

ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ
SU ÜRÜNLERİ FAKÜLTESİ



BALIKLARDA DAVRANIŞ DEĞİŞİMLERİ VE YÜZME PERFORMANSI

Danışman

Yrd. Doç. Dr. ARZU UÇAR

Hazırlayan

Gülseren KIZILOĞLU

ERZURUM/2017

ÖZET

Yüzme; balıkların sucul ortamda yaşamlarını sürdürebilmeleri, avlanarak beslenmeleri, avcılardan kaçabilmeleri, manevra, denge ve göç faaliyetleri açısından hayati öneme sahiptir. Balıklarda yüzme yüzgeçler, kuyruk ve vücut kaslarının hareketleri yanında ağzını kapayıp, solungaç kapaklarından suyun çıkarılması gibi farklı şekillerde de sağlanır.

Balıklarda bu aktivitenin rakamsal ifadesi, yüzme performansının ölçülmesi ile olmaktadır. Yüzme faaliyeti birçok fizyolojik işlem ve sistemlerden oluştuğu için yüzme performansının hesaplanması da özel oluşturulmuş kontrollü bir ortamda mümkün olmaktadır. Balığın sağlık ve stres durumlarının belirlenmesinde hassas bir indeks olarak kullanılan yüzme performansı; balık türü, büyüklüğü, yaşama ortamı ve tarzı, sıcaklık, tuzluluk gibi su parametreleri, su kirliliği, suyun akıntı hızı, balığın beslenme şekli, enerji durumu gibi birçok faktöre bağlı olarak değişiklik gösterir.

Yüzme performansı üzerine son yıllarda yapılan araştırmaların derlenmesinin amaçlandığı bu çalışmada; yüzme performansının tanımı, ölçülmesi ve bu parametreye etki eden faktörler incelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Yüzme performansı, balık sağlığı, su kirliliği, stres

ABSTRACT

Swimming is very important for fish at sustaining its lives, feeding with preying, and running away from their hunters, maneuvers, and balance in water and migration activities. Fish achieve swimming with their fins, tails and body muscle movements, or closing mouth and discharging water from operculum.

The numeric expression of this activity in fish can be possible with swimming performance. Because the complex of swimming with a lot of physiological process and systems, swimming performance can calculate in specific designed and controlled environments. Using to determine the health and stress conditions of fish, swimming performance, may be affected from fish species, size, living environment and style, water parameters as temperature, salinity, water pollution, flow rate, feeding style energy situation of fish.

It is aimed to collect the reports about swimming performance in the recent years and to describe and calculate the swimming performance and effecting factors.

Keywords: Swimming performance, fish health, water pollution, stress

Giriş

Davranış, fizyolojik ve ekolojik süreç arasında bir bağlantı oluşturduğundan dolayı çevresel kirleticilerin etkilerinin belirlenmesinde kullanılabilir. Bu durum göz önüne alındığında balıklar, davranışlarının kolayca gözlemlenebilmesi ve kontrollü ortamlarda ölçülebilmesi nedeniyle son derece önemli bir indikatör olduğu düşünülmektedir (Scott and Sloman 2004). Balıklarda davranış metotlarının geliştirilmesi akuatik toksikolojide önemli bir araç olarak kullanılmaktadır.

Balıklar akuatik ortamların bioindikatörü olarak görev yapar ve çevresel değişimlere morfolojik, fizyolojik ve davranışsal olarak yanıt verirler. Yüzme, birçok balık türünün beslenme, yaşam alanı seçimi ve çevre tercihleri, sosyal ve üreme davranışları ile göç etme davranışlarını ifade edebilmek için yaşam öyküsünün ayrılmaz bir parçasıdır (Planas et al 2017). Bu nedenle yüzme performansı balık sağlığının ve refahının belirlenmesinde önemli bir parametre olarak düşünülmektedir. Bunun yanı sıra doğal ortamlarda balıkların hayatta kalmasını belirleyen önemli bir karakter olduğu da bilim adamları tarafından rapor edilmiştir (Stobutzki and Bellwood 1994).

