ise 332GWh/yıldır. Göl sazan yavruları bırakılmakta, gölün çevresindeki tarım alanlarına gölden su çekilmektedir (Aydoğar, 2004; Dirican, 2008).



Şekil 4. Kılıçkaya Baraj Gölü coğrafi konumu, örnekleme istasyonlarını (a) ve yağış havzası (b) haritası.

Figure 4. Map of Kılıçkaya Dam Lake geographical location and sampling stations (a) and precipitation basin (b).

Su örnekleme ve analizleri: Bu çalışma Temmuz 2018 ile Mart 2019 tarihleri arasında dört mevsim su örnekleri toplanarak gerçekleştirilmiştir. Gölün baraj settesinden yaklaşık 1,5 km uzakta; orta noktalı bir konumdan yüzey suyu (1.istasyon) ile gölün tüm su kütleini temsil ettiğini düşündüğümüz baraj çıkış (kuyruk) suyu bölgesinden (2.istasyon) olmak üzere iki bölgeden su örnekleri toplanmıştır. Su kalitesi parametrelerinden, sıcaklık, çözünmüş oksijen ve pH; YSI-556 MPS çok parametrelili ölçüm cihazı kullanılarak yerinde ölçülmüş; amonyak, nitrat, nitrit ve toplam fosfor, Hach-Lange Dr-2800 mobil ve masaüstü spektrofotometre kullanılarak cihaz kütüphanesindeki uygun yöntemler ve test kitleri (Hach-Lange,2007) kullanılarak belirlenmiştir.

Çalışmada kullanılan ekolojik taşıma kapasitesi modelin tanıtımı: Vollenweider (1968) tarafından önerilen ve Dillon and Rigler (1974) tarafından geliştirildiği fosfor yüklenmesi modeli; göl hacmi, suyun yenilenme süresi, göle giren fosfor miktarı, fosforun sedimentte tutulan miktarı ve göldeki toplam fosfor derişimi ile ilişkisel olarak aşağıda sunulan formül temel alınarak tahmin edilmiştir. Model balık yetiştiriciliğinden kaynaklanan fosfor yüklenmesine uygulanırsa, aşağıdaki model ortaya çıkar:

$$\Delta[P] = \frac{L_B - (1 - R_B)}{\bar{z} \cdot \rho} = L_B = \frac{\Delta[P] \cdot \bar{z} \cdot \rho}{1 - R_B}$$

Burada;

L_B = Baraj gölleri yoğun balık kültürü için taşıma kapasitesi (mg/m² yıl)

$\Delta[P]$ = Kabul edilebilir maksimum fosfor derişimi [Pf] ile kafes kültüründen önceki fosfor derişimi [Pi] arasındaki fark (mg/m³)

\bar{z} = Ortalama derinlik (m)

ρ = Göl suyu yenilenme süresi (1/yıl)

R_B = Yoğun balık kültüründen çökelen fosforun sedimentte tutulan kısmı

Modelin diğer formülizasyonları ve açıklamaları Tablo 3’de verilmektedir.

BULGULAR VE TARTIŞMA

Su Kalitesi Bulguları: Gölde mevsimsel dönemlerle yapılan analizlerde nitrit analiz ölçüm değerlerinin altında bulunmuştur. Nitrat analiz sonuçlarının 0,119 ile 0,285 mg/l değerleri arasında dağılım göstermiş, ölçülen en yüksek değer Ekim ayında, en düşük değer ise Kasım ayında saptanmıştır. Amonyak analiz sonuçlarının 0,001 ile 0,023 mg/l arasında; en düşük değer Mart ayında, en yüksek değer Temmuz ayında ölçülmüştür. Toplam fosfor analiz sonuçlarının 0,011 ile 0,074 mg/l arasında dağılım gösterdiği en yüksek değer Mart ayında, en düşük değer ise Temmuz ayında saptanmıştır. Nitrit değerleri

kitlerin ölçüm sınırlarından düşük bulunmuştur. Göl suyu sıcaklığı; 8,41±0,21 (7,52-17,94)°C, pH’sı 8,41±0,21 (8,20-8,69) ve çözünmüş oksijen değeri 7,08 ± 0,21 (6,50-7,60) mg/l ölçülmüştür (Tablo 1).

