

# BALIK GEÇİTLERİ

Tasarım, Boyutlandırma ve İzleme



***Kapak sayfasındaki fotoğraflar:***

Üst : Tuilières balık asansörü (U. Schwevers, Uygulamalı Ekoloji Enstitüsü, Kirtorf-Wahlen)

Sol : Dattenfeld balık rampası (G. Marmulla, FAO, Balıkçılık Dairesi, Roma)

Alt : İzleme amacıyla yürütülen elektrikle avcılık çalışması(U. Schwevers, Uygulamalı Ekoloji Enstitüsü, Kirtorf-Wahlen)



## Balık geçitleri – Tasarım, boyutlandırma ve izleme

Tercüme:  
Dr. Ömer Murat TÜFEK

Published by arrangement with the  
Food and Agriculture Organization of the United Nations  
and with the permission of the  
German Association for Water, Wastewater and Waste  
by the  
General Directorate of State Hydraulic Works,  
Turkish Ministry of Environment and Forestry  
Ankara, 2009

Bu çalışma ilk olarak,  
Su, Atık Su ve Atık Teşkilatı (DWA) tarafından Almanca olarak, daha sonra  
DWA ile Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Teşkilatı (FAO) tarafından  
*Fish passes: design, dimensions and monitoring*  
başlığı altında İngilizce olarak yayımlanmıştır. Bu çalışmanın Türkçe tercümesi ise,  
Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü (DSİ) tarafından düzenlenmiştir. Tercüme kalitesi, DSİ'nin  
sorumluğundadır. Çelişki olması durumunda, İngilizce baskısı geçerlidir.

Bu kitapta kullanılan gösterimler ve materyal sunumu; herhangi bir ülke,  
bir devletin hükümrânlığı altındaki bölge, şehir veya alanın ya da nüfuzu altındakilerin yasal  
statüsü ile ilgili veya hudutların veya ara sınırların tahdidi ile ilgili olarak Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım  
Teşkilatı tarafından herhangi bir şekilde bir görüş beyanı anlamı taşımaz. Belirli şirketlerin veya  
imalatçıların belirli mamullerinin adının zikredilmesi, patent almış olsun veya olmasın,  
benzer yapıda olan ve adı zikredilmeyen diğer kuruluşlara göre FAO tarafından bu şirket veya  
mamullerin uygun bulunduğu veya tavsiye edildiği anlamı taşımaz.

Bu kitapta ortaya konulan  
görüşler yazarlarına ait olup, hiçbir suretle FAO'nun görüşlerini temsil etmez.

DSİ ISBN: 978-605-393-045-7

© DSİ, 2009 (Türkçe baskı)  
© FAO, 2002 (İngilizce baskı)  
© DVWK (yeni adı DWA), 1996 (Almanca baskı)

## Bu kitabın hazırlanması

FAO ve DVWK'nin (Alman Su Kaynakları ve Arazi İyileştirme Kurulu) bu ortak yayını, DVWK tarafından Almanca olarak ilk kez 1996 yılında yayımlanmış bir kitabın tercümesidir. FAO Balıkçılık Dairesi, özellikle doğala benzer balık geçidi tipleri hakkında bugüne kadar dünya çapında mevcut çalışmalarla kıyaslanamayacak ölçüde çok kıymetli bilgiler içeren bu teknik dokümanın İngilizce baskısını hazırlamaya karar vermiştir.

Bu doküman İngilizce'ye Sayın D. d'Enno (Tercüman, Birleşik Krallık) ve Sayın G. Marmulla (Balıkçılık Kaynakları Görevlisi, FAO, Roma) tarafından çevrilmiştir. Editörlüğünü ise G. Marmulla (FAO Uzmanı) ve Dr. R.Welcomme (FAO Balıkçılık Dairesi eski personeli) yapmıştır.

"Fischaufstiegsanlagen – Bemessung, Gestaltung, Funktionskontrolle" isimli Almanca baskısı, DVWK'nin "Balık yolları" Teknik Komitesi tarafından hazırlanmış olup, teknik ve bilimsel gönüllü bir ortak çalışma sonucunda kamu kullanımına sunulmak üzere DVWK "Su Yönetimi Kılavuz Bilgileri" içerisinde yayımlanmıştır. Almanca baskının masrafları, Federal Almanya Eyaletlerarası Su Çalışma Grubu (LAWA) tarafından karşılanmıştır.

Bu kitapta sunulan tavsiyeler, teknik kılavuz için bir standart oluşturduğundan, normal şartlarda uzmanlık gerektiren işler için önemli bir bilgi kaynağıdır. Bununla birlikte, kısıtlayıcı başka tedbirlerin alınmasını gerektiren özel durumlar bu kitapta ele alınmamıştır. Buradaki kılavuz bilgilerin kullanımı ve bununla ilgili riskler, uygulayan kişinin kendi sorumluluğundadır.

## Teşekkür

Tercümeyi gözden geçiren Dr. Alex Haro (Ekolog, S.O. Conte Anadrom Balık Araştırma Merkezi, Turners Falls, ABD) ve Dipl.-Ing. Ulrich Dumont'a (Floeksmühle Mühendislik Müşavirlik, Aachen, Almanya) çok teşekkür ederiz. Ayrıca Sayın D. Barion (DVWK) ve Sayın W. Schaa'nın (Devlet Su ve Atık Yönetimi Ajansı, Köln Bölgesi, Bonn Şubesi) yanı sıra, Dr. B. Adam ve Dr. U. Schwevers'in (Uygulamalı Ekoloji Enstitüsü, Kirtorf-Wahlen) nazik katkıları için şükranlarımızı sunarız.

En özel teşekkürü, sayfa düzenini profesyonel bir biçimde sabırla hazırlayan Sayın G. Ellis (Roma) hak etmektedir.

DSİ/FAO/DVWK

Balık geçitleri – Tasarım, boyutlandırma ve izleme  
Ankara, DSİ 2009 118p

## Özet

**Anahtar kelimeler:** balık geçidi; balık yolu; balık merdiveni; teknik balık geçitleri; doğala benzer tipler; hidrolik hesaplama; memba göçü; serbest geçiş; nehir rehabilitasyonu; restorasyon; dikey bağlanabilirlik; izleme

Birçok balık türü normal davranışı gereği, hayatlarının belirli dönemlerinde uzun ya da kısa mesafeli göç etmektedir. Bu türlerin en çok bilinenlerine örnek olarak denizden nehirlerdeki yumurtlama alanlarına dönerken binlerce kilometre yol kat eden somon (*Salmo salar*) ve mersin balığı (*Acipenser sturio*) verilebilir. Uzun mesafeli göç eden bu türlerin yanı sıra diğer balıklar ve omurgasızlar da, yaşam döngülerinin belirli aşamalarında nehrin bir bölümünden diğer bölümüne kısa süreli ya da küçük çaplı göçler yapmaktadır.

Su canlılarının nehir kaynağına doğru yolculuğunda önüne çıkan engelleri aşmasını mümkün kılan tek yol balık geçitleri olduğundan, nehirlerdeki balık ve diğer sucul türlerin serbest geçişi için yapılan restorasyon çalışmalarında bu yapıların önemi gittikçe artmaktadır. Dolayısıyla balık geçitleri, akarsuların ekolojik yönden iyileştirilmesi için önemli araçlar hâline gelmiştir. Nehirlerdeki serbest geçişin yeniden temini için bunların etkin bir biçimde çalışması ön şarttır. Bununla birlikte, mevcut yapılarla ilgili çalışmalar bunların birçoğunun gerektiği gibi çalışmadığını göstermiştir. Bu yüzden, mühendis, biyolog ve idareci gibi çeşitli paydaşlar, mevcut en güncel bilgi ve tecrübeyi yansıtan kullanışlı tasarım kriterleri ve talimatlara çok ilgi göstermektedir.

Bu kitapta, öncelikle temel alınan ekolojik bilgilere atıf yapılmakta, ardından meslekler arası karmaşık konuların hassas bir biçimde uygulanabilmesi için bilinmesi gereken genel kurallar verilmektedir. Bu genel değerlendirmeleri, balık geçitlerinin tasarımı ve değerlendirilmesine ilişkin teknik tavsiyeler ile hidrolik boyutların doğru seçilmesi ve işlerliğin denenmesine ilişkin öneriler izlemektedir. Balık yolları, teknik olarak kullanışlı bir biçimde veya doğayı taklit ederek inşa edilebilmektedir. Yan geçit kanalları ve balık rampaları doğal çözümler arasında yer alırken, teknik çözümler, klasik havuzlu tip geçit, yarıklı geçit, balık asansörü, hidrolik balık eklüzü ve yılan balığı merdivenlerini içermektedir. Bu tiplerin tamamına bu kitapta yer verilmiştir. Ayrıca ayrıntılı izleme faaliyetinin önemine özel bir yer ayrılmıştır.

Bu kitabın Almanca ilk baskısının hazırlandığı 1996 yılında mansap göçünün iyileştirilmesine ilişkin bilgiler çok sınırlı olduğundan, bu baskıda sadece memba göçü ele alınmıştır. Mansap göçünün ne denli karmaşık bir konu olduğuna değinilmekle birlikte, ayrıntılı bilgi verilmemiştir.



## DSİ'nin ön sözü

Hızla artan dünya nüfusu, sanayileşme, şehirleşme ve küresel iklim değişikliği gibi güncel sorunlar su kaynakları üzerinde önemli bir baskı oluşturmaktadır. Bu nedenle su kaynaklarının etkin yönetimi hemen hemen her ülkenin öncelikli konuları arasında yer almaktadır. Ülkemiz su kaynakları açısından kendine yeten bir ülke olmasına rağmen kaynakların sınırlı olması, su kaynaklarının daha etkili ve sürdürülebilir bir temelde geliştirilmesi ve yönetilmesini gerekli kılmaktadır.

Ülkemizde su ile ilgili en yetkin kuruluş olan Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü, 1954 yılından bu yana ağırlıklı olarak su kaynaklarının planlanması, yönetimi, geliştirilmesi ve işletilmesi konularında faaliyet göstermektedir. Su ve toprak kaynaklarının geliştirilmesi maksadıyla inşa edilen baraj, gölet, regülatör, bent gibi su yapılarının akarsuların doğal akış düzeni ile sucul organizmaların beslenme ve üreme habitatlarını etkilemesi kaçınılmazdır. Kuruluşumuz bu etkiyi asgariye indirmek maksadıyla gerek tek başına gerekse ilgili kurum, kuruluş ve sivil toplum kuruluşlarıyla işbirliği içerisinde "Su Kaynaklarının Sürdürülebilir Geliştirilmesi" çalışmalarını yürütmektedir.

Özellikle son yıllarda "Su Kullanım Hakkı Anlaşması Yönetmeliği" ile özel sektöre açılan hidroelektrik enerji sektöründe önemli gelişmeler yaşanmış ve özel sektör tarafından 1 550 adet proje için başvuru yapılmıştır. Bu projeler ülkemiz hidroelektrik enerji potansiyelinin değerlendirilmesi açısından büyük öneme sahip olmakla birlikte ağırlıklı olarak dereler üzerinde gerçekleştirilecek olmaları sebebiyle göçmen balık hareketlerinin kısıtlanmasına sebep olabilecektir. Ortaya çıkabilecek bu etkinin önüne geçebilmek ve su canlılarının neslinin sürdürülebilmesine katkıda bulunmak maksadıyla habitatlar arasındaki göçleri kolaylaştıracak "balık geçidi" gibi yapıların inşa edilmesi gerekmektedir.

Balık geçitleri konusunda ülkemizde hâlihazırda yeterli sayıda yayın bulunmamaktadır. Bu bağlamda, FAO'dan alınan izinle orijinali İngilizce olan bu kitabın dilimize tercümesi sağlanarak bu eksikliğin bir nebze giderilmesi hedeflenmiştir. Konu ile ilgili çalışmaların artan bir ivmeyle devam ettirilmesi gerekmektedir.

Balık geçitleri alanında çalışan ilgililere faydalı olacağını ümit ettiğimiz ve önemli bir boşluğu dolduracağına inandığımız bu eserin hazırlanmasında emeği geçenlere teşekkür ederim.

Haydar KOÇAKER  
Devlet Su İşleri  
Genel Müdürü





## FAO'nun ön sözü

Dünyadaki pek çok ülkede iç su ürünleri istihsalı, farklı yönleriyle gıda ve gelir temininin güvence altına alınmasında ve gıda veya rekreasyonel balıkçılık vasıtasıyla geçim sağlamada önemli bir rol oynamaktadır. Birleşmiş Milletler Gıda ve Tarım Teşkilatı (FAO) kaynak kullanımındaki sürdürülebilirlik kavramını yıllardır kararlı bir şekilde teşvik etmiş ve su ürünleri faaliyetlerinin tamamında sürdürülebilir gelişme, ulaşılması istenilen en yüksek hedef olmaya devam etmiştir. Ancak özellikle su ürünleri istihsalinde bu hedefe ulaşmak için sadece balıkçılık yönetiminin iyileştirilmesi yeterli olmamakta, ayrıca doğru bir ekosistem yönetimine de ihtiyaç duyulmaktadır.

Tatlı su kaynakları gün geçtikçe çok kıymetli bir hâle dönüşmekle birlikte, tarım, balıkçılık, hidroelektrik enerji, taşımacılık gibi farklı sektörler arasında bu kaynağın kullanımına yönelik rekabet de artmaktadır. Genel olarak balıkçılık, bu sektörler arasında ekonomik bakımdan en az önemi haizdir. Sucul ekosistemin korunmasına ilişkin sorumluluk çoğunlukla balıkçılığın dışında yer almakta ve pek çok durumda balıkçılığın, dış sektörlerden kaynaklanan sınırlamalar çerçevesinde yönetilmesi gerekmektedir. İçme suyu temini ve hidroelektrik enerji için baraj inşası, taşımacılık ve taşkın kontrolü için kanal açma, toprak drenaj, tarımsal ve kentsel amaçlı sulak alan ıslahı gibi faaliyetlerin, sucul ekosistem ve dolayısıyla doğal balık popülasyonları üzerinde önemli etkileri bulunmaktadır. Baraj ve bentlerin en kötü etkilerinden biri, nehir dikey bağlanabilirliğinin kesilmesidir; bir başka deyişle balıkların artık serbestçe göç edemeyecek olmasıdır. Bu sorun sadece uzun mesafeli göç eden türlerle ilgili değildir; bütün balıkların yaşam döngülerinin belirli evrelerinde nehir boyunca dikey hareket etmesi gerekir.

