

**Sazlık Tipi Balık Geçidinde Balık Davranışı ve Hidrodinamik
Karakteristiklerinin İncelenmesi: İyidere (Trabzon-Rize)
Saha Çalışması**

Program Kodu: 1001

Proje No: 315M019

Proje Yürütücüsü:
Prof. Dr. Serhat KÜÇÜKALİ

MAYIS 2018
ANKARA

ÖNSÖZ

Hidroelektrik santraller ve hidrolik yapılar yukarı ve aşağı yönlü göç eden balıkların geçişlerini bloke edebilir ya da gecikmeye sebep olabilirler. Bu durum balık popülasyonlarında azalmasına neden olur. Avrupa Birliği Su Çerçeve Direktifinin 2002 yılında yürürlüğe girmesiyle, birçok AB üyesi için akarsularda ekolojik koşullarının iyileştirilmesi ve balık geçiş yapılarının proje bölgesinde göç eden tüm balık türlerini dikkate alacak şekilde etkin ve fonksiyonel şekilde çalışması öncelikli alanlardan biri olmuştur. İlk defa bu çalışmada, sazlık tipi balık geçidinin prototip ölçeğinde akım ve göç hareketleri arasındaki ilişki incelenmiştir. Euler yaklaşımı, akım ve türbülans miktarlarının (türbülans kinetik enerjisi, Reynolds kayma gerilmeleri, güç hızı, Froude sayısı) dağılımlarını belirlemek; Lagrange yaklaşımı ise sazlık balık geçitindeki farklı balık türlerinin hareketlerini ve göç yollarını belirlemek için kullanılmıştır. Önerilen balık geçiş yapısının diğer klasik balık geçidi tiplerinden en önemli farklılığı ise değişik boylarda ve türlerdeki balıklara nehir rejiminde ve üniform akım koşulları altında göç koridorları sağlamasıdır. Projenin sonucunda, özellikle ülkemizde de önemli uygulama alanlarının olacağını düşündüğüm yenilikçi bir balık geçiş yapısı olan sazlık tipi balık geçişiyle ilgili hem hidrodinamik hem de balık davranışları konusunda önemli bilgiler üretilmiştir. Proje alanındaki hedef balık türü yumurtlama göçü yapan nesli koruma altında olan *Salmo coruhensis*'tir. Bu balık türünün yüksek verimlilikte balık geçidinden yukarı gönde geçtiği bulunmuştur.

Bu proje TÜBİTAK 1001- Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Projelerini Destekleme Programı 315M019 Proje Numarasıyla desteklenmiştir. Sazlık tipi balık geçidini geliştiren ve bu konuda benimle bütün bilgi ve tecrübelerini paylaşan Almanya Kassel Üniversitesin'den Dr.-Ing. Reinhard Hassinger'e şükranlarımı sunarım. Böyle bir proje ancak disiplinler arası bir proje ekibiyle hayata geçirilebilirdi. Projenin her aşamasında çalışmaya çok önemli katkılar sunan ve bilgi ve deneyimlerini benimle paylaşan çok değerli proje ekibi üyeleri Prof. Dr. Bülent Verep, Prof. Dr. Ahmet Alp, ve Prof. Dr. Davut Turan'a teşekkürlerimi sunarım. Proje bursiyerleri Tanju Mutlu ve Cüneyt Kaya gerçekleştirilen saha çalışmalarında, Dursun Özelçi elde edilen akım ve türbülans verilerinin analizinde, Yasin Yıldırım elde edilen akım görüntülerinin sayısallaştırılmasında önemli katkılar sunmuşlardır. Ayrıca, Sazlık tipi balık geçidinin inşaatı ve ölçüm sisteminin kurulumundaki katkılarından dolayı Efor Test'den Orhan Kutu ve Rahmi Mermer'e teşekkürlerimi sunarım. Son olarak İncirli HES işletme müdürü Haşim Bedir'e çalışmanın her aşamasında verdiği destekten dolayı teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