Tablo 1. Kılıçkaya Baraj Gölünde ölçülen bazı su kalitesi parametreleri

Parametre	Ortalama	Minimum	Maksimum	Standart sapma
Nitrat azotu (mg/l)	0,199	0,119	0,285	0,074
Amonyak azotu (mg/l)	0,020	0,001	0,057	0,020
Toplam fosfor (mg/l)	0,024	0,011	0,074	0,028
Sıcaklık °C	10,51	7,52	17,94	1,09
Çözünmüş oksijen (mg/l)	7,08	6,50	7,60	0,56
pH	8,41	8,20	8,69	0,21

Kılıçkaya Baraj Gölünde Dirican (2008)’in gerçekleştirdiği çalışmada, göl su kalitesi birinci sınıf yüksek kaliteli sular kapsamında değerlendirilmiş ve önemli bir kirlilik sorununun olmadığı, çiftlik yerleşim alanına dikkat edilmesi koşulu ile su kalitesinin alabalık yetiştiriciliği için genelde uygun olduğunu belirtilmiştir. Söz konusu çalışmada, su sıcaklığı 7,8 ile 17,9 °C arasında, pH değeri 7,21 ile 8,25 arasında, çözünmüş oksijen değeri yüzeyde 8,64 ile 8,94 mg/l arasında, nitrat azotu yüzeyde 0,30 ile 0,66 mg/l, nitrit azotu yüzeyde 0,002 ile 0,004 mg/l arasında orto-fosfat fosforu 0,009 ile 0,015 mg/l arasında değiştiği saptanmıştır (Dirican,2008). Tablo 2’de Molony (2001)’nin bildirdiği alabalık yetiştiriciliğinde uygun sınır değerlerin bu çalışma sonuçları ile karşılaştırıldığında ve Dirican (2008)’nin değerlendirmesi de göz önüne alındığında; genel bir değerlendirme olarak göl su kalitesi alabalık yetiştiriciliğine uygundur. Ancak bölgesel farklılıklara (örneğin güney ve doğu kesimleri) bağlı olarak uygun nitelikler de taşıyabilir. İşletme kurulmadan önce yerleşim yerinin bir yıl süre ile su kalitesi açısından izlenmesi önerilir. Güvenlik mesafesi bırakılarak baraj settesine yakın derin alanlar göl ağ kafes işletmeciliği için daha uygun morfometrik karakterler sergilemektedir.

Kılıçkaya Baraj Gölünde alabalık yoğun kafes kültürü için taşıma kapasitesi; göl ortalama derinliği yaklaşık 16 m ve yüzey alanı 64,4 km² olan gölün üretilebileceği balık miktarı kabul edilebilir fosfor yüklenmesi 60 mg/m³ olarak kabul edildiğinde, yemden yararlanma oranı (FCR) 1. 0 için 25.162 ton/yıl, FCR 1. 5 için 14.500 ton/yıl, FCR 2.0 için 10.185 ton/yıl olarak hesaplanmıştır. Kabul edilebilir fosfor yüklenmesi 30 mg/m³ kabul edildiğinde, gölde yetiştirilebilecek balık miktarı, FCR 1. 0 için 4.194 ton/yıl, FCR 1.50 için 2.417 ton/yıl ve FCR 2. 0 için 1.697 ton/yıl olarak hesaplanmıştır (Tablo 3). Dillon and Rigler (1974) kabul edilebilir fosfor yükünü 60 mg/m³ olarak bildirmişse de, Carlson & Simpson (1996); Brasil (2005) ve ANA (2009) ise kabul edilebilir toplam fosfor miktarı için ötrofikasyon sınır değeri olarak 30 mg/m³ olarak önermişlerdir. Bu değer ETK çalışmalarında kabul görmesi göl ekosistemlerinin korunmasını sağlayacaktır. Temel fosfor kütle dengesi modelleri

kullanıldığında dahi, bir rezervuarın ekolojik taşıma kapasitesini tahmin etmek için gereken veri yığını karmaşıktır ve çok disiplinli bir çaba gerektirir, bu çalışmalar zahmetli ve pahalıdır, ancak tatlı su kaynaklarının stratejik önemi göz önüne alındığında gereklidir. Su ürünleri

yetiştiriciliği alanlarının belirlenmesi, alternatif kullanımlar için düşük değerleri veya karar vericilerin daha geniş gündemleriyle bağlantılı siyasi nedenlerle değiştirilmemelidir (Leschen et al., 2005; David et al.,2015).