Doğal ortamlarda pek çok balık için yüzme predatörlerin saldırılarından kaçmak, yem arama, eş bulma ve daha fazlası için yapılması gereken bir davranıştır. Yüzme hızı ve yüzme zamanı balıkların yüzme kapasitesini değerlendirmek için kullanılan göstergelerdir (Gui et al. 2014). Balıklarda yüzme faaliyeti birçok fizyolojik işlem ve sistemlerden oluştuğu için yüzme performansının tahmini de özel bir çevrede balığın genel sağlık durumunun belirlenmesinde hassas bir indeks olarak kullanılmaktadır (Rajotte and Couture 2002).

Balıklarda yüzme faaliyetleri, sürdürülebilir (200 dakikadan daha fazla), uzatılmış (15 saniye ile 200 dakika arasında) ve atılım yüzme hızı (yüzebildiği en yüksek yüzme hızı) olarak sınıflandırılmaktadır. Sürdürülebilir yüzme hızı balıkların yorulmaksızın 200 dakikadan daha fazla aerobik olarak balıkların göçleri gibi kas yorgunluğu olmadan yapılan yavaş hareketleri, yem arama, seyir amaçlı yüzme gibi aktivitelerde kullandıkları hızdır. Uzatılmış yüzme hızı balığın 14 saniye ile 200 dakika arasında sürdürebildiği hızdır. Bu hız için gerekli olan enerji hem kırmızı kas liflerinden (oksijenli) hem de beyaz kas liflerinden (oksijensiz) sağlanmaktadır (Kieffer 2010). Atılım yüzme hızı ise tüm hareket kaslarının katılımıyla oksijensiz olarak gerçekleşmektedir. Bu hız beyaz kas liflerindeki glikojenler hızlı bir şekilde

tükendiği için 15 saniyeden fazla sürdürülememektedir. Balıklar atılım yüzme hızını genellikle avlarını yakalamak, predatörlerden kaçmak, ani distürbans durumlarında veya güçlü akımlarda manevra yapabilmek için kullandıkları bildirilmektedir (Reidy et al. 2000; Özbilgin ve Başaran 2005; Esenbuğa 2013; Yeğin 2013).

Balıklarda yüzme davranışını gerçekleştirmek için farklı görevlere sahip olan kırmızı ve beyaz kaslar kullanılır. Kırmızı kaslar sadece hücrelerde oksijen varlığında kasılır. Mevcut oksijenin azalması performansın oranını kısıtlar. Balığın yorulmadan devam edebildiği hız olan sürdürülebilir yüzme hızında kırmızı kas fibrilleri aktiftir. Kırmızı kaslar daha çok rutin, yavaş yüzme hareketlerinde kullanılırken, beyaz kaslar ise ani hareket gerektiren kısa mesafeli yüzme işlemlerinde kullanılmaktadır. Beyaz kaslar predatörlerden kaçma ve avını yakalama durumlarında kullanılır. Doğal ortamda kırmızı kaslar mevsimsel göçler ve günlük rutin hareketlerin gerçekleştirilmesi için ve akıntıya karşı balığın pozisyonunu koruması için kullanılır. Üçüncü kas tipi olan pembe kaslar cyprinidleri içeren bazı türlerde bulunmaktadır. Pembe kas fibrinleri beyaz kaslar aktif olmadan önce ve kırmızı kaslardan sonra yüzme sürecine dahil olduğu bildirilmiştir (Wilson and Arlinghaus 2003; Kobayashi et al. 2006).

Yüzme performansı; türe özgü olabilen çeşitli biyolojik ve fizyolojik faktörlere bağlıdır. Vücut şekli, yüzgeç biçimi, kas fonksiyonları balık büyüklüğü ve yüzme modu olarak belirlenmiştir. ayrıca suyun pH'sı, oksijen içeriği, fotoperiyod, tuzluluk, sıcaklık ve kirleticilerin varlığı gibi çeşitli çevresel faktörlerden etkilenebilir (Lee et al 2000). Bu nedenle akuatik ortamda balık türlerinin hayatta kalmasını belirleyen önemli bir faktördür ve balıklar günlük enerjilerinin büyük bir kısmını yüzme aktivitesi için harcamaktadır (Kieffer 2000).