| | <u>Sayfa</u> |
|--|--------------|
| ÖNSÖZ | ii |
| İÇİNDEKİLER | iii |
| TABLO LİSTESİ | iv |
| ŞEKİL LİSTESİ..... | v |
| SEMBOL LİSTESİ VE KISALTMALAR | vii |
| ÖZET | viii |
| ABSTRACT | ix |
| | |
| BÖLÜM 1 GİRİŞ | 1 |
| 1.1 Çalışmanın Anlam ve Önemi | 1 |
| 1.2 Çalışmanın Amaç ve Kapsamı | 5 |
| | |
| BÖLÜM 2 LİTERATÜR ÖZETİ..... | 7 |
| | |
| BÖLÜM 3 GEREÇ VE YÖNTEM..... | 12 |
| 3.1 Saha Çalışması..... | 12 |
| 3.2 Akım ve Türbülans Ölçümleri | 18 |
| 3.3 Balıkların Yukarı Yönde Göç Hareketlerinin İzlenmesi | 25 |
| | |
| BÖLÜM 4 BULGULAR VE TARTIŞMA..... | 29 |
| 4.1 Akım ve Türbülans Yapısı..... | 29 |
| 4.2 Balıkların Göç Hareketleri ve Balık Geçidi Verimliliği | 54 |
| | |
| BÖLÜM 5 SONUÇ VE ÖNERİLER..... | 63 |
| | |
| KAYNAKLAR | 66 |
| | |
| EKLER | 72 |

TABLO LİSTESİ

| | <u>Sayfa</u> |
|---|---------------------|
| Tablo 1. Farklı balık kuşağı zonları için izin verilebilir maksimum yersel akım hızları ve birim hacimde kırılan enerji miktarı | 4 |
| Tablo 2. İyidere-İkizdere akarsuyu havzasında bulunan hidroelektrik santrallerin özellikleri..... | 15 |
| Tablo 3. İkizdere Nehri için ortalama aylık debi ve su sıcaklığı değerleri | 15 |
| Tablo 4. Çalışma kapsamında etiketlenen bazı balıkların özellikleri..... | 27 |
| Tablo 5. Rezervuardaki farklı su yüzü kotları için balık geçidi içerisinde oluşan hidrolik koşullar..... | 29 |
| Tablo 6. Bir video görüntüsünde örneklenen sazlıkların titreşim frekansları... | 54 |
| Tablo 7. İncirli balık geçidi içerisinde farklı zamanlarda ölçülmüş su kalitesi değerleri..... | 55 |
| Tablo 8. Sazlık tip balık geçidinin türlere göre etkinliği | 56 |
| Tablo 9. Sazlık tip balık geçidinden geçen markalı balıkların geçiş zamanları ve tırmanma süreleri | 58 |
| Tablo 10. Bir sualtı video görüntüsünde örneklenen balıkların kuyruklarını sallama frekansları | 60 |