Balıkçılık Dairesi'nin Çalışma Programı ve arazi çalışmaları, en iyi uygulamalara ilişkin yönetim tavsiyeleri sağlayacak ve Sorumlu Balıkçılık İlkeleri ve ilgili Teknik Kılavuzların uygulanmasına yardımcı olacak şekilde oluşturulmuştur. Bu Daire'nin Ana Programı çerçevesinde İç Su Kaynakları ve Su Ürünleri Yetiştiriciliği Servisi (FIRI), diğer faaliyetlerin yanı sıra, habitat bozunmasının önlenmesi ve iç su balıkçılığı rehabilitasyonu ile ilgili faaliyetler de yürütmekte olup, balık göçü ve etki hafifletme tedbirleri de bu kapsamda ele alınmaktadır. Bu faaliyet başlığı altında FIRI, barajlar ve bentler ile bunların balık ve balıkçılıkla etkileşimi hakkında bilgiler toplar, bunları gözden geçirir, analiz eder ve ilgililerle paylaşır; ayrıca iç suların yönetimine ilişkin uygun bir araç olarak sucul çevrenin rehabilitasyonunu teşvik eder.

Sucul kaynakların sürdürülebilir kılınmasına yönelik çabalarla ilgili olarak FIRI, bütün dünyada önemi her geçen gün artan ilgi çekici konular olması sebebiyle, balık geçişinin iyileştirilmesi ve serbest dikey bağlanabilirliğin yeniden sağlanması hususlarına özel bir önem vermektedir. Orijinali Almanca olarak (Deutscher Verband für Wasserwirtschaft und Kulturbau e.V.), DVWK (Alman Su Kaynakları ve Arazi İyileştirme Kurulu) tarafından yayımlanan "Balık geçitleri – tasarım, boyutlandırma ve izleme" adlı bu kitap, engellenen balık geçişinin yeniden sağlanmasına çok değerli katkı sağlayacaktır. Kitapta, öncelikle temel alınan ekolojik bilgilere atıf yapılmakta, ardından meslekler arası karmaşık konuların hassas bir biçimde uygulanabilmesi için bilinmesi gereken genel kurallar ele alınmakta, balık geçitlerinin tasarımı ve değerlendirilmesine ilişkin teknik tavsiyeler ile hidrolik boyutların doğru seçilmesi ve elverişliliğin değerlendirmesi konularına yer verilmektedir. Temel olarak Avrupa ve Kuzey Amerika'daki bilgi ve tecrübeden yararlanılarak hazırlanan bu eserde, "doğala benzer" çözümlere özel bir yer verilerek çeşitli balık geçidi tipleri anlatılmaktadır. İzleme konusu başarının en önemli unsuru olarak ele alınmıştır.

FAO Balıkçılık Dairesi, bu teknik dokümanda yer alan kıymetli bilgilerin herkes tarafından kullanılabilmesi için İngilizce baskının ortaklaşa yayımlanmasına karar vermiştir. İngilizce kaynaklarda, özellikle doğala benzer balık geçitleri bakımından şu ana kadar kapsamlı başka bir kitap bulunmadığından bu eserin önemi daha da artmaktadır. Bu kılavuzun, engelsiz balık geçişine olan ihtiyacın herkesçe anlaşılmasına ve yerküremizde yitirilen göç yollarının yeniden sağlanmasına yönelik iyi tasarlanmış balık geçitleri sayısının gün geçtikçe artmasına katkı sağlaması ümidiyle...

Jiansan JIA  
Şef, İç Su Kaynakları ve Su Ürünleri  
Yetiştiriciliği Servisi (FIRI)  
Balıkçılık Kaynakları Şubesi  
Balıkçılık Dairesi, FAO



## DVWK'nin İngilizce baskı için ön sözü

Son yıllarda Almanya'daki yüzey sularının kalitesinin kabul edilebilir bir seviye olan ve Alman biyolojik su kalitesi sınıflandırmasına göre "hafiften orta düzeye kadar yüklenmiş" olarak belirtilen duruma getirmek için büyük çabalar gösterilmiştir. İyileşme, büyük ölçüde kentsel ve endüstriyel atık suların artırılması için arıtım tesislerinin inşası ile elde edilmiştir. Günümüzde suların korunmasına ilişkin çalışmalar, nehir yatağı, şevler ve eski taşkın yatağına ait doğal ekosistem işlevlerinin yeniden sağlanmasına doğru yönelmektedir. Bu sebeple, yatak morfolojisindeki değişiklikler mümkün olduğunca eski şekline dönüştürülmeli ve göçmen balıkların aşamadığı engeller ortadan kaldırılmalıdır.

Avrupa'nın üçüncü büyük nehri olan Ren Nehrine kıyısı olan ülkelerin sorumlu bakanları ile Avrupa Komisyonu'nun ilgili Müdürlüğü, 1986 yılında bu akarsuyun restorasyonu için siyasi gündem oluşturmuş, somon ve diğer göçmen balıkların Ren Nehrine ve kollarına yeniden dönüşünü sağlamak amacıyla 2000 yılına kadar gerçekleştirilecek faaliyetler konusunda mutabık kalmıştır. Bu hedefe ulaşmak amacıyla birçok yerde çok sayıda balık geçidi inşasına gerek duyulmuştur; bu ihtiyaç hâlen devam etmektedir. Bununla birlikte, tam işlevsel balık yollarının inşası ve özellikle doğala benzeyen ve doğaya görsel uyum sağlayan çözümler için geçerli tasarım kriterleri mevcut değildi. Bu talebi karşılamak üzere, su ve peyzaj yönetiminde çalışan Alman uzmanların oluşturduğu, kâr amacı gütmeyen profesyonel bir sivil toplum teşkilatı olan Alman Su Kaynakları ve Arazi İyileştirme Kurulu, DVWK (Deutscher Verband für Wasserwirtschaft und Kulturbau e.V.) 1996 yılında bu Kılavuz'u hazırlamış ve yayımlamıştır. Bu arada, Ren Nehrinde ve bazı kollarında somonlar yeniden görünmeye başlamıştır. İşte arzu edilen gelişme!

Biyologlar ve mühendislerden oluşan meslekler arası çalışma grubu, Almanya'da ve diğer ülkelerde bu alanda kullanılan en son teknolojiyi yansıtan araştırma sonuçlarını ve tecrübeleri derlemiştir. Bu Kılavuz'un İngilizce yayımlanması ile DVWK, yüzey akarsuların dikey bağlanabilirliğinin yeniden tesisine ilişkin edinilen tecrübe ve kılavuz bilgileri diğer ülkelerdeki su mühendisleri ve balıkçılık uzmanlarıyla paylaşmayı hedeflemektedir. Bu kitabın, bilginin ulusal sınırları aşarak bütün dünyaya yayılımına katkı sağlamasını umuyor, Avrupa ve dünyanın diğer bölgelerinde suların ileri görüşlü yönetimi için faydalı tavsiyeler sağlamasını diliyoruz.

Bonn, Ekim 2002

Dr. Eiko Lübbe,

DVWK Uluslararası İşbirliği Daimi Komitesi  
Başkanı



## Ön söz<sup>1</sup>

Nehirlerdeki balık ve diğer sucul türlerin serbest geçişinin yeniden tesisi için balık geçitlerinin önemi her geçen gün artmaktadır. Bu tür yapılar, çoğunlukla su canlılarının nehir kaynağına doğru yolculuğunda önüne çıkan engelleri aşmasını mümkün kılan tek yoldur. Bu sebeple balık geçitleri, akarsuların ekolojik yönden iyileştirilmesi için önem kazanmaktadır.

Nehirlerdeki serbest geçişin yeniden tesisi için balık geçitlerinin etkin bir biçimde çalışması ön şarttır. Mevcut yapılarla ilgili çalışmalar bunların birçoğunun gerektiği gibi çalışmadığını göstermiştir. Bu sebeple birçok uzman, mevcut en güncel bilgi ve tecrübeyi yansıtan genel olarak geçerli tasarım kriterleri ve talimatlara çok ilgi göstermektedir.

Alman Su Kaynakları ve Arazi İyileştirmesi Kuruluşu tarafından oluşturulan özel Teknik Komite, biyologlar ve mühendisler arasındaki meslekî işbirliğiyle balık geçitlerinin inşası ve işletmesine ilişkin en yeni teknolojiyi belirlemiştir. Bu çalışmada diğer ülkelerin araştırma sonuçları ve raporları da dikkate alınmıştır.

Bu kitapta, öncelikle temel alınan ekolojik bilgilere atıf yapılmakta, ardından meslekler arası karmaşık konuların hassas bir biçimde uygulanabilmesi için bilinmesi gereken genel kurallar verilmektedir. Bu genel değerlendirmeleri, balık geçitlerinin tasarımı ve değerlendirilmesine ilişkin teknik tavsiyeler ile hidrolik boyutların doğru seçilmesi ve işlerliğin denemesine ilişkin öneriler izlemektedir.

Bu Kılavuz hazırlanırken, özellikle hidroelektrik enerji üretimi amaçlı barajlardaki balık geçitlerinin tasarımı ve tesise dâhil edilmesiyle ilgili bazı sorulara tatmin edici cevaplar bulunamamıştır. Bunun birinci sebebi, balık yollarının işlevselliğine ilişkin güvenilir verilerin az sayıda olması ve geçidin hemen çevresinde balık davranışı ile ilgili ayrıntılı çalışmalara olan ihtiyaçtır. İkincisi ise, mevcut hidrolik hesaplama modelleri uygulanarak doğala benzer yapıların boyutlarının sadece genel olarak belirlenebilmesidir. Bu yüzden, mevcut bilgi açığının giderilmesi için önemli ölçüde araştırma yapılması gerekmektedir. Aynı sebeple, konuyla ilgili pek çok uzmanın da ifade ettiği üzere, balık yönlendirme düzenekleri ve mansap göçü yapılarına ilişkin standartların önerilmesi talebine, ne yazık ki hemen cevap verilememektedir.

Teknik Komite, müşavirlik firmaları, mühendislik büroları, enerji üretim şirketleri, üniversiteler ve özel idarelerin aşağıdaki temsilcilerinden oluşmaktadır:

ADAM, Beate	Dr., Dipl.-Biol., Institut für angewandte Ökologie (Uygulamalı Ekoloji Enstitüsü), Kirtorf-Wahlen
BOSSE, Rainer	Dipl.-Ing., RWE Energie AG, Bereich Regenerative Stromerzeugung (KR) [Ren-Vestfalya Elektrik Kurulu, Yenilenebilir Elektrik Enerjisi Üretimi Başkanlığı (KR)], Essen
DUMONT, Ulrich	Dipl.-Ing., Ingenieurbüro Floecksmühle (Floecksmühle Mühendislik Bürosu), Aachen
GBLER, Rolf-Jürgen	Dr.-Ing., Ingenieurbüro Wasserbau und Umwelt (Su Mühendisliği ve Çevre Mühendisliği Bürosu), Walzbachtal
GEITNER, Verena	Dipl.-Ing., Ingenieurbüro Prein-Geitner (Prein-Geitner Mühendislik Bürosu), Hildesheim
HASS, Harro	Dipl.-Biol., Fischereidirektor, Niedersächsisches Landesamt für Ökologie, Dezernat Binnenfischerei (Aşağı Saksonya Ekoloji Bölge Müdürlüğü, Tatlısu Balıkçılığı Başkanlığı), Hildesheim
KRÜGER, Frank	Dr.-Ing., Landesumweltamt Brandenburg, Referat Gewässergestaltung, Wasserbau und Hochwasserschutz (Brandenburg Bölgesel Çevre Müdürlüğü, Nehir Tasarım, Su Mühendisliği ve Taşkın Koruma Başkanlığı), Frankfurt/Oder
RAPP, Robert	Dr.-Ing., Abteilungsdirektor, Bayerische Wasserkraftwerke AG BAWAG (Bavyera Hidroelektrik Şirketi BAWAG), Münih

<sup>1</sup> Orijinal Almanca baskının ön sözü

- SANZIN, Wolf-Dieter Dr., Dipl.-Biol., Regierungsdirektor, Bayerisches Landesamt für Wasserwirtschaft (Bavyera Su Yönetimi Bölge Müdürlüğü), Münih
- SCHAA, Werner Dipl.-Ing., Regierungsbaudirektor, Staatliches Umweltamt Köln, Außenstelle Bonn (Su ve Atık Yönetimi Kurumu – Köln Bölgesi, Bonn Şubesi), Bonn, (bu Teknik Komite'nin Başkanı)
- SCHWEVERS, Ulrich Dr., Dipl.-Biol., Institut für angewandte Ökologie (Uygulamalı Ekoloji Enstitüsü), Kirtorf-Wahlen
- STEINBERG, Ludwig Dipl.-Biol., Oberregierungsrat, Landesanstalt für Ökologie, Bodenordnung und Forsten/Landesamt für Agrarordnung Nordrhein-Westfalen, Dezernat für Fischerei [Kuzey Ren-Vestfalya Ekoloji, Toprak ve Orman Ajansı/Recklinghausen'daki Kuzey Ren-Vestfalya Tarımsal Kalkınma Bürosu (LÖBF), Fisheries at Kirchhudem-Albaum'daki Balıkçılık Dairesi), Kirchhudem-Albaum (bu Teknik Komite'nin Başkan Yardımcısı).

Teknik Komite üyeleri olarak, Komite çalışmalarına özel katkı ve görüşle destek olan balıkçılık dernekleri, olta avcılığı klüpleri, Alman Balıkçılık İdarecileri ve Balıkçılık Uzmanları Derneği, baraj işleten şirketlerin temsilcilerine, kamu kurum ve kuruluşlarından katılan uzmanlara teşekkürü bir borç bilir, mütalaa aşamasında yapıcı görüşlerini gönderen kişilere de teşekkür ederiz.