Tablo 2. Yetiştiricilik şartlarında alabalıklar için gerekli iyi su kalitesi sınırları*.
Table 2. Required good water quality limits for trout culture*.

Parametre	Sedgwick (1985)	Stevenson (1987)	Barton (1996)	Wedemeyer(1996)	Brannon(1991)	Bu çalışma
Sıcaklık(°C)	10-15 (G) 21 altı en iyi, >25-27 letal(Y)	10-16 (G) 20 altı en iyi >25 letal(Y)	10-22 (G) >26,5 letal (Y)		9-16 (G) <26 (Y)	10,51 (7,52-17,94)
pH	7-7,5 (G) 6'dan az olamaz (Y)	7-7,6 (G) 6'dan az olamaz (Y)	6,5-8 (G) 6'dan az olamaz (Y)	7-8 (G) 6-9 (Y)	6,7-8,5 (G)	8,41 (8,20-8,69)
Amonyak	< 0.0125 (G)	Soderberg et al.(1983)	0,3	0,2		0,020
NH ₃ -N mg/l	< 1.8 (S)		0,1-0,6	1,0		0,001-0,057
Nitrit	< 0.00012(G)		Brown and Mcleay (1975)		0,014	
NO ₂ -N mg/l	< 0.23 (Y)				0,003-0,028	ÖSA
Nitrat	< 0.025 (G)	Westin (1974)			0,08	0,199
NO ₃ -N mg/l	< 0.25 (Y)				0,02-0,2	0,119-0,057

*Molony (2001)'den değiştirilerek

Tablo 3. Kılıçkaya Baraj Gölü Ekolojik taşıma kapasitesi model bileşenleri ve sonuçları.

Table 3. Kılıçkaya Dam Lake Ecological carrying capacity model components and results.

A: Göl alanı (m ²)		644 x 10 ⁹
V: Göl hacmi (m ³)		103 x 10 ⁷
Q: Gölde çıkan su hacmi (m ³)		132 x 10 ⁷
\bar{Z} : Göl ortalama derinliği (m)	V/A	16
ρ : Göl yenilenme süresi (1/yıl)	Q/V	1,28
Pi: Gölün ortalama fosfor değeri (mg/m ³)		24
R: Fosfor tutulma katsayısı	$1/(1+0,515 \rho^{0,551})$	0,63
R _B :Balık üretimi kaynaklı fosfor tutulma oranı	$R_B = x + [(1 - x) R]$	0,815
X:Sedimente çökelen toplam fosfor oranı	(0,45-0,55)	0,50
$\Delta[P]$: Fosfor yüklenmesi (mg/m ³)	$[P_f] - [P_i]$	
$[P_f]_1$:Kabul edilebilir fosfor derişimi	60 mg/m ³	36
$[P_f]_2$:Kabul edilebilir fosfor derişimi	30 mg/m ³	6
P _{yem} :Yem içeriğindeki fosfor kgP/ton (% 1.5)		15 kg/ton
P _{balık} :Balıkta tutulan fosfor kgP/ton (% 0.48)		4,8 kg/ton
P _{çevre} : Çevreye salınan fosfor kgP/ton balık (FCR: Yemden Yararlanma Oranı)	P _{yem} - P _{balık}	FCR:1 FCR:1.5 FCR:2
		15,0-4,8= 10,2 kg P/ton 22,5-4,8= 17,7 kg P/ton 30,0-4,8= 25,2 kg P/ton
	$[P_f]_1$	FCR:1 FCR:1.5 FCR:2
	60 mg/m ³	25162 ton 14500 ton 10185 ton
	İçin	
	$[P_f]_2$	FCR:1 FCR:1.5 FCR:2
	30 mg/m ³	4194 ton 2417 ton 1697 ton
	İçin	

$$LB = \Delta [P] \cdot \bar{Z} \cdot \rho \cdot A / (1 - R_B) \cdot 10^6 \cdot P_{çevre}$$