ŞEKİL LİSTESİ

| | <u>Sayfa</u> |
|---|--------------|
| Şekil 1. Sazlık demetinin yerleştirildiği bir taşıyıcı plakadan oluşan sazlık bloğu..... | 2 |
| Şekli 2. Sazlık bloğunun kanal içine beton temel üzerine sabitlenerek yerleştirilmesi | 3 |
| Şekil 3. Geleneksel balık geçitleri: (a) dikey yarıklı, (b) kaya parçalarından oluşan doğal tip..... | 3 |
| Şekil 4. Yenilikçi bir balık geçişi olan sazlık tipi balık geçişi | 4 |
| Şekil 5. DWA (2014) Standardına göre sazlık blokları için farklı yerleşim tipleri | 6 |
| Şekil 6. a) Sazlık demetlerinin yerleşiminin üstten görünümü ve her bir sazlık elemanında sınır tabakasından ayrılama sonucu oluşan Von Karman Caddesi, ve (b) sazlıkların akım alanı içinde titreşimi..... | 9 |
| Şekli 7. Balıklarda akım alanındaki hidrodinamik değişimleri (hız, çevrinti, türbülans) algılanmasını sağlayan yanal çizgi | 9 |
| Şekil 8. Proje kapsamında saha çalışmasının gerçekleştirilen İyidere Akarsu havzası ve akarsu üzerindeki hidroelektrik enerji üretimi için kurulmuş olan regülatörler..... | 13 |
| Şekil 9. İncirli regülatöründe projeden önce mevcut olan havuzlu-orifisli balık geçidi | 14 |
| Şekli 10. Mevcut balık geçidinin perde duvarları yıkıldıktan sonraki durumu .. | 15 |
| Şekil 11. Sazlık blokların balık geçidi içindeki yerleşim noktalarının belirlenmesi için tabana serilen alüminyum master | 16 |
| Şekli 12. Sazlık blokların montajı için beton tabana kimyasal dübelle çakılan pašalanmaz çelik gijonlar (M12)..... | 16 |
| Şekil 13. Balık geçidinde doğal ortamın oluşturulması için kanal tabanına serilen 20 cm kalınlığında sediment tabakası ($D_s=30-120$ mm)..... | 17 |
| Şekil 14. Sazlık demetlerinin bloklara yerleştirilmesi..... | 17 |
| Şekil 15. Sazlık blokların kanal tabanına monte edilmesi..... | 17 |
| Şekil 16. Sazlık tipi balık geçidinin tamamlanmış hali | 18 |

| | | |
|-----------|--|----|
| Şekli 17. | Sazlık blokları etrafında S şeklinde oluşan akım yapısı..... | 21 |
| Şekil 18. | ADV ile üç boyutlu noktasal hız ölçümlerin yapılması için kanala monte edilen hız ölçüm düzeneği | 22 |
| Şekil 19. | Balık geçidi içerisinde birbirini takip eden ana geometri üzerinde oluşturulan ölçüm ızgarası ve ADV ile yapılan hız ölçüm noktalarının üstten görünümü | 23 |
| Şekil 20. | Balık geçidi girişindeki su seviyesi değişimlerinin balık geçidi batıklık oranı üzerinde yaptığı değişimin şematize edilmesi..... | 25 |
| Şekil 21. | Proje bölgesindeki balık türleri..... | 26 |
| Şekil 22. | Balık geçidi içerisinde sazlık bloğun arkasında hedef tür olan <i>Salmo coruhensis</i> | 28 |
| Şekil 23. | İncirli balık geçidi debi anahtar eğrisi..... | 30 |
| Şekil 24. | İncirli HES rezervuar su yüzü kotu Mayıs (2017) zaman serisi. | 30 |
| Şekil 25. | Darcy-Weisbach sürtünme faktörünün batıklık oranıyla değişimi | 31 |
| Şekil 26. | Birim kütlede kırılan enerji miktarının ϵ_a Reynolds sayısı Re ile değişimi | 32 |
| Şekli 27. | Farklı rezervuar su yüzü kotlarında balık geçidi yapısındaki hidrolik koşullar: (a) batmamış $d/h=0.92$ ($H=102$ m), (b) batmış $d/h=1.08$ ($H=102.05$ m)..... | 33 |
| Şekil 28. | Sazlık bloğunun arkasında (E8 noktası) iki farklı hidrolik batıklık oranı için elde edilmiş düşey hız profilleri | 34 |
| Şekil 29. | DSİ TAKK Hidrolik Model Laboratuvarında 1:3 ölçeğinde inşa edilen Bafa Balık Geçidi fiziksel modeli. $Q_m=12.5$ L/s..... | 35 |
| Şekil 30. | Bafa havuzlu-savaklı balık geçidi enkesiti..... | 35 |
| Şekil 31. | Bafa Balık Geçidi orifis çıkışındaki hız profili..... | 36 |
| Şekil 32. | Sazlık blokları etrafında yatay düzlemde akım alanı, $d/h=0.92$. (a) orta derinlikte, (b) tabanda..... | 38 |
| Şekil 33. | Kassel Üniversitesi hidrolik laboratuvarında kurulan fiziksel modelde diyagonal yerleştirilmiş sazlık blokları etrafında yatay düzlemde akım alan..... | 39 |
| Şekil 34. | Sahada sazlık blokları çevresinde gerçekleştirilmiş olan noktasal hız ölçümleri..... | 39 |
| Şekil 35. | Geçirimsiz beton bloklar etrafındaki akım alanı..... | 40 |
| Şekil 36. | Sazlık blokları etrafında orta derinlikte türbülans kinetik enerjisi, k , dağılımı, $d/h=0.92$ | 42 |
| Şekil 37. | Laboratuvar ölçeğinde konumsal ortalama türbülanslı kinetik enerjinin, sazlık, dikey yarıklı ve doğal tipteki balık geçitleri için birim hacimden kırılan gücün fonksiyonu ile değişimi..... | 43 |