Bonn, Kasım 1995

Werner Schaa

## İçindekiler

	sayfa
<b>1 Giriş</b> .....	<b>1</b>
<b>2 Ekolojik prensipler</b> .....	<b>3</b>
2.1 Akarsu ekosistemleri .....	3
2.1.1 Jeoloji ve iklim.....	3
2.1.2 Su hızı.....	3
2.1.3 Kesme gerilmesi ve substrat dağılımı .....	4
2.1.4 Sıcaklık .....	6
2.1.5 Oksijen .....	6
2.2 Nehir sürekliliği.....	7
2.3 Akarsuların biyolojik kuşaklara ayrılması.....	9
2.4 Potansiyel doğal tür bileşimi .....	13
2.5 Su canlılarının göç davranışı .....	15
2.6 Baraj ve bentlerin sucul faunaya zararları .....	18
<b>3 Balık geçitleri ile ilgili genel kurallar</b> .....	<b>21</b>
3.1 En uygun balık geçidi konumu .....	22
3.2 Balık geçidi girişi ve çağırma suyu.....	24
3.3 Balık geçidi çıkışı ve çıkış şartları.....	26
3.4 Balık geçidindeki su debisi ve akıntı şartları .....	27
3.5 Uzunluk, eğim, dinlenme havuzları .....	28
3.6 Taban tasarımı .....	29
3.7 Çalıştırma zamanları .....	29
3.8 Bakım .....	30
3.9 Balıkları rahatsız etmemek ve balık geçidini korumakla ilgili tedbirler .....	30
3.10 Doğaya görsel uyum sağlama .....	30
<b>4 Doğala benzer balık geçidi tipleri</b> .....	<b>31</b>
4.1 Taban rampaları ve meyilli tabanlar .....	31
4.1.1 Prensip .....	31
4.1.2 Tasarım ve boyutlar .....	32
4.1.2.1 Yapım şekli.....	32
4.1.2.2 Üstten görünüş.....	34
4.1.2.3 Boy kesit .....	34
4.1.3 Su düşülerinin yeniden modellenmesi.....	35
4.1.4 Regüle edilebilen bentlerin dağınık veya basamaklı rampalara dönüştürülmesi .....	35
4.1.5 Genel değerlendirme .....	36
4.1.6 Örnekler .....	37
4.2 Yan geçit kanalları.....	41
4.2.1 Prensip .....	41
4.2.2 Tasarım ve boyutlar .....	41
4.2.2.1 Üstten görünüş.....	42
4.2.2.2 Boy kesit .....	42
4.2.2.3 Kanal en kesiti.....	43
4.2.2.4 Büyük kayalar ve kayalık eşikler .....	43
4.2.2.5 Yan geçit kanalında su girişi ve çıkış yerlerinin tasarımı.....	44
4.2.2.6 Geçiş yerleri .....	45
4.2.3 Genel değerlendirme .....	45
4.2.4 Örnekler .....	47
4.3 Balık rampaları.....	50
4.3.1 Prensip .....	50
4.3.2 Tasarım ve boyutlar .....	50
4.3.2.1 Üstten görünüş.....	50



4.3.2.2	Boy kesit .....	51
4.3.2.3	Rampa gövdesi .....	51
4.3.2.4	Büyük kayalar ve kayalık eşikler .....	52
4.3.2.5	Kıyı koruması .....	52
4.3.2.6	Balık rampasının mansabındaki sağlamlaştırılmış bölge .....	52
4.3.3	Özel durumlar .....	53
4.3.3.1	Pürüzlü kanal tipinde havuzlu geçit.....	53
4.3.3.2	Kazıklı geçit .....	53
4.3.4	Genel değerlendirme .....	54
4.3.5	Örnekler .....	55
4.4	Hidrolik tasarım .....	61
4.4.1	Akış eşitlikleri .....	61
4.4.2	Enerji kırıcı kayaların akış direnci.....	61
4.4.3	Kayalık eşiklerle ilgili hesaplama .....	64
4.4.4	Taban rampaları ve meyilli tabanlar üzerindeki kritik debi .....	67
4.4.5	Deneme çalıştırmaları .....	68
<b>5</b>	<b>Teknik balık geçitleri .....</b>	<b>69</b>
5.1	Havuzlu geçitler .....	69
5.1.1	Prensip .....	69
5.1.2	Tasarım ve boyutlar .....	69
5.1.2.1	Üstten görünüş.....	69
5.1.2.2	Boy kesit .....	70
5.1.2.3	Havuz boyutları.....	70
5.1.2.4	Perde duvar yapıları .....	71
5.1.2.4.1	Klasik havuzlu geçit.....	71
5.1.2.4.2	Paralelkenarlı geçit.....	72
5.1.2.4.3	Hörgüçlü geçit .....	73
5.1.3	Hidrolik tasarım.....	73
5.1.4	Genel değerlendirme .....	75
5.1.5	Örnekler .....	76
5.2	Yarıklı geçitler .....	78
5.2.1	Prensip .....	78
5.2.2	Tasarım ve boyutlar .....	78
5.2.2.1	Üstten görünüş.....	78
5.2.2.2	Boy kesit .....	78
5.2.2.3	Havuz boyutları.....	78
5.2.2.4	Yapısal karakteristikler .....	79
5.2.2.5	Taban substratı.....	80
5.2.3	Hidrolik hesaplama .....	80
5.2.4	Genel değerlendirme .....	85
5.2.5	Örnek .....	86
5.3	Denil geçidi .....	87
5.3.1	Prensip .....	87
5.3.2	Tasarım ve boyutlar .....	88
5.3.2.1	Üstten görünüş.....	88
5.3.2.2	Boy kesit .....	88
5.3.2.3	Kanal .....	89
5.3.2.4	Kanal en kesitindeki yapılar .....	89
5.3.2.5	Geçitteki su giriş ve çıkış yapısı.....	89
5.3.3	Hidrolik hesaplamalar .....	90
5.3.4	Genel değerlendirme .....	92
5.3.5	Örnek .....	93
5.4	Yılan balığı merdivenleri .....	95
5.4.1	Yılan balığı göçünün özellikleri.....	95

5.4.2	Tasarım .....	95
5.4.3	Genel değerlendirme .....	96
5.5	Balık eklüzü .....	96
5.5.1	Prensip .....	96
5.5.2	Tasarım .....	97
5.5.3	Genel değerlendirme .....	97
5.5.4	Örnek .....	98
5.6	Balık asansörü .....	100
5.6.1	Prensip .....	100
5.6.2	Yapı .....	100
5.6.3	Genel değerlendirme .....	100
5.6.4	Örnek .....	101
<b>6</b>	<b>Balık geçitlerinin izlenmesi .....</b>	<b>103</b>
6.1	İzleme amacı .....	103
6.2	Yöntemler .....	103
6.2.1	Balık tuzakları .....	104
6.2.2	Kapatma yöntemi .....	104
6.2.3	Markalama .....	104
6.2.4	Elektrikle balık avcılığı .....	106
6.2.5	Otomatik sayma donanımı .....	106
6.3	Sonuçların değerlendirilmesi .....	106
<b>7</b>	<b>Yasal mevzuat .....</b>	<b>109</b>
7.1	Yeni tesisler .....	109
7.2	Mevcut tesisler .....	109
<b>8</b>	<b>Kaynaklar .....</b>	<b>111</b>
<b>9</b>	<b>Kitapta kullanılan semboller ve işaretler çizelgesi .....</b>	<b>115</b>
<b>10</b>	<b>Terimler ve tarifleri .....</b>	<b>117</b>
	<b>Fotoğraflar .....</b>	<b>118</b>



## Şekil ve Çizelge Listesi

	sayfa
Şekil 2.1: Balıkların vücut biçimlerinin farklı su hızlarına uyumu.....	3
Şekil 2.2: Mayıs sineği larvasının su içerisindeki duruşu.....	4
Şekil 2.3: Bir nehirdeki akış karakteristiklerinin farklı debi koşullarında değişimi .....	5
Şekil 2.4: Akış hızına göre substrat malzeme dağılımı .....	5
Şekil 2.5: Nehir Sürekliliği Kavramı .....	8
Şekil 2.6: Felda Nehrindeki (Hesse) alabalık kuşağı .....	10
Şekil 2.7: Ilz Nehrindeki (Bavyera) gölge balığı kuşağı .....	11
Şekil 2.8: Lahn Nehrindeki (Hesse) bıyıklı balık kuşağı.....	11
Şekil 2.9: Oder Nehrindeki (Brandenburg) çapak balığı kuşağı.....	11
Şekil 2.10: Belirteç balık kuşaklarının belirlenmesi.....	14
Şekil 2.11: Şayak sineği ( <i>Anabolia nervosa</i> ) larvaları .....	15
Şekil 2.12: Dere iskorbiti ( <i>Cottus gobio</i> ) .....	16
Şekil 2.13: Kababurun ( <i>Chondrostoma nasus</i> ).....	16
Şekil 2.14: Somon ( <i>Salmo salar</i> ) .....	16
Şekil 2.15: <i>Huchen (Hucho hucho)</i> .....	18
Şekil 2.16: Katadrom göçmen balıkların yaşam döngüsü .....	19
Şekil 2.17: Anadrom göçmen balıkların yaşam döngüsü .....	19
Şekil 3.1: Aşılabilir dik düşü .....	21
Şekil 3.2: Yol altındaki menfez .....	21
Şekil 3.3: Moselle Nehrindeki Neef barajının havadan görünüşü.....	22
Şekil 3.4: Bir nehirdeki akış deseni.....	23
Şekil 3.5: Yan geçit kanalı ve teknik balık geçidi için en uygun yer .....	23
Şekil 3.6: Dar açılı engellerde balık geçidi inşa yeri. ....	23
Şekil 3.7: Yan geçit tipi hidroelektrik santrallerde balık geçidi yeri. ....	24
Şekil 3.8: Ön odalı balık geçidi .....	25
Şekil 3.9: Balık geçidi girişi .....	25
Şekil 3.10: Toplama galerisi olan hidroelektrik santrali .....	26
Şekil 3.11: Toplama galerisinin en kesiti .....	26
Şekil 3.12: Değişken memba kotları için farklı su girişleri (balık çıkışları). ....	27
Şekil 3.13: Dinlenme havuzları olan teknik balık geçidi .....	29
Şekil 3.14: Kaba malzemeli taban substratı .....	29
Şekil 4.1: Doğal görünümlü balık geçidi tipleri.....	31
Şekil 4.2: Doğal görünümlü taban eşiklerinin tasarımı için model alınacak doğala benzer özellikleri olan nehir kesimi .....	32
Şekil 4.3: Taban rampaları ve meyilli tabanların yapılaş tipleri .....	33
Şekil 4.4: Kaya dolgu yapılaşlı meyilli taban.....	33
Şekil 4.5: Kaya dizisi şeklindeki taban basamağı.....	34
Şekil 4.6: Kavisli taban rampasının üstten görünüşü .....	34
Şekil 4.7: Yapay düşünün pürüzlü meyilli tabana dönüştürülmesi .....	35
Şekil 4.8: Regüle edilebilen bir bendin koruma eşığı hâline dönüştürülmesi .....	35
Şekil 4.9: Grossweil/Loisach taban rampası .....	37
Şekil 4.10: İyileştirme öncesi Bischofswerder ahşap bendi .....	38
Şekil 4.11: İyileştirme sonrası Bischofswerder koruma eşığı .....	38
Şekil 4.12: Mangfall Nehrindeki basamaklı tabanın boy kesiti .....	39
Şekil 4.13: Mangfall Nehrindeki basamaklı taban.....	39
Şekil 4.14: Mühlenhagen/Golzbach taban rampası yerleşiminin üstten görünüşü .....	40
Şekil 4.15: Mühlenhagen/Golzbach taban rampası .....	40
Şekil 4.16: Yan geçit kanalı.....	41
Şekil 4.17: Lapnow Değirmenindeki yan geçit kanalı.....	42
Şekil 4.18: Yan geçit kanallarının tabanının ve kıyıların sağlamaştırılmasına örnekler .....	43

Şekil 4.19: İçerisine enerji kırıcı kayaların yerleştirildiği yan geçit kanalı .....	44
Şekil 4.20: Bir yan geçit kanalında eğimi parçalara ayırmak için kayalık eşiklerin kullanılması .....	44
Şekil 4.21: Kinsau'daki Lech barajındaki yan geçit kanalının su giriş yapısındaki kontrol düzeneği. ....	45
Şekil 4.22: Varrel Estate yakınındaki Varrel Bâke deresinde bulunan yan geçit kanalı .....	47
Şekil 4.23: Seiferts Değirmenine ait bendin konumunu gösteren şema.....	48
Şekil 4.24: Seifert Değirmenindeki yan geçit kanalı.....	48
Şekil 4.25: Kinsau yan geçit kanalının vaziyet planı .....	49
Şekil 4.26: Kinsau yan geçit kanalı .....	49
Şekil 4.27: Bentlerdeki balık rampalarının konumu.....	50
Şekil 4.28: Krewelin bendindeki balık rampası .....	51
Şekil 4.29: Eitorf bendindeki balık rampası.....	51
Şekil 4.30: Pürüzlü kanal tipinde havuzlu geçit.....	53
Şekil 4.31: Pürüzlü kanal tipinde havuzlu geçit.....	53
Şekil 4.32: Kazıklı geçit.....	54
Şekil 4.33: Eselsbrücke balık rampası .....	55
Şekil 4.34: Dattenfeld balık rampası .....	56
Şekil 4.35: Dattenfeld balık rampası .....	56
Şekil 4.36: Delmenhorst balık rampası .....	57
Şekil 4.37: Pürüzlü kanallı Uhingen havuzlu geçidi.....	58
Şekil 4.38: Spillenburg bendindeki balık rampası .....	59
Şekil 4.39: Spillenburg bendindeki balık rampası .....	59
Şekil 4.40: Spillenburg bendindeki balık rampası .....	60
Şekil 4.41: Spillenburg bendindeki balık rampası .....	60
Şekil 4.42: Yan geçit kanalı.....	62
Şekil 4.43: Hesaplama örneğini gösteren çizim .....	63
Şekil 4.44: Taban eşikler için hidrolik hesaplama .....	64
Şekil 4.45: Kinsau'daki Lech barajındaki balık geçidi .....	64
Şekil 4.46: Batık akışta azalma faktörü $\sigma$ .....	65
Şekil 4.47: Kayalık eşikteki akış .....	66
Şekil 4.48: Hesaplama örneğine ilişkin çizim .....	66
Şekil 4.49: Eitorf-Unkelmühle balık rampasındaki deneme çalıştırması.....	67
Şekil 5.1: Klasik havuzlu geçit.....	69
Şekil 5.2: Havuzlu geçitler .....	69
Şekil 5.3: Havuzlu geçit .....	70
Şekil 5.4: Havuzlu geçit .....	70
Şekil 5.5: Havuzlu geçitlerde kullanılan terimler .....	71
Şekil 5.6: Paralelkenarlı geçidin perde duvar tasarımı.....	72
Şekil 5.7: Lehmen'de Moselle bendindeki paralelkenarlı geçit .....	73
Şekil 5.8: Elbe Nehri üzerindeki Geesthacht bendine inşa edilen hörgüçlü balık geçidi.....	73
Şekil 5.9: Havuzların en kesiti .....	75
Şekil 5.10: Havuzlu geçidin boy kesiti .....	75
Şekil 5.11: Koblenz/Moselle balık geçidi.....	76
Şekil 5.12: Dahl havuzlu geçidi.....	77
Şekil 5.13: Dahl havuzlu geçidi.....	77
Şekil 5.14: Çift yarıkli balık geçidi.....	78
Şekil 5.15: Bergerac bendindeki yarıkli geçit .....	78
Şekil 5.16: Yarıkli geçitlere ilişkin boyutlar ve terimler .....	79
Şekil 5.17: Yarıktaki akış hızı dağılımı.....	80
Şekil 5.18: Yarıkli geçidin boy kesiti .....	81
Şekil 5.19: Yarıkli geçidin ayrıntısı.....	81
Şekil 5.20: Yarıktan geçen su akıntısı .....	82
Şekil 5.21: Yarıkli geçitteki su debisi .....	82
Şekil 5.22: Keskin kenarlı yarıklar için debi katsayısı .....	82
Şekil 5.23: Hesaplanan örnek değerlerle birlikte şematik gösterim .....	83