P_iort: Ölçülen ortalama toplam fosfor (ortofosfat ölçümünden): 0,024 mg/l= 24 mg/m³

Buna göre: ; $LB = \Delta [P] \cdot \bar{Z} \cdot \rho \cdot A / (1 - R_B) \cdot 10^6 \cdot P_{çevre}$

I. Kabul edilebilir fosfor konsantrasyonu 60 mg/m³ kabul edilerek ETK:

FCR 1. 0 için kapasite 25162 ton alabalık/yıl

FCR 1. 5 için kapasite 14500 ton alabalık/yıl

FCR 2. için kapasite 10185 ton alabalık/yıl

II. Kabul edilebilir fosfor konsantrasyonu 30 mg/m³ kabul edilerek ETK

FCR 1.0 için kapasite 4194 ton alabalık/yıl

FCR 1.5 için kapasite 2417 ton alabalık/yıl

FCR 2. için kapasite 1697 ton alabalık/yıl olarak tahmin edilmiştir.

Ülkemizde hızlı artan alabalık üretimine bağlı olarak diğer ülkelere göre kaldırma kapasitesi araştırmaları

daha üst düzeyde gerçekleşmiştir. Çalışmaların tamamına yakını Dillon and Rigler (1974) tarafından geliştirilen fosfor yüklenmesi modelini kullanmışlardır. Bu model ilk önce Kesikköprü Baraj Gölü (Pulatsü, 2002) ve Uzungöl (Verp vd.,2003)' de uygulanmıştır. Daha sonraki yıllarda baraj göllerindeki ağ kafeslere alabalık yetiştiriciliği uygulamaları çok hızlı gelişmiş ve paralel olarak da söz konusu kaldırma kapasitesi modeli ülkemiz araştırmacılarınca yaygın bir şekilde kullanılmıştır. Türkiye'de model alabalık üretimi için (Büyükçapar & Alp, 2006; Buhan vd.,2010; Polat & Özmen, 2011; Alp, 2015; Ayekin vd.,2018; Küçükyılmaz vd., 2021; Aslantürk & Çetinkaya,2021) kullanılırken; diğer ülkelerde tilapya üretimi (Mhlanga et al.,2013; David et al.,2015; Abd Hamid et al.,2022; Akpojotor, 2015) değerlendirmelerine konu olmuştur (Tablo 4).

Tablo 4. Ekolojik kaldırma kapasitesinde fosfor yüklenme modeli kullanan araştırmalar
Table 4. Studies using phosphorus loading model in ecological carrying capacity

Su Kaynağın Konumu	Yüzey alanı (km ²)	Ortalama Derinlik (m)	Ortalama TP(mg/m ³)	ETK ton/yıl	Araştırma
Kesikköprü BG Ankara	6,5	15	53,10	3.335*	Pulatsü (2002)
Uzungöl Trabzon	0,13	3	35-83	503-930*	Verep vd.,(2003)
Menzelet BG K.Maraş	42	34	31	6998*	Büyükcıpar & Alp (2006)
Almus BG Tokat	31,30	33	0,29	5536*	Buhan ve vd.,(2010)
Almus BG Tokat	31,30	33	0,30	4023-6998*	Polat & Özmen (2011)
Karkamış BG Gaziantep	28,40	46	0,016	26144*	Alp (2015)
Karakaya BG Malatya	268	36	14,5	43.000*	Ayekin vd.,(2018)
Özlüce BG Elazığ/Bingöl	26,52	42	1,86	21.500*	Küçükylmaz vd.,(2021)
Sücutlü BG Isparta	0,82	8	41	9,67*	Aslantürk & Çetinkaya(2021)
*Kariba Lake Zambiya	5.500	29	10	33.200**	Mhlanga et al.,(2013)
*Ilha Solteira BG Brezilya	1195	17	13,1	155.690**	David et al.,(2015)
*Temengor BG Malezya	152	254	Ötrofik	325.230**	Abd Hamid et al.,(2022)
*Volta Gölü Gana	84,86	26,7	147	4.970**	Akpojotor (2015)