| | | |
|-----------|---|----|
| Şekil 38. | Laboratuvar ölçeğinde konumsal ortalama türbülanslı kinetik enerjinin, sazlık ve doğal tipteki balık geçitleri için taban eğiminin fonksiyonu ile değişimi..... | 43 |
| Şekil 39. | E kesitindeki havuda düşey düzlemde türbülans kinetik enerjisi dağılımı: (a) $d/h=0.92$, (b) $d/h=1.08$ | 44 |
| Şekil 40. | Sazlık blokları etrafında orta derinlikte üç doğrultudaki türbülans şiddetlerinin dağılımı, $d/h=0.92$: (a) Tl_x , (b) Tl_y , (c) Tl_z | 46 |
| Şekil 41. | Kanal tabanında $d/h=0.92$ için Reynolds kayma gerilimleri : (a) τ_{xy} ve (b) τ_{xz} | 47 |
| Şekil 42. | Türbülanslı bir akım ortamında yatay (M_3) ve düşey eksenli (M_4) makro ölçekteki vortekslerin şematize edilmesi..... | 48 |
| Şekil 43. | E düşey kesitinde zamansal ortalama hız vektörlerinin (V_{yz}) gösterilimi. (a) $d/h=0.92$, (b) $d/h=1.08$ | 48 |
| Şekil 44. | Sazlık blokları etrafında Froude sayısı, Fr , dağılımı, $d/h=0.92$ | 50 |
| Şekil 45. | Sazlık blokları etrafında orta derinlikte güç hızının, V_{pm} , dağılımı, $d/h=0.92$ | 51 |
| Şekil 46. | Görüntüde frekansı hesaplanan Tablo 6'nın 1. indeksli örneği kırmızı çember ile belirtilmiştir..... | 52 |
| Şekil 47. | Görüntüde frekansı hesaplanan Tablo 6'nın 2. indeksli sazlık örneği kırmızı renk ile işaretlenmiştir..... | 53 |
| Şekil 48. | Görüntüde frekansı hesaplanan Tablo 6'nın 3. indeksli sazlık örneği kırmızı çember ile işaretlenmiştir..... | 53 |
| Şekil 49. | Görüntüde frekansı hesaplanan Tablo 6'nın 4. indeksli sazlık örneği kırmızı renk ile işaretlenmiştir..... | 54 |
| Şekil 50. | İncirli sazlık tipi balık geçidinde markalanan ve balık geçidinden geçen balıkların boy dağılımları..... | 57 |
| Şekil 51. | Spreewald Berlin'de, Unesco biyoreserv bölgesinde sazlık tipi ve dikey yarıklı balık geçidinden geçen balık sayısının balık boylarına göre dağılımını gösteren histogram..... | 58 |
| Şekil 52. | Sazlık tipi balık geçidi içerisinde balıkların yukarı göç hareketleri: (a) <i>Salmo coruhensis</i> , (b) <i>Alburnus bipunctatus</i> , (c) <i>Ponticola rizeensis</i> ve (d) <i>Barbus tauricus</i> | 61 |
| Şekil 53. | Türbülanslı akım ortamında sazlık blokların arka bölgesinin balıklar için dinlenme ve korunma alanı olarak kullanıldığını gösteren video görüntüsü..... | 62 |
| Şekil 54. | Sürü etkisi ile balıkların öndeki balığı takip etmesi..... | 63 |