Şekil 5.24: Yarıklı geçidin perde duvarları.....	84
Şekil 5.25: Neu Lübbenau’da Spree bendindeki yarıklı geçit.....	86
Şekil 5.26: Denil geçidi.....	87
Şekil 5.27: Denil geçidindeki saptırıcılar.....	87
Şekil 5.28: Denil geçidindeki karakteristik hız dağılımı.....	87
Şekil 5.29: Denil geçidi.....	88
Şekil 5.30: Denil geçidi.....	88
Şekil 5.31: Denil geçidi.....	90
Şekil 5.32: $h^* = f(h_0)$ ilişkisi.....	90
Şekil 5.33: Saptırıcıların ölçüleri.....	91
Şekil 5.34: Denil geçidinin boy kesiti.....	91
Şekil 5.35: Unkelmühle’deki hidroelektrik santralının Denil balık geçidi.....	93
Şekil 5.36: Dinlenme havuzlu alt Denil kanalı.....	94
Şekil 5.37: Alt Denil kanalı.....	94
Şekil 5.38: Deniz lampreyi ( <i>Petromyzon marinus</i> ).....	94
Şekil 5.39: Yılan balığı ( <i>Anguilla anguilla</i> ).....	95
Şekil 5.40: Yılan balığı merdivenli paralelkenarlı geçit.....	95
Şekil 5.41: Yılan balığı merdiveni.....	96
Şekil 5.42: Balık eklüzünün çalışma prensibi.....	97
Şekil 5.43: Schoden’deki balık eklüzü.....	98
Şekil 5.44: Schoden’deki balık eklüzü.....	99
Şekil 5.45: Balık asansörünün çalışma prensibi.....	100
Şekil 5.46: Tuilières balık asansörü.....	101
Şekil 5.47: Tuilières balık asansörünün girişi.....	101
Şekil 6.1: İzleme amaçlı balık tuzaklaması.....	105
Şekil 6.2: Markalanmış somon.....	105
Şekil 6.3: İzleme amaçlı elektrikle avcılık.....	105
Çizelge 2.1: Ren, Weser ve Elbe nehir sistemlerindeki belirteç balık kuşaklarında bulunan bazı balık türlerin dağılımı.....	12
Çizelge 2.2: Nehir kuşakları.....	13
Çizelge 2.3: Nehir kuşaklarının eğime göre sınıflandırılması.....	13
Çizelge 3.1: Bazı ergin balık türlerinin ortalama boyu.....	28
Çizelge 5.1: Havuzlu geçitlere ilişkin tavsiye edilen ölçüler.....	72
Çizelge 5.2: Sadece tek yarığı olan geçitlere ilişkin asgari boyutlar.....	79
Çizelge 5.3: Azami memba su kotunda su seviyeleri ve akış hızları.....	84
Çizelge 5.4: Denil geçitlerinde kanal genişliği ve eğim için kılavuz değerler.....	89
Çizelge 5.5: Denil geçidinde saptırıcıların tasarımı için kılavuz değerler.....	89





## 1 Giriş

Birçok balık türü normal davranışı gereği, hayatlarının belirli dönemlerinde uzun ya da kısa mesafeli göç etmektedir. Bu türlerin en çok bilinenlerine örnek olarak denizden nehirlerdeki yumurtlama alanlarına dönerken binlerce kilometre yol kat eden somon (*Salmo salar*) ve mersin balığı (*Acipenser sturio*) verilebilir. Uzun mesafeli göç eden bu türlerin yanı sıra diğer balıklar ve omurgasızlar da, yaşam döngülerinin belirli aşamalarında nehrin bir bölümünden diğer bölümüne kısa süreli ya da küçük çaplı göçler yapmaktadır.

Ortaçağda Avrupa'daki birçok dere ve nehre su gücünden yararlanmak amacıyla bentler inşa edilmiştir. Bu tarihi yapılar, hâlâ kültürel varlığımızın önemli bir bölümünü oluşturmaktadır. Sanayileşme ve dünya nüfusunun artışına paralel olarak nehirler, insanlar tarafından çok çeşitli amaçlarla yoğun bir şekilde kullanılmaya devam etmektedir.

Günümüzde taşkın kontrolü, ulaşım ve içmesuyu temini gibi kullanım amaçlarının yanı sıra hidroelektrik enerji üretimi, özellikle son dönemde yenilenebilir enerji kaynaklarının kullanımının teşviki neticesinde yeni barajların yapılmasını önemli ölçüde teşvik etmiştir. Bu çerçevede fosil enerji kaynaklarından doğaya salınan karbondioksiti azaltmak amacıyla hidroelektrik enerji yoğun bir şekilde desteklenmektedir. Baraj ve bent gibi engellerin nehirlerle inşası sonucu nehir ekosistemlerinin karakteri ve niteliği önemli ölçüde etkilenmiştir. Bu su yapıları, nehrin bütün kesimlerinin su altında kalmasına ve akarsu karakterini yitirerek rezervuara dönüşmesine yol açar. Ayrıca bu engeller nehrin dikey bağlanabilirliğini de kesintiye uğratar, böylece su canlılarının geçişi imkânsız hâle gelir. Su kirliliği gibi diğer etkenlerle birlikte bu durum, bazı balık türlerinin (somon, mersin balığı, tirsi) popülasyonlarında azalmaya, bazen de neslinin yok olmasına sebep olur.

İnsan eliyle yapılan baraj ve bent gibi engellerin olumsuz etkileri çok önceden beri bilinmektedir. Örneğin, on üçüncü yüzyılda Jülich Kontu Rur nehri (Kuzey Ren-Vestfalya'daki Maas Nehrinin kolu) ile ilgili olarak, somonların göç ettiği dönemde bütün bentlerin açık tutulmasını emreden bir ferman çıkarmıştır (Tichelbacker, 1986). Buna benzer köklü çözümler günümüzde uygulanabilir olmamakla birlikte, mevcut engeller sadece balık geçidi inşa edilerek aşılabilir hâle getirilebilmektedir. Balık geçitlerinin yapımı, nehir habitatının ya da nehrin dikey bağlana-

bilirliğinin kaybolması gibi barajların sebep olduğu temel ekolojik zararı ortadan kaldırmamakla birlikte, bu tedbir sayesinde engellerin olumsuz ekolojik etkisi belirli ölçüde hafifletmekte ve ekolojik uyumluluk artırılmaktadır. Örneğin, 1980'li yılların ortalarında Kuzey Ren-Vestfalya'daki nehirlerin somon ve denizalası ile balıklandırılması amacıyla başlatılan programın başarısının ardında sadece atık su arıtım tesislerinin inşası ile su kalitesindeki iyileşme olmayıp, kritik engeller üzerine balık geçidi yapılarak potansiyel yumurtlama alanları ile (Sieg Nehir sistemi) ana nehir kolu (Ren Nehri) arasındaki bağlantının yeniden sağlanması da vardır (Steinberg ve Lubieniecki, 1991). Sucul ekosistemler arasındaki bağlantının yeniden tesisi, nesli tehlike altında olan balık türlerinin nehirlerde yeniden çoğaltılması faaliyetlerine, daha genel olarak tür ve habitatın korunmasına önemli katkı sağlamıştır. Günümüzde nehirlerin dikey bağlanabilirliğinin yeniden tesisi, kamuoyuyla paylaşılan sosyopolitik bir hedeftir. Bu hedefe, ihtiyaç duyulmayan engeller ortadan kaldırılıp (yani, yıkılıp) yerine meyilli taban ya da balık geçidi inşa edilerek ulaşılabilir.

Balık geçitleri, su canlılarının göç yolları üzerindeki baraj ve bent gibi engelleri aşarak memba veya mansap göçlerini kolaylaştıran yapılardır. Su kütleleri arasındaki bağlantının yeniden sağlanması, sadece balıkların yararına olmayıp, bütün su canlıları için önemlidir; balıklarla birlikte diğer bütün su canlılarını içerisine alan daha uygun genel bir terim bulunmadığından bu kitapta "balık merdiveni", "balık yolu", "balık geçidi" ve "balık basamakları" gibi terimler kullanılmıştır. Geçmişte sadece balıkların nehrin üst kısımlarına çıkmasına yardımcı olmaya önem verildiğinden, bu terimlerin geçmişten kaynaklandığı görülmektedir. Günümüzde "balık yolu" terimi, balık faunası ile sınırlı olmayıp, göç eden bütün su canlılarını kapsayan geniş bir anlamda kullanılmaktadır. Bu terimin anlamı, son dönemde önemi gittikçe artan mansap göçünü de içerisine alacak şekilde genişletilmiştir.

Balık merdivenleri, teknik olarak fayda sağlayacak biçimde ya da doğayı taklit eden tarzda inşa edilebilmektedir. Doğal çözümlerden yan geçit kanalları ve balık rampalarının yanı sıra, klasik havuzlu tip geçitler ve yarıklı geçitler gibi daha teknik çözümler de bulunmaktadır. Alışıl gelmiş tiplerin dışında, yılan balığı merdivenleri, balık asansörleri ve hidrolik balık eklüzü gibi özel yapılar da kullanılmaktadır. Bu kitapta sadece memba göçüne yönelik balık geçitleri ile ilgili en yeni bilgiler yer almakta olup, inşa, işletme ve

bakımlarının yanı sıra işlevselliklerinin denenmesi ile ilgili tavsiye ve açıklamalar da verilmiştir.

Günümüzde balıklara ilişkin davranış engelleyici düzenekler (balıkların türbinlere veya su alma ağızlarına girişini engelleyici hava kabarcıklı, ışıklı, elektrik akımlı perdeler gibi<sup>#</sup>) ile balıkların nehrin aşağı kesimlerine geçişine yardımcı olan düzeneklerin (mansap göçünü sağlayan yan geçit sistemlerin<sup>#</sup>) tasarımı ve yapılışı hakkında bilgilere gerek duyulmaktadır. Hâlihazırda bu konularla ilgili önemli ölçüde bilgi eksikliği bulunması nedeniyle DVWK, bu alanda bir çalışma başlatmış ve bu sorunlarla ilgili başka kılavuzların hazırlanması için girişimde bulunmuştur. Bu kitapta mansap göçü konusu yüzeysel olarak ele alınmış olup, ayrıntılı bir şekilde açıklanmamıştır.

---

<sup>#</sup> Editör tarafından eklenen açıklama

## 2 Ekolojik prensipler

### 2.1 Akarsu ekosistemleri

Akarsular, farklı ekolojik bölgeleri doğal yolla birbirine bağlar; bu yönüyle ekolojik yönden çok önemlidir. Bu sebeple, daha doğru bir ifadeyle "tabiattaki hayati iletişim hatları" olarak adlandırılır. Genel olarak diğer bütün ekosistemler de bu ölçüde büyük yapısal farklılık arz etmekte ve sonuç olarak, çeşitli bitki ve hayvan türlerinin oluşturduğu çok zengin ve birbirinden farklı toplulukları ön plana çıkarmaktadır. Bununla birlikte insan faaliyetleri için bu kadar çok kullanılan veya kirlilik ve yapısal değişikliklerden aşırı etkilenen başka bir ekosistem yoktur.

Zarar görmemiş bir akarsu ekosisteminin karakterini, içerisinde çok sayıda abiyotik (cansız) ve biyotik (canlı) etkenlerin yer aldığı son derece karmaşık bir yapı belirler. Bu nedenle parametrelerin sadece birinde ortaya çıkan değişiklik, akarsudaki canlı toplulukları (biyosönoz) üzerinde bir dizi çok farklı etkiyi tetikler. Günümüzde bu tür etkilerin olduğu mekanizmalar hakkında çok fazla bilgi mevcut değildir.

Farklı jeofizik, iklimsel ve başka abiyotik etkenlerin bir arada bulunması, bir nehirdeki farklı habitatların kalitesi ve yapısı üzerinde belirleyici etki oluşturmaktadır. Bu temel parametrelerden birkaçı aşağıda verilmiştir.