BG:Baraj Gölü, ETK:Ekolojik Taşıma Kapasitesi *Alabalık **Tilapya üretimi için

Son yıllarda modelin adı ekolojik taşıma kapasitesi olarak adlandırılmış ve yaygınlaşan balık yetiştiriciliğinin çevresel etkilerinin önüne geçmek için bir araç olarak kullanılması önerilmiştir (David et al.,2015). Gerçekleştirilen çalışmalarda takip edilen metotlar birbiri ile benzerlik gösterse de bölgesel ve yerel sosyal ve ekolojik farklılıklar, göl suyundaki fosfor miktarları, göl morfolojileri ve dinamikleri göz önüne alındığında kaldırma kapasite ile ilgili yapılan tahminler farklılıklar göstermiştir. Kılıçkaya Baraj Gölü'nde ağ kafeslerde alabalık yetiştiriciliği söz konusu olacağından gölün ekosistemlerinin korunması, akılcı kullanılması ve sürdürülebilir gelişmenin sağlanabilmesi için üretimden kaynaklanacak çevresel etkilerin daha detaylı olarak izlenmesi ve düşük su kalitesine sahip alanlarda dikkat edilmesi gerektiği bildirilmiştir (Dirican,2008). Su ürünleri yetiştiriciliğinin gelişimi kümelenerek yoğunlaşma eğilimindedir ancak çiftlik alanlarının birbirinden uzak olması arzu edilir, çünkü en iyi alanların aşırı yoğun olması tüm alanı çevresel olarak sürdürülemez hale getirebilir (Costa-Pierce, 2002). Tek tek kafes çiftlikleri çok az çevresel etki yaratırken, kümeler halinde çok sayıda çiftliğin kümülatif etkileri önemli olabilir (White et al., 2013; David et al.,2015). Keza Kılıçkaya Baraj Gölünün kuyruk suyu ile beslenen Çamlığöze Baraj Gölü'ndeki alabalık İşletmelerin teorik ve fiili toplam kapasiteleri sırasıyla 4.250 ton/yıl ve 2.500-3.000 ton/yıl'dır (Yüngül vd.,2016). Bu gölü olumsuz etkileyebilecek bir kapasitenin oluşmaması için iki göl için kümülatif taşıma kapasitesi hesaplanmalıdır.

Ülkemiz yerüstü su kalitesi mevzuatına göre özümleme kapasitesi belirlenene kadar, en düşük su kotunda göl yüzey alanının en fazla %3'üne kadar yetiştiricilik faaliyetleri izin verilmektedir (YSKY,2012). Brezilya da ise göl yüzey alanının %1 doluluğu sınır olup, bu durumun ötrofikasyona karşı etkili bir önlem kabul edilmemesi ve her çiftlik için ayrıntılı limnolojik inceleme yapılması gerekliliği vurgulanmıştır (David et al.,2015). Bu husus ülkemiz için baraj göllerinin kaldırma kapasitesinin belirlenmesi için de öncelikli bir konu olmalıdır.

SONUÇ

Fosfor yüklenmesi model çıktılarına göre Kılıçkaya Baraj Gölünde yüzer ağ kafeslerde ötrofikasyona fırsat vermeden üretilebilecek yıllık alabalık miktarı 1697 ton ile 25162 ton olarak tahmin edilmiştir. Gölün güney ve doğu bölgelerinde derinliğinin az olması, alt havzada 5.000 tonu aşkın alabalık üretimin kümülatif etkileri de dikkate alınarak; göller için kabul gören güncel ötrofik seviyenin 30 mg/m³ kabul edilmesi durumunda ortalama değer olarak Kılıçkaya Baraj Gölü'nde 3000 ton alabalık çevreye zarar vermeden yetiştirilebilir. Ancak modellerin hata payları ve aşağı havzanın ötrofik durumları da dikkate alınarak 2000 tondan sonra ötrofikasyon izleme programı gerçekleştirilmelidir. Kılıçkaya Baraj Gölü'nde, göl ekolojik sisteminin korunması, verimli kullanım ve sürdürülebilirliğin sağlanabilmesi için kafeslerde alabalık yetiştiriciliğinin sebep olabileceği çevresel tesirlerin detaylı olarak düzenli bir şekilde gözlemlenmesi büyük önem arz etmektedir. Yaşamakta olduğumuz iklim değişimi döneminde su kaynaklarının artan önemi göz önüne alınarak, ülke genelinde biran önce baraj göllerinin ekolojik taşıma kapasitesi belirlenmeli ve daha sonra üretime geçilmelidir. Hiçbir bilimsel dayanağı olmayan %3'lük yüzeysel kapasite kullanım oranı mevzuattan çıkartılmalıdır.