Yüzme Performansının Ölçümü

Balıkların yüzme kabiliyetlerinin ölçülmesinde kritik yüzme hızı (Brett, 1964), sürekli yüzme (Beamish 1978) ve gezme amaçlı yüzme (Drucker 1996) olmak üzere çeşitli metotlar kullanılır. Sürekli yüzmedeki test ölçümlerinde balık sabit su hızına karşı devamlı yüzebilir. Bu ölçümler boyunca balık farklı hızlarda incelendiğinden dolayı oldukça zaman alır ve uygun değildir. Gezinti gibi yer değiştirme hızlarını ölçmek için balık su tüneline bırakılır ve artan hıza karşı yüzer (Webb 1993; Esenbuğa 2013; Yeğin 2013).



Şekil 1. Yüzme performansı sistemi

Kritik yüzme hızı, balıkların yüzme hızının ölçümünde en yüksek sürdürülebilir hızın tahmini değeri olarak kabul edilmektedir. Bu sistem; balığın, hızı kontrol edilebilen su tüneline konularak su hızı kademeli periyotlarla artırılması ve balıkların akıntıya karşı yüzme performansının ölçülmesi esasına dayanmaktadır (Şekil 1).

Kritik yüzme hızının hesaplanmasında balığın yorulduğu zaman ve akıntı hızı kullanılmaktadır. Kritik yüzme hızı aşağıdaki formül ile hesaplanır (Plaut 2001; Özbilgin ve Başaran 2005; Esenbuğa 2013).

$$U_{crit} = U_i + (T_i / T_{ii}) U_{ii}$$

U_{crit} =Kritik yüzme hızı (cm/sn veya bl/sn)

U_i = Belirlenen zaman aralığının tamamında sürdürülebilir hız (cm/sn)

U_{ii} =Balığın yorgun düştüğü hız (cm/sn)

T_i =Balığın yorgun düştüğü hızda yüzebildiği süre (sn)

T_{ii} =Kritik yüzme hızı için belirlenen süre (30 dk)

Yüzme Performansına Etki Eden Faktörler

Vücut şekli, yüzgeç biçimi, kas fonksiyonu, yüzme modu ve balık büyüklüğü balıkların yüzme performansını belirleyen biyolojik ve fiziksel faktörlerdir. Çevresel faktörler ise pH, oksijen, fotoperyot, sıcaklık, tuzluluk ve çeşitli kirleticiler olarak belirlenmiştir (Wolter and Arlinghaus 2003).

Balıkların boyu performans sınırlamaları üzerine en önemli faktörlerden birisidir. Uzatılmış veya sürdürülebilir hızın balığın boyu ile orantılı olduğu farklı araştırmacılar tarafından tartışılmıştır. Atılım veya maksimum hızın uzunluğa bağlı olmadığını kalp ve kan akışı ile ilgili olduğu da ifade edilmektedir. Atılım yüzme hızının kas hücrelerinde depo edilen glikojen gibi materyallerin varlığında meydana geldiği ve glikojen miktarının da balığın büyüklüğü ile doğru orantılı olduğu belirtilmiştir. Balığın boyuna ilaveten ağırlık ve kondüsyon faktörünün de yüzme performansı üzerine etkili olduğu yapılan çalışmalarla ortaya konulmuştur (Beamish 1978; Esenbuğa 2013; Yeğin 2013).

Yüzme hızı üzerine beslenmenin etkisinin araştırıldığı bir çalışmada kültür levreklerinin yeme ihtiyaç duyduğu dönemlerde yüzme hızlarını önemli ölçüde düşürdükleri belirlenmiştir (Andrew et al 2002).