#### 2.1.1 Jeoloji ve iklim

Kıyılarına yakın kesimlerdeki ovalık araziler, yüksek araziler ve dağlık alanlar gibi farklı ekolojik bölgeler, temelde jeolojik ve iklimsel özellikler bakımından birbirinden ayrılır; bu nedenle bu bölgelerdeki akarsuların karakterinin, buldukları yere göre değişmesi şaşırtıcı değildir. Nehirlerin hidrolojik karakteristikleri, suyun kendi hidrokimyasal özelliklerinin yanı sıra, deniz seviyesine göre yükseklik, yağış ve yeryüzüne çıkan kayaların bileşimi gibi etkenler tarafından belirlenir. Arazinin eğimi de orografik bir etken olup, diğer abiyotik etkenlerin (su hızı ve tabandaki substrat bileşimi gibi) yapısı ile birlikte erozyon ve sedimentasyon süreçleri üzerinde belirleyici etkiye sahiptir.

#### 2.1.2 Su hızı

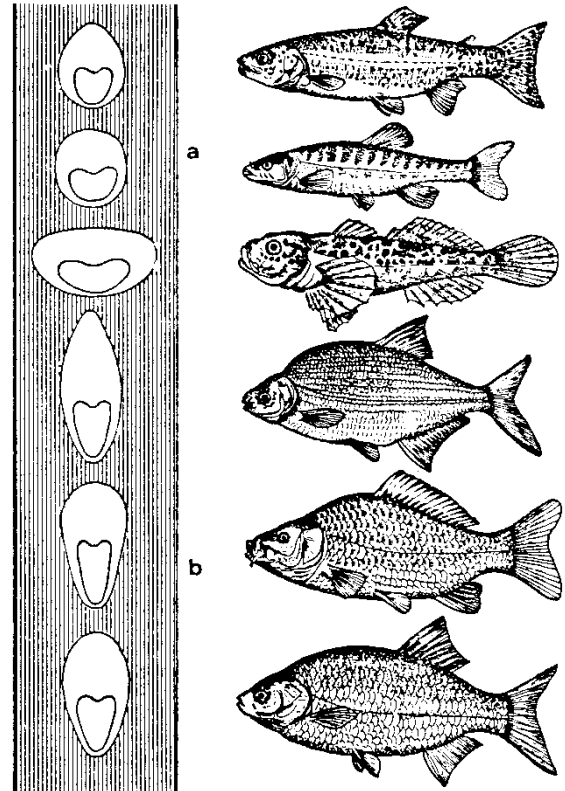
Akarsularda ekolojik olarak belirleyici en önemli etken su hızıdır. Akarsulardaki hayvan toplulukları her zaman akıntı ile sürüklenme tehlikesiyle karşı

karşıyadır; sonuçta, sadece sürüklenmeye karşı durabilme mekanizmaları gelişmiş ya da su akıntısına karşı hareket edebilen canlılar bu sulara kalıcı bir topluluk oluşturabilir.

Akarsulardaki çeşitli akış karakteristiklerine uyum sağlamaya ilgili olarak su canlıları, mansaba doğru sürüklenip yerlerini kaybetmemek için farklı biyolojik stratejiler geliştirmiştir:

#### Vücut biçimi uyumu

Hem balıkların hem de bentik (tabanda yaşayan) omurgasızların vücudu, kendi habitatlarının akış rejimlerine uyum sağlayabilecek en uygun biçimi almıştır. Kahverengi alabalık (*Salmo trutta f. fario*) veya golyan balığı (*Phoxinus phoxinus*) gibi akarsuların hızlı akan üst kesimlerindeki balıkların vücudu torpido biçiminde olduğundan su akıntısına direnci çok düşüktür; çapak balığı (*Abramis brama*) ve sazan (*Cyprinus carpio*) gibi sırtı yüksek olan balıklar ise akıntının daha yavaş olduğu sulara topluluk oluşturur (Şekil 2.1).

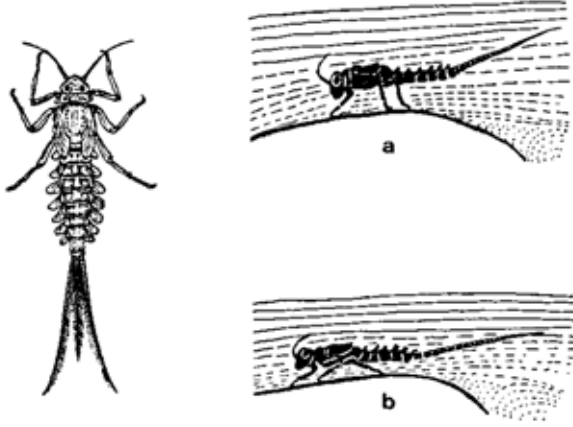


Şekil 2.1: Balıkların vücut biçimlerinin farklı su hızlarına uyumu (Schua, 1970)

- (a) Akarsuların hızlı akan üst kesimlerindeki türler: kahverengi alabalık, golyan balığı, dere iskorpiti,  
 (b) Nehrin yavaş akan bölgelerindeki türler: çapak balığı, sazan, kızılkanat.

## Davranış uyumu

Su canlılarının birçoğu, mansaba sürüklenmekten kurtulmak için aktif davranış uyumundan yararlanmaktadır. Bu canlılara en güzel örnek Baetis cinsine ait mayıs sinekleridir. Bu sinekler, su akışı hızlandığında vücutlarını substrat üzerine bastırır; böylece suya karşı dirençleri azalır (Şekil 2.2).



**Şekil 2.2:** Baetis cinsine ait bir mayıs sineği larvasının su içerisindeki duruşu (Schua, 1970)  
a) Zayıf akıntılarda  
b) Güçlü akıntılarda

## Tutunma yolları

Bentik omurgasızların birçoğu, vantuzlar (sülükler ve karasinek larvası, *Simulium* spp.), bükümlü iplikçik salgılama (tatarcık larvası) ya da çengel, tırnak veya vücut uzantıları üzerindeki kıllar vasıtasıyla kendilerini substrata tutturur.

## Yavaş akıntılı alanlarda yaşayan canlılar

Büyük taşların arkasında ve altında yavaş akıntılı alanlar oluşur; dere iskorbiti (*Cottus gobio*) gibi türler bu alanları sığınma yeri olarak kullanır. Bu balık türü substrat ile doğrudan temas etmeye çalışır ve büyümesine paralel olarak vücut boyutuna uygun farklı büyüklüklerdeki sığınma yerlerini tercih eder. Balıklar ve çeşitli omurgasız canlılar yüksek su hızından ve nehirlerin ara boşluklarındaki (tabandaki substrat parçacıkları arasındaki boşluklar) yırtıcılardan korunmak için sığınacak yer arar. Örneğin gölge balığının (*Thymallus thymallus*) besin keseli larvaları bu açıkların içerisine 30 cm kadar girerek kendilerini yırtıcılardan korur.

## Dengeleme göçleri

Dengeleme göçleri, esasen sürüklenme neticesinde oluşan konum kayıplarını dengelemeye yardımcı olan

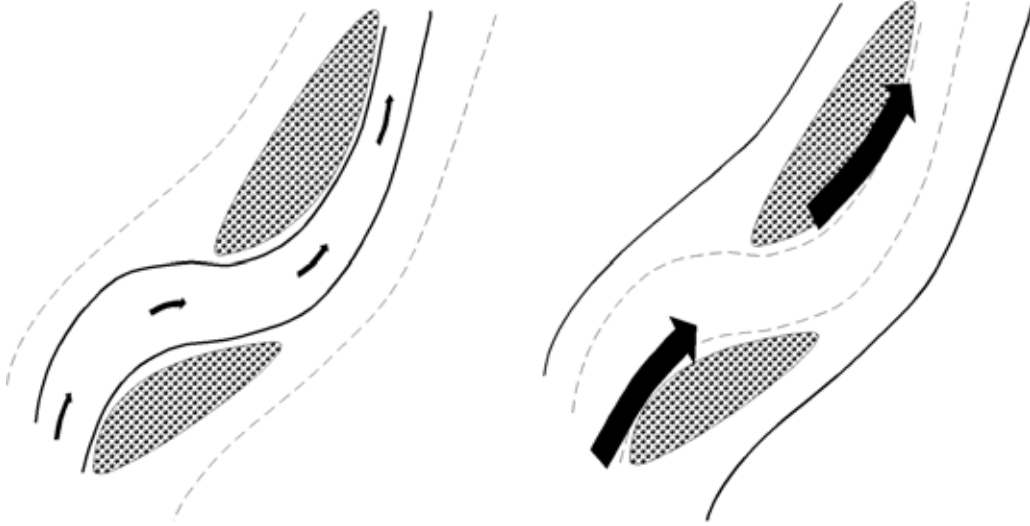
belirli bir yöndeki hareketlerdir. Dere iskorbiti yavruları, yüzme kabiliyetinin henüz yeterince gelişmediği dönemde akıntı ile mansaba taşındıktan sonra membaya doğru yaklaşık 2 km kadar yüzer (Bless, 1990). Bazı böcek türlerinin ergin bireyleri, larval dönemdeki sürüklenme sonucunda ortaya çıkan konum kayıplarını dengelemek için membaya doğru uçar (Pechlaner, 1986). Buna benzer dengeleme göçleri tatlı su çekirgelerinde (Gammaridae) de görülmektedir (Hughes, 1970; Meijering, 1972).

Akarsu eğimi, morfolojik olarak değişikliğe uğramamış nehirlerin su hızını (ve akımını) ve dolayısıyla nehir yatağının genel yapısını belirleyen en önemli etkidir. Su hızı, akarsu yatağı genişliği boyunca ortaya çıkan yerel farklılıkların etkisiyle önemli ölçüde değişiklik gösterebilir. Nehir yapısındaki bu dinamik değişiklikler sonucunda, sucul habitatların çok şekilli mozaik benzeri karakterinin temelini oluşturan farklı akıntı desenleri meydana gelir. Akış rejimindeki değişimler, akarsulardaki hayat şartlarını da değişikliğe uğratar. Normal su seviyesinde yavaş akıntılı, taşkın zamanlarında ise yüksek akım hızlarının etkisinde kalan alanlar vardır (Şekil 2.3). Taşkın döneminde su canlıları mansaba daha kolay sürüklenir; taşkın hafifledikten sonra faunanın, dengeleme göçleri ile eski konumuna dönmesi gerekir.

### 2.1.3 Kesme gerilmesi ve substrat dağılımı

Akarsudaki enerji, erozyon ve sedimantasyon ile doğal akarsu yatağını dinamik bir biçimde yeniden şekillendirir. Suyun kesme gerilmesi katıların taşınmasına (yatak yükü) ve büyük ölçüde yer değiştirmesine sebep olur. Bu durum, farklı akıntı desenleri ile birlikte farklı taban ve şev yapılarının oluşmasına yol açar:

- Menderes oluşturan ve yayvan yataklı nehirlerde, taban ve şevdeki malzemenin erozyonla uzaklaştırılması sonucu kıvrım yerinin dış kenarında dik şevler oluşurken, iç kenarda malzeme birikimi nedeniyle düz şev birikintileri oluşur.
- Bölgesel çakıl, kum ve silt birikimi su derinliğini azaltarak sığ alanların oluşmasına yol açar.
- Katı malzemenin uzaklaşması su derinliğinde artışa (derin göllenmeler ve delikler) sebep olur.
- Kısa mesafeli aralıklarla, akıntısı yavaş olan bölümleri hızlı akıntılı bölümler (çukur-tümsek yapısı) takip eder.
- Nehir yatağında görülen dinamik kaymalar, geçiş bölgesi, kör yan kol ve su kabarmalarına yol açar.

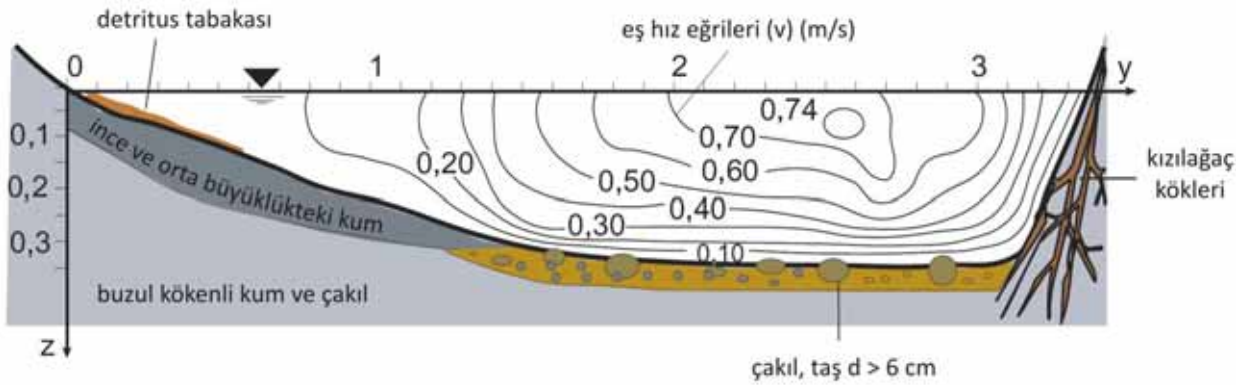


**Şekil 2.3:** Bir nehirdeki akış karakteristiklerinin farklı debi koşullarında değişimi

- a) Asgari su kotu: Düşük hızlar; su, engellerin etrafından akar.  
b) Azami su kotu: Yüksek hızlar; su, engellerin üzerinden akar.

Akarsularda tane büyüklüklerine bağlı olarak katı cisimler de taşınır (Şekil 2.4). Yüksek su hızlarında ve tabanda buna uygun olarak oluşan yüksek kesme gerilmesinde akıntı ile büyük substrat parçaları bile taşınabilmektedir. Kesme gerilmesindeki azalmaya bağlı olarak öncelikle kaba malzemeler tabana çökerken, daha ince taneli parçalar akıntının az olduğu yerlerde birikene kadar taşınır. Bu sebeple, doğal veya doğala yakın nehirlerde substrat, farklı akıntılara bağlı bir mozaik yapı sergiler ve burada, her birinin kendine özgü habitat ihtiyacı olan farklı canlı toplulukları (biyosönoz) kümelenir. Pek çok türün habitat ihtiyacı yaşam döngüsü boyunca önemli ölçüde değişebildiğinden, çok zengin tür çeşitliliğinin akarsularda yaşamını sürdürebilmesi için bu farklılaşmış substrat en temel ön şarttır:

- Kahverengi alabalık (*Salmo trutta f. fario*), gölge balığı (*Thymallus thymallus*), bıyıklı balık (*Barbus barbus*) ve noktalı inci balığı (*Alburnoides bipunctatus*) gibi birçok balık türü, yumurtalarını bırakmak için belirli tane büyüklüklerden oluşan çakıl substratlara gerek duyar.
- Dere, nehir ve deniz lampreylerinin (*Lampetra planeri*, *Lampetra fluviatilis*, *Petromyzon marinus*) larvaları (ammocoetes) ayrıca, gizlendiği ve üzerinden akan sudaki organik maddeleri süzerek beslendiği dönemde gelişimleri için ince taneli sediment birikimlerine ihtiyaç duyar.
- Kababurun (*Chondrostoma nasus*) taşlar üzerinde gelişen algleri yiyerek beslenir; bu sebeple, beslenme döneminde taş ve kaya parçalarına, yumurtlama döneminde ise çakıl zemine gerek duyar.