KAYNAKLAR

- Abd Hamid, M., Md Sah, A.S.R., Idris, I., Mohd Nor, S.A. & Mansor, M. (2022).** Trophic state index and carrying capacity estimation of aquaculture development; the application of total phosphorus budget. *Aquaculture Research*, 1-15.
- Akpojotor, E. (2015).** *Development of Carrying Capacity Estimates for Zonation of Cage Aquaculture in Lake Volta, Ghana.* MSc Thesis, Institute of Aquaculture, University of Stirling, Scotland.
- Alp, A. (2015).** *Karkamış Baraj Gölü'nün kafeslerde alabalık yetiştiriciliği açısından taşıma kapasitesi*

- raporu. KSÜ Ziraat Fakültesi Su Ürünleri Bölümü, 5s, K. Maraş.
- ANA. (2009).** Agência Nacional de Águas . *Nota Técnica.009/2009/GEOUT/SOF-ANA: atualização na metodologia de análise de pedidos de outorga para piscicultura em tanques-rede.*
- Aslantürk, A. & Çetinkaya, O. (2021).** Sücüllü Baraj Gölü'nün Alabalık Yetiştiriciliği İçin Taşıma Kapasitesinin Tahmini. *Acta Aquatica Turcica, 17(2)*, 221-232.
- Aydoğar, Ş.İ. (2004).** *Türkiye'de İlçelerin İl Olma Çalışmaları Suşehri. Acar Matbaacılık A.Ş., İstanbul, 160s.*
- Ayekin, B., Yeşilayer, N. & Buhan, E. (2018).** Karakaya Baraj gölü (Malatya) Ağ Kafes Sistemlerinde Alabalık Yetiştiriciliği İçin Taşıma Kapasitesinin Tahmini, *Gaziosmanpaşa Bilimsel Araştırma Dergisi* , 7 (3), 101-110.
- Ayvaz, M., Tenekecioğlu, E. & Koru, E. (2011).** Determination of trophic status of Afsar (Manisa-Turkey) Dam Lake . *Ecology, 20(81)*, 37-47.
- Beveridge, M.C.M. (1984).** Cage and pen fish farming, carrying capacity models and environmental impact. *FAO Fisheries Technical Paper 255*, Rome, 131p.
- Buhan E., Koçer M.A., Polat F., Doğan H.M., Dirim S. & Neary E.T. (2010).** Almus Baraj Gölü su kalitesinin alabalık yetiştiriciliği açısından değerlendirilmesi ve taşıma kapasitesinin tahmini. *Ziraat Fakültesi Dergisi, 27(1)*, 57-65.
- Büyükçapar, H.M. & Alp, A. (2006).** The carrying capacity and suitability of the Menzelet Reservoir (Kahramanmaraş-Turkey) for trout culture in terms of water quality. *Journal of Applied Sciences, 6(13)*, 2774-2778.
- BRASIL. (2005).** Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. *Diário Oficial da União*, 18 mar. Seção 1, p.58-63.
- Carballeira Braña, CB., Cerbule, K., Senff, P. & Stolz, I.K. (2021).** Towards Environmental Sustainability in Marine Finfish Aquaculture. *Front. Mar. Sci. 8*, 666662.
- Chen, D. & Zheng, A.R. (2005).** Contamination of N, P and organic matters from cage culture and its assessment. *Fujian Journal of Agricultural Sciences, 20*, 57-62.