Karbondioksitin balıkların metabolik oranını ve kan parametrelerini etkilediği bilinirken karbondioksitin direk olarak yüzme üzerine etkileri az bilinen bir konudur. Levrek ve salmon balıklarında serbest karbondioksit ve çözünmüş oksijenin yüzme hızına etkilerinin araştırıldığı çalışmada; levrek balıklarında 48 mg/lit CO₂'nin uzatılmış yüzme hızını değiştirmedeği buna karşılık salmonlarda 2–61 mg/lit CO₂'nin yüzme hızını azalttığı rapor edilmiştir (Dalhberg et al 1963).

Balıkların kanındaki tuz konsantrasyonu deniz suyundan daha az olduğu ve bununda solungaçlarda ve diğer vücut yüzeylerinde kaybolduğu bildirilmektedir. Yüzme performansı ve tuzluluk arasındaki ilişki üzerine yapılan çalışmalarda Tuna balığı ve ton balığında tuzluluğun azalmasının yüzme performansını etkilemediği, salmon balıklarında kritik hızın tuzluluk ve sıcaklıkla etkilendiği rapor edilmiştir (Dizon 1977).

Kuluçkahanelerde yetiştirilen, normal ve iskelet deformesi olan yavru levrek balıklarının yüzme performansları incelenmiştir. Omurganın hemal bölgesinde oluşan farklı lordosis eğrilerine sahip balıkların yüzme performansları arasında önemli fark bulunmuştur. Bu fark, kuluçkahanelerde sağlam balıklardan iskelet deformeli balıkların ayrılmasında kullanılma potansiyeline sahiptir (Başaran vd 2007).

Kahverengi alabalıklarda yüzme performansı üzerine büyüklüğün ve morfolojinin etkisi çalışılmış hem yüzme hızının hem de durgunluk zamanının balık boyu ve morfolojisi ile pozitif bir ilişkisi olduğu belirlenmiştir (Ojanguren and Brana 2003).

Gökkuşığı alabalığında anestezi olarak karanfil yağı kullanılmış ve yüzme performansı üzerine etkileri incelenmiştir. Karanfil yağının her yaşta balık için MS 222 kadar etkili olduğu ve uygulamalar sonucunda ergin ve juvenil gökkuşığı alabalığında kritik yüzme hızına zararlı olmadığı tespit edilmiştir (Anderson et al 1997).

Spesifik büyüme oranı ve yüzme performansı arasındaki ilişkinin incelendiği Golyan balığında kritik yüzme hızı belirlendikten sonra büyüme oranı tespit edilmiştir. Kritik yüzme hızındaki değişiklikler ile spesifik büyüme ve kritik yüzme hızı arasında önemli bir negatif korelasyon bulunmuştur (Kolok and Oris 1995).

Gökkuşığı alabalığında mevsimsel sıcaklık değişimlerinin yüzme performansı ve metabolik durumları üzerine etkileri incelenmiştir. Yükselen sıcaklığın kritik yüzme hızında gökkuşığı alabalığının performansını artırdığını belirlemek için birbirini takip eden iki test yapılmıştır. İlk yapılan test sonucunda kritik yüzme hızıyla sıcaklığın pozitif yönde ilgili olduğu görülmüştür. Ancak kritik yüzme hızıyla performans arasındaki ilişkinin adaptasyon yapılan sıcaklığa bağlı olmadığı, sıcak ortama alıştıran balığın soğuk ortama alıştıran balıktan daha zor yüzdüğü ve daha az oksijen tükettiği rapor edilmiştir (jain and Farrel 2003).

Gökkuşığı alabalığında yüzme performansı üzerine pH' nın etkileri araştırılmıştır. Sudaki 6 ve 9 arasında değişen pH' nın maksimum yüzme hızına etkisi olmadığı ancak sudaki 4, 5 ve 10 arasındaki pH' nın kritik yüzme hızına etkili olduğu belirlenmiştir. Aside maruz kalma sonucunda kanda ve kırmızı kan hücrelerinde azalma olmasına karşın alkaline maruz kalma sonucunda bu parametrelerde artış görülmüştür (Xuemin and Randall 1990).