**Şekil 2.4:** Akış hızına göre substrat malzeme dağılımı

#### 2.1.4 Sıcaklık

Akarsuların sıcaklığı, tatlı su (limnetik) biyosönozu bakımından özellikle önemlidir. Birçok canlı türü, metabolik işlevleri ve normal davranışları için dar bir sıcaklık aralığına uyum sağlamıştır. Bu türler sadece en uygun sıcaklığa göre belirli ölçüdeki sapmaları tolere edebilir. Isıl kirlenme (havuzlarda ısınmış suların, termik santrallerin soğutma sularının vb. ortama girişi) sonucu akarsuların bir miktar ısınması ve depolanmış suların yoğun güneş ışınması sonucu ısınması, sıcaklığa duyarlı bu tür canlıların topluluk oluşturmalarını sınırlandırabilir. Diğer taraftan, balıkların üremesi, her türe özgü bir en düşük sıcaklığa bağlıdır. Kahverengi alabalık (*Salmo trutta f. fario*) 5°C'un altındaki sıcaklıklarda yumurtasını bırakırken, kababurunun (*Chondrostoma nasus*) üremesi sadece 8°C'ta, golyan balığının (*Phoxinus phoxinus*) ise 11°C'ta başlar. Nehrin aşağı kesimlerine (potamon) özgü sazan (*Cyprinus carpio*) ve kadife balığı (*Tinca tinca*) gibi türler sadece su sıcaklığı 20°C'un üzerinde olduğunda yumurta bırakır. Su sıcaklıkları ve sıcaklık değişimleri balıkların göç davranışı üzerinde önemli bir etkiye sahiptir (Jonsson, 1991). Norveç'teki Imsa nehrinde yaşayan somon ve denizalası *smolt*ları mansap göçü için 10°C'un altındaki sıcaklıkları tercih ederken, ergin yılan balıklarının birçoğu 9°C ile 12°C arasındaki sıcaklıklarda nehrin mansabına doğru yüzmektedir. Su sıcaklıklarındaki artış balıkların memba göçünü de başlatmaktadır. Bununla birlikte, belirli bir türe özgü sıcaklık sınırı aşıldığında balık metabolizması hızlanabildiğinden ve balığın fiziksel dayanımı azalabildiğinden çok yüksek su sıcaklığı memba göçünü engellemektedir.

#### 2.1.5 Oksijen

Çözünmüş oksijen sucul ortamlarda önemli bir yere sahiptir. Akarsulardaki türbülanslı akış şartlarında su yüzeyi aracılığıyla oksijen alımı (fiziksel oksijen alımı) önemli bir kaynak olmakla birlikte, yüksek sucul bitkilerin yanı sıra planktonik ve epifitik algler de fotosentez işlemiyle (biyolojik oksijen temini) oksijen üretmektedir. Nehirlerin kendini temizleme sürecinde oksijen tüketen mikrobik parçalanmayla ortamdaki uzaklaştırılan organik kirlilik, sulardaki oksijen seviyesini önemli ölçüde azaltabilir. Olağan dışı durumlarda bu olay su canlılarının ölümüne sebep olabilir. Sıkça karşılaşılan balık ölümlerinin nedeni sadece toksik maddeler (siyanür, pestisitler vb.) olmayıp, daha çok kanalizasyon atıkları veya sıvı gübre gibi organik maddenin oksijen tüketen parçalanma mekanizması sonucu ortaya çıkan oksijen eksikliğinden

kaynaklanmaktadır. Su hızı ve akımıyla çok ilgili olan sudaki oksijen muhtevası, su canlılarının akarsularda topluluk oluşturması üzerinde önemli bir etkiye sahiptir:

- Akarsuların kaynağa yakın yerlerinde yüksek oksijen seviyesine uyum sağlayan omurgasızlar, toplam oksijen ihtiyacını vücut yüzeyinden difüzyonla karşılar. Akıntının hızlı olması nedeniyle, canlıların solunum ihtiyaçlarını karşılamaya yetecek miktarda oksijence zengin su sağlanmış olur; bu nedenle farklı taşsineği larvalarında oksijeni absorbe etmek için özel organlar (solungaçlar) gelişmemiştir.
- Akıntının daha yavaş olduğu nehir bölümlerinde yaşayan midyeler (çift kabuklular), birgünsineği (*Ephemeroptera*) ve evciliböcek (*Trichoptera*) larvaları gibi türlerin oksijen alışverişini kolaylaştıran solunum organları, bir başka deyişle solungaçları vardır.
- Tatarcık sineği larvaları (*Chironomidae*) ve halkalı solucanlar (*Tubifex tubifex*) gibi bazı dip canlılarının vücut sıvılarında, sürekli oksijen eksikliği olan habitatlara uyumun bir göstergesi olarak hemoglobinin bulunmasıdır. Hemoglobinin oksijen bağlama kapasitesi çok fazla olduğundan, vücudunda bu molekülün bulunduğu canlılar oksijenin düşük olduğu ortamlar da bile oksijen ihtiyaçlarını karşılayabilir.
- Bazı balık türleri de, sudaki farklı oksijen seviyelerine uyum sağlamıştır. Yaz mevsiminde bile suların soğuk olduğu akarsuların yukarı kesimlerinde (ritron) yaşayan kahverengi alabalık (*Salmo trutta f. fario*) ve golyat balığı (*Phoxinus phoxinus*) gibi türler için akarsuyun doğallığı ve temizliği korunduğu sürece, yıl boyunca kullanılabilir durumda yeterli oksijen vardır. Bu yüzden bu türlerin solungaç faaliyetleri düşük seviyede olup, sudaki oksijenin yeterince olması gerekir: Kahverengi alabalık 9 mg/L'nin altında oksijen derişimlerine uzun süre dayanmamaktadır.
- Bununla birlikte, nehrin yavaş akan kesimlerinde (potamon) yaşayan türler, doğal yolla oluşan oksijen eksikliğine uyum sağlamıştır. Örnek olarak sazan balığı (*Cyprinus carpio*) oksijen derişiminin 2 ila 3 mg/L olduğu sularda yaşayabilmektedir. Taşısran balıklar ailesine (*Cobitidae*) mensup bazı yerli türler [örneğin, dikenli taşısran (*Cobitis taenia*), taşıyien (*Misgurnus fossilis*) ve taşısran (*Noemacheilus barbatulus*)] sürekli oksijen eksikliği görülen habitatlara uyumun bir sonucu ola-

rak bağırsak solunumu yapabilmektedir. Sudaki oksijen muhtevası düşük olduğunda bu türler, hava yutup, buradaki oksijeni özel bir solunum organı ile ayırabilmektedir.

## 2.2 Nehir sürekliliği

Vannote *vd.* (1980) tarafından ortaya konulan "Nehir Sürekliliği Kavramı"nda, doğrusal ekosistem olan nehirlerin ekolojik işlevi ve bağlanabilirliklerine ilişkin engellerin etkileri açıklanmaktadır. Bu enerji-akış modeli; nehir sistemlerinin doğrusal bağlanabilirliği tezine dair kuramsal bir temel sağlar ve Bölüm 2.1'de açıklandığı gibi, bir nehir boyunca abiyotik faktörlerde görülen belirgin değişimi esas alır. Sucul türler; belirli bir nehir kesiminde hüküm süren özel yaşam şartlarına uyum sağlar ve akarsu boyunca abiyotik faktörlerin değişimine bağlı olarak doğal bir ardışıklıkla değişim gösteren karakteristik biyosönozlar meydana getirir. Aşağıda verilen varsayımlara göre, fiziksel faktörlerin değişimi ile nehirlerdeki canlı topluluklarının bileşimini etkileyen biyolojik mekanizmalar arasındaki temel ilişkilere dayanan ideal bir model oluşturulabilir:

- Nehir debisi kaynaktan nehir ağzına doğru sürekli artar.
- Genel olarak kaynaktan uzaklaştıkça eğim azalır.
- Akış hızı, nehrin üst kesimlerinde çok yüksek olup, akış yönünün tersine düzenli gelgit hareketlerinin olduğu haliç bölgesine doğru sürekli azalır.
- Nehir güzergâhı boyunca substrat, akış hızına bağlı olarak belirgin bir biçimde düzenlenir. Üst kesimlerdeki substrat ağırlıklı olarak kaya parçaları ve iri çakıldan meydana gelirken, orta kesimlerde küçük çakıllar ve kum yaygındır; haliç alanındaki substrat ise ince kum, silt ve kil malzemedir oluşmaktadır.
- Ilıman bölgedeki akarsuların üst kesimlerinde 10°C'un altında olan yıllık ortalama sıcaklık nispeten düşük olmakla birlikte, nehir güzergâhı boyunca artış gösterir. Ayrıca, sıcaklık değişim aralığı da nehir boyunca sürekli artmaktadır. Genellikle kaynağa yakın yerlerdeki sıcaklık yıl boyunca hemen hemen sabit bir seyir izlerken, aşağı kesimlerde kışın 0°C ile yazın 20°C arasında değişebilmektedir.
- Akarsuyun üst kesimlerdeki oksijen muhtevası, doygunluk veya aşırı doygunlukla karakterize

edilir. Şiddetli türbülanslı akış sebebiyle atmosferden sürekli bir biçimde oksijen alınır. Nehirdeki oksijen muhtevası, su sıcaklığındaki yükselme ve akış hızındaki azalma sebebiyle nehir boyunca azalma gösterir. Aşağı kesimlerde su bitkileri ve özellikle fitoplanktonların suyun oksijen muhtevası üzerinde önemli etkisi vardır.

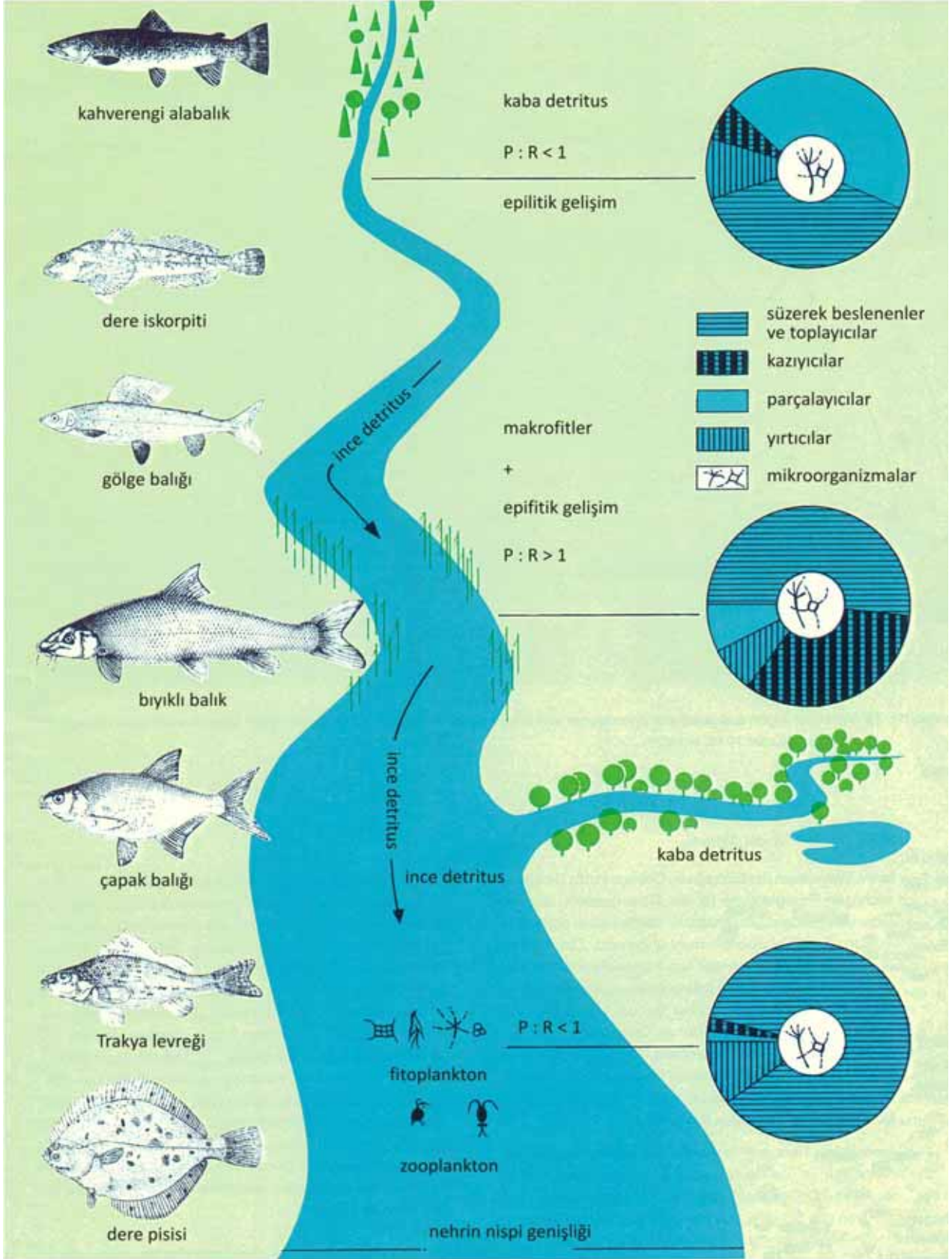
Burada açıklanan genel modelde, eğimdeki süresizliğin etkileri, büyük yan kollardan gelen akış sebebiyle debideki ani artış veya göllerden akış esnasında enerji alımı gibi özel durumlar dikkate alınmamıştır.