- Costa-Pierce, B.A. (2002).** Sustainability of cage culture ecosystems for large scaleresettlement from hydropower dams: an Indonesian case study. In: Costa-Pierce, B.A. (Ed.), *Ecological Aquaculture – The Evolution of the Blue Revolution*. Blackwell Science, Oxford, pp. 286–313.
- David, G.S., Carvalho, E.D., Lemos, D., Silveira, A.N., & Dall'Aglio-Sobrinho, M. (2015).** Ecological carrying capacity for intensive tilapia (*Oreochromis niloticus*) cage aquaculture in a large hydroelectrical reservoir in Southeastern Brazil. *Aquacultural Engineering, 66*, 30-40.
- Dillon, P.J. & Rigler, F.H. (1974).** A test of simple nutrient budget model predicting the phosphorus concentrations in lake water. *J. Fish. Res. Board. Can., 31(14)*, 1771-1778.
- Dirican, S. (2008).** Kılıçkaya Dam Lake (Sivas, Turkey) has established the evaluation of water quality. *Harran University, Faculty of Agriculture Journal 12(4)*, 25-31.
- DSİ. (2017).** Erişim tarihi: 05.04.2017). <http://www2.dsi.gov.tr/baraj/detay.cfm?ID=136>
- Elliott, M., Boyes, S.J., Barnard, S. & Borja, A. (2018).** Using best expert judgement to harmonise marine environmental status assessment and maritime spatial planning. *Marine Pollution Bulletin, 133*, 367-377.
- EUMOFA. (2021).** *Portion trout in the EU European Commission, Directorate General for Maritime Affairs and Fisheries, <https://data.europa.eu/doi/10.2771/98441>*
- FAO. (2018).** *The State of World Fisheries and Aquaculture: Meeting the Sustainable Development Goals*. FAO, Rome.
- Hach-Lange. (2007).** *DR 2800 Spectrophotometer, Procedures Manual*, Edition 2.
- Jahan, P., Watanabe, T., Kiron, I. & Satoh, S.H. (2003).** Balancing protein ingredients in carp feeds to limit discharge of phosphorus and nitrogen into water bodies. *Fisheries Science, 69*, 226-233.
- Küçükylmaz, M., Koçer, M.A., Örneki, G.N., Karakaya, G., Uslu, A.A., Arısoy, G., Alpaslan, K., Türkgülü, İ. & Özbey, N. (2021).** Özlüce Baraj Gölü su kalitesinin alabalık yetiştiriciliği açısından değerlendirilmesi ve taşıma kapasitesinin tahmini. *Internal. Journal of Eastern Mediterranean Agricultural Research, 4(1)*, 15-31.
- Leschen, W., Van Veenhuizen, R., Little, D.C. & Bunting, S. (2005).** *Urban aquatic production in four Southeastern Asian cities. Network of Resource Centres for Urban Agriculture and Food Safety (RUAUF)*, ISSN 1571-6244.
- Li, J. & Zhou, X.D. (2009).** Research on water ecological carrying capacity of Yarkant River Basin. *Journal of Xi'an University of Technology, 25(3)*, 249-255.