Gökkuşığı alabalığının maksimum kalp performansı, aktif metabolik oran ve kritik yüzme hızı ile ilişkili olarak değerlendirilmiştir. 600 adet juvenil gökkuşığı alabalığı iyi ve kötü yüzücüleri belirlemek için gözlenmiştir. 120 balık seçilerek 9 aylık bir periyotta benzer oranlarda ve ağırlıklarda büyütölmek üzere tanklara alınmıştır. Kritik yüzme hızı bireysel olarak ölçölmüş ve iyi yüzen grubun diğferinden önemli derecede daha yüksek performans sergilediğı gözlenmiştir (Claireaux et al 2005).

Sabit ve kritik yüzme hızı testleri kullanılarak gökkuşığı alabalığının yüzme performansı karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar balık sağlığına etki eden toksikolojik faktörleri belirleyen yüzme performansı testlerini ve tasarımlarını karşılaştırmada kullanılmıştır (Farell 2008).

Kirleticiler balığın yüzme kabiliyetini azaltarak mekanizmasının farklılaşmasına neden olmaktadır. Farklı maddelere akut maruz kalma sonucunda solungaçlar zarar gördüğünden dolayı solunum değişimi engellenmekte ve oksijen alımı ve dolayısıyla kritik yüzme hızı azalmaktadır. Kronik maruz kalma durumunda detoksifikasyon ve zararların giderilmesinde daha fazla metabolik aktiviteye ihtiyaç duyulmaktadır. Kronik maruz kalma sonucunda sinir fonksiyonlarında değişimler ortaya çıkabilmektedir. Kirleticilere maruz kalan balığın karbonhidrat depoları azalacağından maksimum yüzme hızında da önemli bir şekilde azalma görölmektedir. Sinir sistemini etkileyen maddeler sadece doğal aktiviteyi değil kritik yüzme hızı da dahil bütün vücudun enerji metabolizmasını da etkilemektedir (Heat 1995).

Ağır metal tuzlarına maruz kalan balıklarda solunum stresi sonucunda rutin yüzme davranışının yavaşladığı ve bu nedenle mevcut oksijeninde az kullanıldığı bildirilmiştir (Wilson et al 1994).

Metallere maruz kalan balıklarda da kritik yüzme hızı testleri ile ölçüm yapılarak fiziksel sağlık kriterleri belirlenmiştir. Metal kontaminasyonunun olduğu göllerdeki sarı levrek balıklarının genel sağlık durumu, yüzme performansı ve doku metabolitesi incelenmesi sonucunda fazla miktarda kadmiyum ve bakır konsantrasyonuna maruz kalan balığın karaciğerinde bu metallerin daha yüksek olduğu tespit edilmiştir (Rajotte and Couture 2002).

Balıklar, ağır metal etkisine genellikle metabolik ve fizyolojik olayların yanı sıra davranışlarını değiştirerek tepki gösterirler. Bakıra maruz bırakılan *Channa punctatus*, *Labeo*

rohita ve *Oreochromis niloticus*'da yüzme performansında düşme, besin almama ve operkulum hareketlerinde artış gibi davranış değişiklikleri gözlenmiştir (Ansari 1984; Venkataramana and Radhakrishnaiah 2001; Ali et al 2003).

Yapılan çalışmada 5- 15°C sıcaklık ve 7 pH da adapte edilerek bakıra maruz bırakılan bireylerde kritik yüzme hızı ölçülmüş ve kontrol grubundan daha düşük seviyede yüzme hızına sahip oldukları belirlenmiştir. Asidik sularda bakıra maruz kalan grupların yüzme performansında önemli derecede azalma gözlenmiştir (Beaumont et al1995).

Gökkuşağı alabalığında ve sazangillerde yüzme performansı ve solunum üzerine bakırın subletal dozlarının etkisi araştırılmıştır. Elde edilen sonuçlarda kritik yüzme hızının ve oksijen tüketiminin gökkuşağı alabalığı ve sazangillerde 48 saat içinde azaldığı gözlenmiştir (Boeck et al 2006).