Nehir Sürekliliği Kavramı'nda bir nehir güzergâhındaki farklı abiyotik faktörlerin değişimine bağlı olarak benzer şekilde karakteristik bir biyolojik değişimin olduğu gerçeği ifade edilmektedir. Bu değişim ölçüsü ayrıca, nehirdeki biyolojik enerji akışı olarak anlaşılabilir ve biyosönozları ile birlikte nehirdeki organik madde girişi, taşınımı, kullanımı ve depolanmasını içeren bir bütünü ifade eder. Biyolojik değişim, nehir boyunca belirli türdeki veya tipteki canlıların karakteristik bir dizi hâlinde diğer canlılarla yer değiştirmesi şeklinde anlaşılabilir. Bu nedenle, belirli bir nehir kesiminde ya da bütün nehir sistemindeki biyosönozlar bir düzen içerisinde birbiriyle belirgin bir biçimde bağlantılı olup, Nehir Sürekliliği Kuramı'na göre, bütün sistem içerisinde enerji kayıplarını asgariye indirmekle ilgili ortak bir strateji izler. Bu çerçevede aşağı kesimdeki biyosönozlar, organik madde enerji dönüşümü henüz tamamlanmadığından membadakilere göre daha avantajlıdır; yukarı kesimdeki biyosönozlarda mansaba taşınan organik maddenin büyük bir bölümü daha sonra parçalanmaktadır (Şekil 2.5).

Bu kuram; nehrin farklı bölümlerinde (üst, orta ve alt kesimler) yaşayan omurgasızların farklı besin öğelerini kullanması ve farklı beslenme stratejileri göstermesi gerçeği ile desteklenmektedir. Nehir sürekliliği boyunca biyoenerji ile ilgili görülen belli başlı etkiler; organik madde ve ışık dâhil dış kaynaklı (allokton) maddelerin farklı yerlerden yoğun bir biçimde girişi ile üst kesimlerden ve yan kollardan gelen organik maddenin orta ve alt kesimlere sürüklenmesidir:

- Nehrin üst kesimleri yoğun bir biçimde şevlerdeki bitki örtüsünün etkisi altındadır. Bu durum, gölgelenme nedeniyle nehirdeki ototrofik üretimi azaltırken, diğer taraftan özellikle düşen yapraklarla nehre çok miktarda ölü organik madde girişi sağlar.





**Şekil 2.5:** Nehir Sürekliliği Kavramı: Nehir genişliğinin bir fonksiyonu olarak akarsulardaki biyosönozların yapısal ve işlevsel karakteristiklerinin değişimi (Bavyera Bölgesel Su Yönetim Bürosu, 1987) P = birincil üretim; R = solunum faaliyeti; P/R = birincil üretimin solunum faaliyetine oranı

- Karasal bölgeden gelen girdilerin önemi, nehir genişliği arttıkça azalma gösterir. Bununla birlikte, sudaki ototrofik birincil üretimde ve organik maddenin üst kesimlerden mansaba doğru taşınmasında önemli ölçüde artış olur.
- Birincil üretimin (P) biyosönoz solunum faaliyetine (R) oranı (P/R), farklı nehir kesimlerinde bulunan biyosönozlar arasındaki fizyolojik farkları ortaya koyar. Orta kesimlerde birincil üretim daha önemliken üst kesimlerde solunum faaliyeti ağır basar. Bununla birlikte alt kesimlerde, su bulanıklığı ve su derinliğindeki artışa bağlı olarak birincil üretim önemli ölçüde azalmaktadır. Aynı zamanda, üst kesimlerde düşen yapraklardan kaynaklanan büyük miktarlardaki organik madde de akışla taşınmakta, böylece burada da solunum faaliyeti birincil üretime göre daha ağır basmaktadır.

Su canlılarının farklı morfolojik ve fizyolojik stratejileri, mevcut temel besin öğelerine ve farklı nehir kesimlerinde ağırlıklı olan beslenme şartlarına gösterilen uyum olarak anlaşılabilir. Beslenme tiplerine göre canlılar aşağıdaki gibi ayrılabilir:

- “Parçalayıcılar”, düşen yaprak gibi organik maddeleri (> 1 mm) kullanır; mikroorganizmaların destekleyici faaliyetine bağımlıdır.
- “Toplayıcılar”, akıntı hâlindeki sudan küçük (50 – 1 mm) veya çok küçük (0,5 – 50 mm) parçacıkları süzer veya bunları substrattan toplar. Parçalayıcılarda olduğu gibi toplayıcılar da, mikrobik canlılar ve bunların metabolizma ürünlerine bağımlıdır; yem parçacıkları ile birlikte bunları da yerler.
- “Kazıyıcılar”, substrat üzerinde gelişen algleri sıyrarak tüketmede uzmanlaşmıştır.
- “Yırtıcılar”, diğer tipte beslenenleri yerler.

Özel beslenme şartlarına (P/R < 1) uygun olarak hem parçalayıcılar hem de toplayıcılar, üst nehir kesimindeki omurgasız biyosönozu etki altında tutar. Kazıyıcılar çoğunlukla orta kesimlerde (P/R > 1) bulunur. Nehir genişliği artışına ve yem parçacık büyüklüğünün azalışına paralel olarak toplayıcılar, büyük nehirlerin biyosönozlarında önemini korumaktadır. Yırtıcıların oranı nehir boyunca çok az değişmekle beraber, tür bileşimi farklılık göstermektedir. Böylece aşağıdaki sonuca ulaşılabilir:

Üst kesimler: *parçalayıcılar ve toplayıcılar*

Orta kesimler: *kazıyıcılar*

Alt kesimler: *toplayıcılar*

Nehir boyunca balık toplulukları da karakteristik bir dizi göstermektedir. Birkaç türden meydana gelen

üst kesimlerdeki soğuk su balık topluluklarından sonra, tür çeşitliliği çok fazla olan ılık su toplulukları gelmektedir. Üst kesimlerdeki türler ağırlıklı olarak omurgasızlarla beslenirken (invertivor), orta kesimlerdeki balık toplulukları hem invertivor hem de pisivorlardan (diğer balıkları yiyenler) oluşmaktadır. Plankton yiyen (planktivor) türler, büyük nehirlerin alt kesimlerinde yaşamaktadır. Böylece aşağıdaki sonuca ulaşabiliriz:

Üst kesimler: *invertivor balıklar*

Orta kesimler: *invertivor ve pisivor balıklar*

Alt kesimler: *planktivor balıklar*

Bu modelin işlevliliği için temel şart, hayvan topluluklarının sistem dinamiklerine uygun olarak yerel şartlara sorunsuz bir şekilde uyum sağlamaları ve gerekli değişikliği sağlayabilmeleridir. Örneğin her bir tür, yaşam döngüsüne ve mevsim şartlarına göre uygun beslenme alanları ararken özgür olmalıdır. Bu şart, ilgili nehir kesimindeki canlılar için memba ve mansap geçişinin engellenmemiş olmasını gerektirmektedir. Örneğin şevlerde bitki bulunmaması nedeniyle biyolojik enerji akışındaki düzensizlikler veya akarsuyun barajla engellenmesi sonucu ortaya çıkan enerji ve madde akışlarındaki düzensizlikler ile belirli bir ekosistem için tipik olan biyosönozların oluşumundaki düzensizliklerin nehir sisteminin tamamında topluluk oluşturma üzerine olumsuz etkisi vardır. Nehir sürekliliğindeki kesintiler ve dolayısıyla nehirdeki malzeme devridaimindeki kesintiler enerji dengesinde değişiklikler ortaya çıkarır.

### 2.3 Akarsuların biyolojik kuşaklara ayrılması

Nehirlerdeki abiyotik ve biyotik etkenler arasındaki etkileşimlerin bilinmesi; nehir sürekliliği kapsamında tipik biyosönozlara olan habitatlar arasındaki sınırın belirlenmesine, böylece nehrin birbirinden farklı kuşaklara bölünmesine imkân tanır. Kuşaklara ayırma uygulamada birçok faydası görülen bir işlemdir; örnek olarak ekolojik temelli balıkçılık için önemli bir temel sağlar ve bir nehirdeki insan kaynaklı müdahalelerin olumsuz etkisinin açıkça ortaya çıkarılmasına imkân tanır. Balıkçılık amaçları bakımından, farklı nehir kesimleri geleneksel olarak ticari yönden önem arz eden ve belirli bir kesimdeki balık bileşimini karakterize eden belli başlı balık türlerine göre sınıflandırılır. Tecrübeler, üst kesimlerdeki balık topluluklarının ağırlıklı olarak kahverengi alabalık (*Salmo trutta f. fario*) ve gölge balığından (*Thymallus thymallus*) oluştuğunu, orta kesimlerde bıyıklı balığın (*Barbus barbus*), alt kesimlerde ise çapak balığının (*Abramis brama*) yoğun olarak bulunduğunu göstermektedir.

Her bölümde bulunan ‐ilişkili balık türleri‐ ile bu belirteç türler arasında bağlantı kurulabilir. Belirgin bir düzen gösteren balık topluluklarındaki bu dikey ardışıklık (kuşaklara ayırma<sup>#</sup>), Fulda nehrinde Müller (1950) tarafından belirlenmiş olup, tür bileşimde çok az farklılık olmakla birlikte aynı topluluk dizisinin Ren ve Elbe sistemlerinde de mevcut olduğu görülmüştür (Çizelge 2.1):

- **Üst alabalık kuşağında<sup>##</sup>** belirteç tür olan kahverengi alabalıktan (*Salmo trutta f. fario*) başka ‐ilişkili tür‐ olarak bulunan dere lampreyi (*Lampetra planeri*) ve dere iskorpiti (*Cottus gobio*) ile birlikte toplam üç tür yaşamaktadır.
- **Alt alabalık kuşağında** (Şekil 2.6), yukarıda verilen türlere ilaveten taşısiran (*Noemacheilus barbatulus*) ve golyan balığı (*Phoxinus phoxinus*) bulunmaktadır.
- **Gölge balığı kuşağında** (Şekil 2.7), alabalık kuşağındaki bütün türler bulunmakla birlikte, gölge balığı (*Thymallus thymallus*) kahverengi alabalığa göre daha baskın durumdadır. Bunlara ek olarak tatlı su kefali (*Leuciscus cephalus*), kızılöz (*Rutilus rutilus*) ve dere kaya balığı (*Gobio gobio*) gibi başka türler de bulunmaktadır.
- **Bıyıklı balık kuşağında** (Şekil 2.8) üst alabalık kuşağındaki türler bulunabilmekle beraber bunların anaç populasyonları yoktur; bıyıklı balık (*Barbus barbus*), inci balığı (*Alburnus alburnus*), tahta balığı (*Blicca bjoerkna*) ve kababurun (*Chondrostoma nasus*) gibi *Cyprinidae* ailesi balıklarının yanı sıra turna (*Esox lucius*) ve tatlı su lev-

reği (*Perca fluviatilis*) gibi yırtıcılar baskın durumdadır. Bu kuşaktaki tür çeşitliliği gölge balığı kuşağındakine göre dikkat çekici şekilde daha fazladır.

- **Çapak balığı kuşağındaki** (Şekil 2.9) balık sönozunda, gölge balığı ve bıyıklı balık kuşaklarına ait noktalı inci balığı (*Alburnoides bipunctatus*) ve golyan balığı (*Phoxinus phoxinus*) gibi hızlı akıntıları tercih eden ‐ilişkili türler‐ bulunmamaktadır. Akıntının daha güçlü olduğu nehir kesimlerinde sadece yerel olarak bıyıklı balık (*Barbus barbus*) da bulunmaktadır. Bunun yerine, çapak balığı (*Abramis brama*) ile kadife balığı (*Tinca tinca*), sazan (*Cyprinus carpio*) ve kızılkanat (*Scardinius erythrophthalmus*) gibi durgun sulara özgü diğer türler baskın durumdadır.
- Nehir ağzındaki haliç kuşağı, **Trakya levreği-dere pisisi kuşağı** olarak isimlendirilir. Bu kuşak, gelgit olaylarının etkisi altındadır. Dere pisisi (*Platichthys flesus*) ve ringa balığı (*Clupea harengus*) gibi deniz türleriyle birlikte, Trakya levreği (*Gymnocephalus cernua*) gibi durgun su türleri ve çapak balığı kuşağındaki türler de görülebilmektedir.