SEMBOL LİSTESİ ve KISALTMALAR

| | |
|---------------|---|
| A_w | szalık elemanların plandaki izdüşümünde akım alanı içindeki yoğunluğu (m^2/m^2) |
| a_x | szalık bloklarının akım doğrultusundaki eksenleri arası mesafe (m) |
| a_y | szalık bloklarının yanal doğrultusundaki eksenleri arası mesafe (m) |
| B | kanal genişliği (m) |
| D_b | szalıkların çapı (m) |
| d | akım derinliği (m) |
| d/h | batıklık oranı |
| f | Darcy-Weisbach direnç faktörü |
| g | yerçekimi ivmesi (m^2/s) |
| h | szalık yüksekliği (m) |
| Fr | Froude sayısı |
| k | birim kütledeki türbülans kinetik enerjisi (m^2/s^2) |
| L | szalık blokları arasındaki boyuna mesafe (m) |
| Q | debi (m^3/s) |
| q | birim genişlikten geçen debi (m^2/s) |
| Re | Reynolds sayısı |
| R_h | hidrolik yarıçap (m) |
| St | Strouhal sayısı |
| S_o | kanal taban eğimi |
| TI | türbülans şiddeti |
| TKE | türbülans kinetik enerjisi |
| U | akım doğrultusundaki zamansal ortalama hız |
| V | kesitsel-ortalama akım hızı (m/s) |
| x | akım doğrultusundaki mesafe |
| u | akım doğrultusundaki hız (m/s) |
| v | yanal doğrultudaki hız (m/s) |
| w | düşey doğrultudaki hız (m/s) |
| z | düşey mesafe |
| τ_{xy} | yanal yöndeki Reynolds kayma gerilmesi (Pa) |
| τ_{xz} | düşey yöndeki Reynolds kayma gerilmesi (Pa) |
| ΔP | birim hacimde kırılan enerji miktarı (W/m^3) |
| ε | <i>birim kütlede kırılan enerji miktarı</i> (m^2/s^3) |
| γ | suyun özgül ağırlığı (N/m^3) |
| ν | suyun kinematik viskozitesi (m^2/s) |