Pyrethroid pestisitinin subletal konsantrasyonlarına maruz kalan gökkuşağı alabalığının oksijen tüketimi ve yüzme performansı Brett tipi solunum cihazı ile değerlendirilmiştir. Oksijen tüketim oranı pestisite maruz kalmadan önce her bir yüzme hızında daha yüksek olmasına rağmen pestisite maruz kaldıktan sonra önemli derecede azalma görülmüştür. Deltametrin ile muamelelerin önce ve sonrasında yüzme performansının karşılaştırılması sonucunda gökkuşağı alabalığının hareket kabiliyetinin önemli derecede etkilendiği görülmüştür (Hughes and Biro 1993).

Bakır, pH ve sertliğin gökkuşağı alabalığının kritik yüzme hızına etkileri araştırılmış ve yüzme performansına bakırın etkisi kirleticiye 5 gün maruz kaldıktan sonra gerçekleşmiştir. Bakır, yüksek pH ve sertlik koşullarında kritik yüzme hızını daha fazla etkilemiştir. Bakırın olduğu durumlarda maksimum oksijen tüketimi azalmış buna karşılık enerji tüketimi artmıştır (Waiwood and Beasmish 1978).

Bakır sülfat pentahidrat'ın iki farklı dozuna maruz bırakılan gökkuşağı alabalığının kritik yüzme hızı incelenmiştir ve etkisi önemli bulunmuştur ($P<0,05$). Söz konusu parametre ile ilgili ortalama değerler kontrol grubu (K) için $3,550\pm1,62$ bl/sn; $0,175$ mg/lt uygulama yapılan grup (D1) $3,746\pm2,03$ bl/sn ve $0,350$ mg/lt uygulama yapılan grup (D2) için $5,060\pm0,34$ bl/sn olarak tespit edilmiştir (Yeğin 2013).

Deterjanların 5, 6 ve 18 ppm'lik konsantrasyonuna 3 ay boyunca maruz kalan *Lepomis gilbosus* balıklarında solungaçlar zarar görmesine rağmen yüzme hızında ve aktif oksijen tüketimlerinde etkilenme gözlenmemiştir (Cairns and Scheier 1962).

SDS maddesinin iki farklı dozuna maruz bırakılan gökkuşığı yüzme performansı olarak kritik yüzme hızı incelenmiştir. SDS'nin kritik yüzme hızı üzerine etkisi önemli bulunmuştur ($P<0,05$). Söz konusu parametre ile ilgili değerler kontrol grubunda $120,600\pm5,2096$ cm/sn veya $4,9280\pm0,4970$ bl/sn; 1,5 mg/lt uygulama yapılan grupta $67,672\pm16,4057$ cm/sn veya $2,4340\pm0,8070$ bl/sn; 2,25 mg/lt uygulama yapılan grupta ise $30,390\pm14,4625$ cm/sn veya $1,090\pm0,4708$ bl/sn olarak tespit edilmiştir (Esenbuğa 2013).

Solunum zehirlenmeleri balıklarda metabolizma düzeyinden ziyade hücresel seviyede ortaya çıkmaktadır. Siyanitin enzim sitokrom oksidatifini bozduğu ve bu nedenle hücrenin son elektron alıcısı olarak oksijenden faydalanamadığı belirtilmektedir. Kahverengi alabalığın siyanitin 0.05 ppm dozuna bir gün süre ile maruz kalmasının kritik yüzme hızını %5 oranında azalttığı bildirilmiştir (Heat 1995).

SONUÇ

Sonuç olarak davranış ve yüzme performansı balıkların hayatta kalmasını, üremesini ve balıkların fonksiyonel bütünlüğünü ve ekolojik ortamla olan ilgilerinin yansıttığı için sağlık indeksi ve stres indikatörü olarak kullanılmaktadır. Davranış değişimleri toksik ortamlarda balıkların etkilenme derecelerinin belirlenmesinde fayda sağlamaktadır. Buna bağlı olarak yüzme performansı ve kritik yüzme hızının ölçümleri stres indikatörlerine karşı balıkların vermiş olduğu tepkinin ölçülmesinde ilk ve önemli bir marker olarak kullanılmaktadır.