- McKindsey, C.W., Thetmeyer, H., Landry, T. & Silvert, W. (2006).** Review of recent carrying capacity models for bivalve culture and recommendations for research and management. *Aquaculture*, **261**(2), 451-462.
- McKindsey, C.W. (2013).** Carrying capacity for sustainable bivalve aquaculture. (In: Christou P, Savin R, Costa-Pierce B, Misztal I, Whitelaw B ; eds), *Sustainable Food Production*, pp. 449-466. Springer, New York, NY.
- Mhlanga, L. (2013).** The application of a phosphorus mass balance model for estimating the carrying capacity of Lake Kariba. *Turk J. Vet. Anim. Sci.*, **37**, 316-319.
- Molony, B.W. (2001).** Environmental requirements and tolerances of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) and brown trout (*Salmo trutta*) with special reference to *Western Australia: a review*. *Fish. Res. Rep. West. Aust.*, **130** (28 pp).
- Polat, F. & Özmen, H. (2011).** Almus Baraj Gölü'nde trofik seviyenin belirlenmesi ve gölün fosfor taşıma kapasitesinin araştırılması. *Ekoloji*, **20**(78), 53-59.
- Ross, L.G., Telfer, T.C., Falconer, L., Soto, D., Aguilar-Manjarrez, J., Asmah, R. et al. (2013).** *Carrying capacities and site selection within the ecosystem approach to aquaculture. Site Selection and Carrying Capacities for Inland and Coastal Aquaculture*, pp. 19-46. FAO, Rome, Italy.
- Sala, S., Ciuffo, B. & Nijkamp, P. (2015).** A systemic framework for sustainability assessment. *Ecological Economics*, **119**, 314-325.
- Sayre, N.F. (2008).** The genesis, history, and limits of carrying capacity. *Annals of the Association of American Geographers*, **98**(1), 120-134.
- Sun, G., Sheng, L.X., Feng, J., Lang, Y., & Li, Z.X. (1999).** Relationship between fishery and eutrophication in Chinese lakes. *Journal of Northeast Normal University (Natural Science Edition)*, **3**(1), 74-78.
- Tüfek, M.Ö. & Yalçın, N. (2007).** Rezervuarlarda su ürünleri yetiştiriciliği, *Türk Sucul Yaşam Dergisi*, Yıl 3-5, Sayı 5-8, 704-716.
- TÜİK. (2022).** Türkiye İstatistik Kurumu. Su Ürünleri İstatistikleri Veritabanı. <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Su-Urunleri-2021-45745> [erişim tarihi:28.07.2022]
- Verep, B., Çelikkale, M.S., Düzgüneş, E. & Okumuş, İ. (2003).** Uzungöl'ün genel hidrografisi ve taşıma kapasitesi. *Türk Sucul Yaşam Dergisi*, 148-157.
- Vollenweider, R.A. (1968).** *Scientific Fundamentals of the eutrophication of lakes and flowing waters, with particular refer nitrogen and phosphorus as factors of eutrophication*. OECD, Technical Report (DA5/SU/68.27), 250p.
- Vollenweider, R.A. (1976).** Advances in defining critical loading levels for phosphorus in lake eutrophication. *Mem. Ist. Ital. Idrobiol.*, **33**, 53-83.
- Weitzman, J. & Filgueira, R. (2019).** The evolution and application of carrying capacity in aquaculture: towards a research agenda. *Reviews in Aquaculture*.
- White, P., Phillips, M.J. & Beveridge, M.C.M. (2013).** *Environmental impact, site selection and carrying capacity estimation for small-scale aquaculture in Asia. Site Selection and Carrying Capacities for Inland and Coastal Aquaculture*. 231–251pp., *FAO Fisheries and Aquaculture Proceedings* No. 21. FAO. 282 pp.
- YSKY (Yerüstü Su Kalitesi Yönetmeliği). 2012.** 30/11/2012 tarihli ve 28483 sayılı Resmî Gazete. <https://www.mevzuat.gov.tr/File/GeneratePdf?m evzuatNo=1680> (erişim tarihi: 05.04.2017).
- Yüngül, M., Karaman, Z. & Dörücü, M. (2016).** Çamlıgöze Baraj Gölü'ndeki alabalık işletmelerinin yapısal, biyoteknik ve yetiştiricilik mekanizasyonu yönünden incelenmesi, *Biyoloji Bilimleri Araştırma Dergisi*, **9**(2), 01-09.
- Zhang, P.P., Liu, R.M., Bao, Y.M., Wang, J.W., Yu, W.W. & Shen, Z.Y. (2014).** Uncertainty of SWAT model at different DEM resolutions in a large mountainous watershed. *Water Res.*, **53**, 132-144.
- Zhou, H.D., Jiang, C.L., Zhu, L.Q., Wang, X.W., Hu, X.Q., Cheng, J.Y. & Xie, M.H. (2011).** Impact of pond and fence aquaculture on reservoir environment. *Water Science and Engineering*, **4**, 92-100. 677.