ÖZET

Bu çalışmada Doğu Karadeniz'de, İyidere nehri havzasında yer alan İncirli Küçük Hidroelektrik Santrali regülatöründe, sazlık tipi balık geçidinin balık davranışı ve türbülans yapısı eşzamanlı olarak izlenmiş ve incelenmiştir. Balık geçidinin akım ve türbülans yapısı, yıl boyunca değişken rezervuar su seviyeleri altında, üç boyutlu lokal hızların Mikro akustik Doppler hızölçer cihazıyla ölçülmesiyle ortaya çıkarılmıştır. Bu hız ölçümlerinden, güç hızının, Froude sayısı, Reynolds kayma gerilmeleri ve türbülanslı kinetik enerji (TKE) dağılımları elde edilmiştir. Bu hidrodinamik parametreler ile ölçülen balıkların yukarı göç hareketleri arasındaki ilişkiler incelenmiştir. Konumsal ortalama yanal Reynolds kayma gerilmesi, düşey Reynolds kayma gerilmesinden 2.2 kat daha yüksek hesaplanmıştır ve bunun sazlık bloklarının yakınındaki yatay hız gradyanından kaynaklandığı ortaya konmuştur. Sazlık blokları arkasındaki düşük akım ve türbülanslı bölgelerin balıklar için önemli dinlenme alanları oluşturdukları ve akım ortamında oluşan düşey eksenli makro ölçekteki çevrilerin balıkların yukarı yöndeki göç hareketleri için yardımcı olabilecekleri ortaya konmuştur. Balıkların yukarı yönde göçleri sırasında TKE'nin yaklaşık 0.1 ile 0.3 m²/s² aralığında bölgeleri tercih ettikleri ve dinlenme bölgeleri olarak en düşük enerji seviyesine sahip alanları kullandıklarını gözlemlenmiştir. Ayrıca, balık geçidinin geçit etkinliği biotelemetri yöntemi kullanılarak değerlendirilmiştir. 5 balık türü için geçiş etkinliği %67 olarak hesaplanmıştır. Proje bölgesindeki balık türleri için geçiş verimlilikleri şöyle bulunmuştur: *Salmo coruhensis* % 82.35, *Alburnoides bipunctatus* %56.25, *Barbus taurucus* %61.54, *Squalius cephalus* % 87.50, *Capoeta banarescui* %100, *Ponticola rizeensis* %50. Ayrıca farklı balık türleri için balık tırmanma süreleri elde edilmiştir. Balıkların tırmanma süreleri 20 dakika ile 2.2 gün arasında değişim göstermiştir. Markalanan balıkların boyları 90-270 mm arasında değişim göstermiştir. Sazlık tipi balık geçidinin diğer klasik tipteki balık geçitlerine göre sağladığı ana avantajlarından bir tanesi küçük boylu balıkların ($L_f < 150$ mm) geçişine olanak sağlamasıdır. Bu çalışmanın sonuçları balık geçidi tasarımcıları ve balık biyologları için yararlı olması beklenmektedir. Ayrıca, bu çalışmanın bulgularının, balıkların akıma ait bilgiyi nasıl kullanıldığı ve akım bilgilerini nasıl işlediğine katkı yapması beklenmektedir.

Anahtar Kelimeler: Balık Geçidi, Sazlık Tipi, Türbülans, Biotelemetri, Balık Davranışı

ABSTRACT

The fish behavior and turbulence structure of the diagonal brush fish pass was monitored and investigated simultaneously at the İncirli Small Hydropower Plant (SHP) which is located in the Eastern Black Sea in Turkey. The turbulence structure was revealed by measuring the three-dimensional instantaneous velocity fields using Micro acoustic Doppler velocimeter in the fish pass under the variable reservoir water levels through the year. From those velocity measurements, the spatial distributions of power velocity, Froude number, Reynolds shear stresses, and turbulent kinetic energy (TKE) were obtained. We found that spatially-averaged horizontal Reynolds shear stress is 2.2 times higher than spatially-averaged vertical Reynolds shear stress which can be due to the horizontal velocity gradient in the vicinity of brush blocks. The correlations between those hydrodynamic parameters and the measured fish trajectories were examined. It has been shown that the reduced velocity and turbulence regions behind the brush blocks constitute important resting sites for fish and the macro-scale vortices with vertical axis formed in the stream environment can help fish in their upstream migrations. We observed that during their migrations fishes tend to prefer regions with TKE in the range from about 0.1 to 0.3 m²/s² and use areas with the lowest energy levels as resting regions. Also, the passage efficiency of the brush fish pass assessed by using biotelemetry method. The passage efficiency of 5 fish species was calculated as 67%. The target fish species in this project areas is *Salmo coruhensis*. For the following fish species in the region we calculated the passage efficiency as follows: *Salmo coruhensis* 82.35%, *Alburnoides bipunctatus* 56.25%, *Barbus taurucus* 61.54%, *Squalius cephalus* 87.50%, *Capoeta banarescui* 100%, and *Ponticola rizeensis* 50%. Moreover, we obtained fish ascending times for different fish species. The body length of the fish varied between in the range of 90-270 mm. The main advantages of brush fish pass appears to be it provides passage for small-bodied fish (L<150 mm). The ascending time of fish varied between 20 minutes to 2.2 days. The results from this study would be useful to fish-pass designers, representative government agencies, and fish biologists. Also, the findings of this study are expected to make contributions to how fish use and process flow information.

Keywords: Fish Pass, Brush-type, Turbulence, Biotelemetry, Fish Behavior