KAYNAKLAR

- Ali A, Al-Ogaily SM, Al-Asghar NA and Gropp J, 2003. Effect of sublethal concentrations of copper on the growth performance of *Oreochromis niloticus*. J.Appl. Ichthyol., 19: 183-188.
- Anderson WG, McKinley RS, Colavecchia M, 1997. The use of clove oil as an anesthetic for rainbow trout and its effects on swimming performance. North American Journal of Fisheries Management. 17(2):301-307.
- Andrew J, Noble E, Kadri CS, Jewell H, Huntingford FA, 2002. The effect of demand feeding on swimming speed and feeding responses in Atlantic salmon *Salmo salar* gilthead seabream *Sparus aurata* L. and European sea bass *Dicentrarchus labrax* L. in sea cages. Aquaculture Research, 33: 501-507.
- Ansari IA, 1984. Studies on the toxicity of copper sulphate on *Channa punctatus* and *Mystus vittatus*; determination of LC50 values. Actaciencis India, 10: 154-160.
- Başaran F, Lafçı D, Paruğ ŞŞ, Özbilgin Y, Özbilgin H, Özden O, 2007. Levrek yavrularının hemal bölgesinde görülen lordosisin yüzmeye performansına etkisi. XIV. Ulusal Su Ürünleri Sempozyumu, 04- 07 Eylül 2007, Muğla.
- Beamish FWH, 1978. Swimming Capacity. In Fish Physiology, vol. 7 (ed. W. S. Hoar and D. J. Randall), pp. 101-187. New York: Academic Press.
- Beaumont MW, Butler PJ, Taylor EW, 1995. Exposure of brown trout, *Salmo trutta*, to sublethal copper concentrations in soft acidic water and its effect upon sustained swimming performance. Aquatic Toxicology. 33(1): 45-63.
- Boeck G D, Van der Ven K, Hattink J, Blust R, 2006. Swimming performance and energy metabolism of rainbow trout, common carp and gibel carp respond differently to sublethal copper exposure. Aquatic Toxicology. 80(1): 92-100.
- Brett JR, 1964. The respiratory metabolism and swimming performance of young sockeye salmon. J.Fish. Res. Bd. Can. 21: 1183-1226.
- Cairns J and Scheier A, 1962. The acute and chronic effects of standard sodium alkylbenzene sulphonate upon the pumpkinseed sunfish, *Lepomis gibbosus* and the bluegill sunfish, *Lepomis macrochirus*. Raf., Proc. 17 th. Ind. Waste Conf. Purdue Univ., Eng. Ext. Ser., 112,14.
- Claireaux G, McKenzie DJ, Genge AG, Chatelier A, Aubin J and Farrell AP, 2005. Linking swimming performance, cardiac pumping ability and cardiac anatomy in rainbow trout. The Journal of Experimental Biology. 208:1775-1784
- Dahlberg ML, Shumway DL and Doudoroff P, 1963. Influence of dissolved oxygen concentration on the swimming performance of largemouth bass and coho salmon. J. Fish. Res. Board Can., 25:49-70.
- Dizon AE, 1977. Effect of dissolved oxygen concentration and salinity on swimming speed of two species tunas. Fish. Bull., 75: 649-653.
- Drucker EG, 1996. The use of gait transition speed in comparative studies of fish locomotion. Am. Zool., 36: 555-566.
- Farrell 2008. Comparisons of swimming performance in rainbow trout using constant acceleration and critical swimming speed tests. Journal of Fish Biology, 72(3): 693-710(18).
- Gui F, Wang P, Wu C, 2014. Evaluation approaches of fish swimming performance. Agriculture science, 5(2):106-113. <http://dx.doi.org/10.4236/as.2014.52014>.
- Hammer C, 1995. Fatigue and exercise tests with fish. Comp. Biochem. Physiol. A 112:1-20.
- Heat A.G, 1995. Water Pollution and Fish Physiology. 2. ed., CRC Press Inc., Florida.
- Hughes G.M, Biro P, 1993. Swimming performance of rainbow trout following exposure and recovery from the pyrethroid S-deltamethrin. Acta. Biol. Hung. 44(2-3):231-41.
- Jones R.D, 1971. The effect of hypoxia and anemia on the swimming performance of rainbow trout (*Salmo gairdneri*). J. Exp. Biol. 55: 541-551.

- Jain K, E. and Farrell A. P. 2003. Influence of seasonal temperature on the repeat swimming performance of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). The Journal of Experimental Biology. 206: 3569–3579
- Kobayashi A, Tanaka H, Hamada Y, Ishizaki S, Nagashima Y, Shiomi K, 2006. Comparison of allergenicity and allergens between fish white and dark muscles. Allergy, 61: 357-363.
- Kolok AS and Oris JT, 1995. The relationship between specific growth rate and swimming performance in male fathead minnows (*Pimephales promelas*). Canadian Journal of Zoology/Revue Canadien de Zoologie. 73(11): 2165–2167.
- Ojanguren AF, Brana F, 2003. Effects of size and morphology on swimming performance in juvenile brown trout (*Salmo trutta* L.). Ecology of Freshwater Fish. 12(4): 241 – 246.
- Özbilgin Y ve Başaran F, 2005. Su sıcaklığı ve balık boyunun Ispazoz'un (*Diplodus annularis* L., 1758) yüzme performansı üzerine etkileri. E. Ü. Su Ürünleri Dergisi. 22(3–4): 407–411.
- Plaut I, 2001. Critical swimming speed: its ecological relevance. Comp. Biochem. Physiol. 131(A): 41–50.
- Reidy SP, Kerr SR, Nelson JA, 2000. Aerobic and anaerobic swimming performance of individual Atlantic Cod. J. Exp. Biol. 203: 347–357.
- Rajotte JW and Couture P, 2002. Effects of environmental metal contamination on the condition, swimming performance, and tissue metabolic capacities of wild yellow perch (*Perca flavescens*). Canadian Journal of Fisheries & Aquatic Sciences, 59 (8): 1296.
- Schereer JF, Resch DM and Gately ML, 2005. Swimming performance of brook trout after simulated catch-and-release angling: Looking for air exposure thresholds. North American Journal of Fisheries Management 25:1513–1517.
- Scott SR, Sloman KA, 2004. The effects of environmental pollutants on complex fish behaviour: integrating behavioural and physiological indicators of toxicity. Aquatic Toxicology 68:369–392.
- Videler JJ, 1993. Fish Swimming. Chapman and Hall. London. 260.
- Venkataramana P and Radhakrishnaiah K, 2001. Copper influenced changes in lactate dehydrogenase and G-6-PDH activities of freshwater teleost, *Labeo rohita*. Arch. Environ. Contam. Toxicol., 67: 247-263.
- Waiwood KG, Beamish FWH, 1978. Effects of copper, pH and hardness on the critical swimming performance of Rainbow Trout (*Salmo gairdneri*) Richardson. Water Research, 12: 611–619.
- Webb PW, 1993. Swimming. In: Evans, D.H. Ed. The Physiology of Fishes. CRC Press, Boca Raton, pp. 47–73.
- Wilson RW and Egginton S, 1994. Assessment of maximum sustainable swimming performance in Rainbow Trout (*Oncorhynchus mykiss*). The Journal of Experimental Biology. 192(1): 299–305.
- Wolter C and Arlinghaus R, 2003. Navigation impacts on freshwater fish assemblages: the ecological relevance of swimming performance Reviews in Fish Biology and Fisheries. 13: 63–89.
- Xuemin Y and Randall DJ, 1990. The effect of water pH on swimming performance in rainbow trout (*Salmo gairdneri*, Richardson). Fish Physiology and Biochemistry. 9(1): 15–21.
- Stobutzki, I.C. and Bellwood, D.R. (1994) An analysis of the sustained swimming abilities of pre-settlement and post-settlement coral reef fishes. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology, 175, 275-286.

McKenzie, D.J., Claireaux, G.E. and Taylor, W. (2007) Factors influencing critical swimming speed performance in fishes. *Comparative Biochemistry and Physiology, Part A1: Molecular & Integrative Physiology*, **148**, S42.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.cbpa.2007.06.426>