Nehir biyosönozları, yukarıdaki belirteç balık türleri ve ilişkili türlere göre belirlenir. Kuşaklara ayırma, balıkların yanı sıra su omurgasızlarını da kapsar. Bu nedenle, aşırı kirlenmiş veya insan etkisiyle yoğun bir biçimde değiştirilmiş sularda görülebileceği üzere, belirteç balık türlerinin bulunmadığı durumda bile, ilişkili balık türleri ve omurgasızlara göre balık kuşakları doğru bir biçimde belirlenebilir. Örnek olarak,

<sup>#</sup> Editörün notu

<sup>##</sup> Editörün notu: Huet, 1949'a göre kuşakların adlandırılması



**Şekil 2.6:**  
Felda Nehrindeki (Hesse)  
alabalık kuşağı





**Şekil 2.7:**  
Ilz Nehrindeki (Bavyera)  
gölge balığı kuşağı



**Şekil 2.8:**  
Lahn Nehrindeki (Hesse)  
büyüklü balık kuşağı



**Şekil 2.9:**  
Oder Nehrindeki  
(Brandenburg) çapak  
balığı kuşağı

**Çizelge 2.1:** Ren, Weser ve Elbe nehir sistemlerindeki temel balık kuşaklarında bulunan bazı balık türlerinin dağılımı (Schwevers ve Adam, 1993'ten değiştirilmiş)

	Üst alabalık kuşağı	Alt alabalık kuşağı	Gölge balığı kuşağı	Bıyıklı balık kuşağı	Çapak balığı kuşağı	Trakya levreği-dere pisisi kuşağı
<b>Kahverengi alabalık</b> ( <i>Salmo trutta f. fario</i> ) Dere iscorpiti ( <i>Cottus gobio</i> ) Dere lampreyi ( <i>Lampetra planeri</i> ) Taşısiran ( <i>Noemacheilus barbatulus</i> ) Golyan balığı ( <i>Phoxinus phoxinus</i> ) Dikence balığı ( <i>Gasterosteus aculeatus</i> )	■	■	■	■	■	■
<b>Gölge balığı</b> ( <i>Thymallus thymallus</i> ) Noktalı inci balığı ( <i>Alburnoides bipunctatus</i> ) Gümüşlü balık ( <i>Leuciscus leuciscus</i> ) Dere kaya balığı ( <i>Gobio gobio</i> ) Tatlı su kefali ( <i>Leuciscus cephalus</i> ) Kızılöz ( <i>Rutilus rutilus</i> )			■	■	■	■
<b>Bıyıklı balık</b> ( <i>Barbus barbus</i> ) Kababurun ( <i>Chondrostoma nasus</i> ) İnci balığı ( <i>Alburnus alburnus</i> ) Tahta balığı ( <i>Blicca bjoerkna</i> ) Tatlı su levreği ( <i>Perca fluviatilis</i> ) Turna balığı ( <i>Esox lucius</i> )			■	■	■	■
<b>Çapak balığı</b> ( <i>Abramis brama</i> ) Trakya levreği ( <i>Gymnocephalus cernua</i> ) Orfe ( <i>Leuciscus idus</i> ) Kızılkanat ( <i>Scardinius erythrophthalmus</i> ) Sazan ( <i>Cyprinus carpio</i> ) Kadife balığı ( <i>Tinca tinca</i> )				■	■	■
<b>Anadrom türler</b> Denizalası ( <i>Salmo trutta f. trutta</i> ) Somon ( <i>Salmo salar</i> ) Nehir lampreyi ( <i>Lampetra fluviatilis</i> ) Deniz lampreyi ( <i>Petromyzon marinus</i> ) Tirsi ( <i>Alosa alosa</i> ) Dişli tirsi ( <i>Alosa fallax</i> ) Mersin balığı ( <i>Acipenser sturio</i> )		■	■	■	■	■
<b>Katadrom türler</b> Yılan balığı ( <i>Anguilla anguilla</i> ) Dere pisisi ( <i>Platichthys flesus</i> )			■	■	■	■
■ Üreyen populasyonların birincil dağılım alanı ■ Üreyen populasyonların ikincil dağılım alanı						

**Çizelge 2.2:** Nehir kuşakları (Illies, 1961)

dere	üst kesimler orta kesimler alt kesimler	üst alabalık kuşağı alt alabalık kuşağı gölge balığı kuşağı	epiritron metaritrton hiporitron
nehir	üst kesimler orta kesimler alt kesimler	bıyıklı balık kuşağı çapak balığı kuşağı Trakya levreği-dere pisisi kuşağı	epipotamon metapotamon hipopotamon

yüksek oranda bulunan isopodlar (tespih böcekleri), diptera larvaları (sinekler) ve hirudinidler (sülükler); populasyon yoğunluğu az olan kumpiresi (amfipodlar), evcikli böcek (trichoptera) ve belirli plecoptera türlerinin (taş sineği) bulunmaması ile karakterize edilen bıyıklı balık kuşağı, gölge balığı kuşağından tam olarak ayrılabilir (Illies, 1958).

Bu gerçeği vurgulamak amacıyla Illies (1961), akarsular için belirteç balık türleri temel alınarak yapılan kuşaklara ayırma yerine geçecek, uluslararası düzeyde genel kabul gören bir adlandırma ortaya koymuştur. Araştırmacı öncelikle akarsuları, dereler (ritron) ve nehirler (potamon) olmak üzere başlıca iki sınıfa, sonra da bunların her birini üç alt bölüme ayırmıştır. Orta Avrupa'daki sular için Illies'in adlandırması ile belirteç balık kuşaklarına göre yapılan sınıflandırma aynıdır (Çizelge 2.2).

Illies (1961), Orta Avrupa'daki akarsular için tipik olan Fulda nehrindeki biyosönoz dizisinin, Peru ve Güney Afrika'daki suların yanı sıra Amazon havzasında da mevcut olduğunu göstermiştir. Bileşen türlerin farklı oluşu, elbette şaşırtıcı değildir. Bununla birlikte, bu sularda bulunan yerli belirteç ve ilişkili türlerde, akıntılı ortamda hayatta kalabilmek için Orta Avrupa nehirlerinde yaşayan benzer türlerle aynı stratejilerin mevcut olduğu görülmüştür. Yine bu türler, Avrupa'daki balıklarla aynı beslenme alışkanlıkları göstermekte ve bu sebeple benzer ekolojik nişlerde bulunmaktadır. Bütün bunlar değerlendirildiğinde, Nehir Sürekliliği modelinin, dolayısıyla

nehirleri biyolojik kuşaklara ayırmanın prensipte dünya çapında geçerliliği olan bir kavram olduğu sonucuna varılabilir.

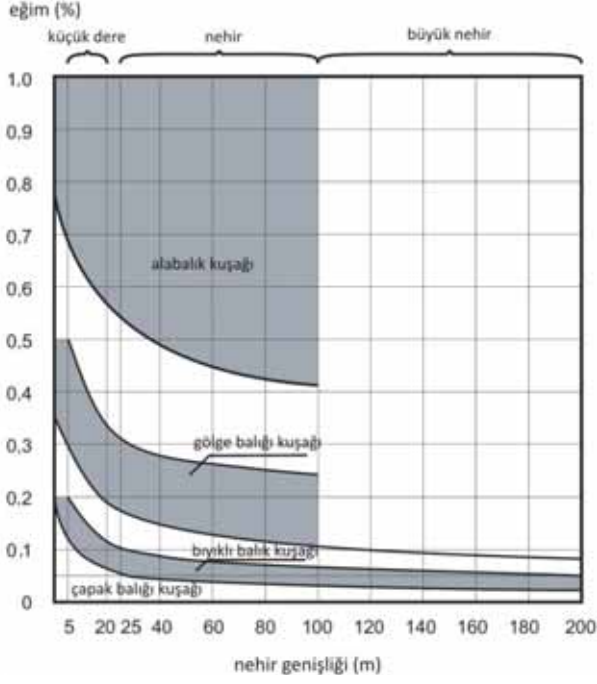
Huet (1949), ağırlıklı olarak Fransa olmak üzere, Belçika, Lüksemburg ve Almanya'daki farklı nehirlerde yürüttüğü ve fizikokimyasal parametreler ile balık dağılımını incelediği sistematik araştırmalarında, nehir kuşaklarının oluşumunda ana etkenin akıntılar olduğunu ortaya koymuştur. Araştırmacı, akıntı ölçüsü olarak hem eğimden hem de nehir genişliklerinden (debiyi yaklaşık olarak tahmin etmek için) yararlanmıştır. Bu iki parametre ile nehir kuşakları arasındaki ilişki Çizelge 2.3'te verilmiştir. Bu çizelgede Weser ve Ren nehir sistemlerinden elde edilen tecrübeler ışığında epiritron ve metaritrton arasındaki fark ortaya konularak araştırmacının verilerindeki eksiklikler tamamlanmıştır. Şekil 2.10'da eğim ve nehir genişliği temel alınarak nehir kuşaklarının sınıflandırılmasına ilişkin basit bir yöntem sunulmuştur. Bu sınıflandırma hem Orta Avrupa'daki ılıman iklimler hem de Almanya'daki bütün nehir sistemleri için geçerlidir (Huet, 1949).

#### 2.4 Potansiyel doğal tür bileşimi

Avrupa'daki tatlı su balık türleri ayrıntılı olarak incelendiğinde, günümüzde bazı balık türlerinin pek çok nehirde uygun habitat bulamadığı açıkça görülmektedir. Almanya'da var olduğu kabul edilen toplam 70 yerli balık türünden 51'i, Almanya Federal Cumhuriyeti'ne ait Nesli Tükenmiş veya Tehlikedeki Türler Kırmızı Listesi'ndedir (Bless vd., 1994).

**Çizelge 2.3:** Nehir kuşaklarının eğime göre sınıflandırılması (Huet, 1949'dan değiştirilmiş)

	Nehir genişliklerine göre eğim [%]				
	< 1 m	1 – 5 m	5 – 25 m	25 – 100 m	> 100 m
epiritron	10,00 – 1,65	5,00 – 1,50	2,00 – 1,45		
metaritrton	1,65 – 1,25	1,50 – 0,75	1,45 – 0,60	1,250 – 0,450	
hiporitron		0,75 – 0,30	0,60 – 0,20	0,450 – 0,125	– 0,075
epipotamon		0,30 – 0,10	0,20 – 0,05	0,125 – 0,033	0,075 – 0,025
metapotamon		0,10 – 0,00	0,05 – 0,00	0,033 – 0,000	0,025 – 0,000
hipopotamon	Gelgit etkisi altında kalan halic alanları				



**Şekil 2.10:** Belirteç balık kuşaklarının belirlenmesi amacıyla eğim, nehir genişliği ve nehir kuşakları arasındaki ilişkinin grafikte gösterilişi (Huet, 1959'dan değiştirilmiş). Ana kuşaklar gri renkli olup, gri alanlar arasındaki kuşaklar geçiş kuşaklarıdır. Nehirlerde bu geçişler kademelidir.

Su kalitesindeki iyileştirmeler ve sucul biyotopların ekolojik niteliğinin artırılmasına ilişkin yoğun çabalar sonucu, kaybettiği habitatında yeniden topluluk oluşturabilen balık tür sayısında artış görülmektedir.

Son zamanlarda, yıllardır görülmeyen göçmen türlerin çeşitli nehir sistemlerine dönüşüne ilişkin çok sayıda rapor bulunmaktadır. Nesli ciddi tehlike altında olan türlerin stoklarında sürekli bir biçimde olumlu gelişmelerin kaydedildiğine ilişkin varsayım, denizalası (*Salmo trutta f. trutta*), dere pisi (*Platichthys flesus*) ve deniz lampreyi (*Lampetra fluviatilis*) popülasyonlarındaki istikrarlı artışla doğrulanmaktadır. Ayrıca Sieg nehrinde, denize yumurta bırakan deniz lampreylerinin (*Petromyzon marinus*) yaşadığı, Ren nehrinin Hollanda sınırlarında kalan haliç bölgesinde ise mersin balıklarının (*Acipenser sturio*) yakalandığı bildirilmiştir (Volz ve De Groot, 1992). Böylece, su canlıları yönünden verimsiz sulara, "ekolojik olarak bulunması istenen" balık türlerinin yeniden topluluk oluşturma hedefinin gerçekleşmekte olduğu söylenebilir.

Su yönetimi ve su mühendisliği uygulamalarının planlama safhasında çevresel hususlara yeterince önem

verilmesi için, hâlihazırda mevcut olan ve makul bir sürede belirli bir nehir kesiminde potansiyel olarak topluluk oluşturabilecek türlerin dikkate alınması zorunludur. Böyle bir planlama sürecini kolaylaştırmak amacıyla belirli bir ihtiyosözündeki "potansiyel doğal balık tür bileşimi" kavramından faydalanılabilir. Bu kavrama, belirli bir nehir kesimine özgü yerli balık türleri ile orada yaşayan ya da öngörülebilir yakın bir gelecekte uygun bir habitat bulabilecek bütün türler dâhildir. Uygun habitatların yeniden tesisi; su kalitesindeki iyileştirmeler, nehrin yapısal ıslahı ve nehir sisteminin dikey bağlanabilirliğinin yeniden sağlanması ile başarılabılır.

Potansiyel doğal balık tür bileşimi belirlenirken çeşitli hususlar dikkate alınmalıdır. Potansiyel doğal balık faunasının tam olarak belirlenmesi bir nehrin ekolojik bakımdan doğru bir biçimde değerlendirilmesi için ön şart olduğundan, balıkçılık uzmanları bu çalışmaları genel olarak aşağıdaki ölçütlere göre yapmalıdır:

- **Nehrin kuşaklara ayrılması:** Potansiyel doğal balık tür bileşimini belirlemede birinci kural, nehir kuşağının (bkz. Bölüm 2.3) tam olarak tanımlanmasıdır. Potansiyel doğal tür çeşitliliğine ilişkin ilk tahmin, seçilen kuşağa özgü belirteç ve ilişkili balık türleri belirlenerek yapılabilir.
- **Biyocoğrafik konular:** Herhangi bir nehirdeki potansiyel doğal balık faunasında yer alan türler tayin edilirken, nehir havzasındaki balık topluluklarının, bölge karakteristiklerine ve nehrin belirgin özelliklerine göre şekillenen tür bileşimi dikkate alınmalıdır. Örneğin, Orta Avrupa nehir sistemlerinde (Loire'dan Vistula'ya kadar) kababurun (*Chondrostoma nasus*) bulunurken, bu tür Schleswig-Holstein'deki nehirler ile Weser ve Elbe sistemlerinde hiç görülmemektedir. Diğer taraftan, *huchen* (*Hucho hucho*) (Şekil 2.15) ile küçük çene (*Aspro streber*) ve çizgili Trakya levreği (*Acerina schraetzer*) gibi Percidae ailesine mensup bazı türlerin yayılımı sadece Tuna nehir sistemiyle sınırlıdır.
- **Topografik özellikler:** Sucul biyosönozlar, potansiyel doğal balık faunası belirlenirken dikkate alınması gereken belirli topografik şartları yansıtır. Örnek olarak, göllere boşalan veya göllerden çıkan nehirlerde belirteç balık kuşakları tanımlanamamaktadır; bunun sebebi, bu şartlar altında nehrin akıntılı olmayan bölgelerinde yaşayan durgun su balık türleri ile göl ayaklarındaki bölgelerde bulunan nehir türlerinin oluşturduğu karışık biyosönozlardır.



- **Habitatlarının kalitesi:** Nehir morfolojisi üzerinde insan eliyle yapılan yoğun müdahale ve değişiklikler sebebiyle, potansiyel doğal tür çeşitliliğinde azalma veya artış olabilmektedir. Örnek olarak, Moselle ve Main gibi bıyıklı balık kuşağına sahip birçok nehirde neredeyse akarsuyun tamamı, bir dizi barajla kesilmiştir. Aynı şekilde, bıyıklı balık ve gölge balığı kuşağına sahip yan kollarda yatay göç imkânının ortadan kalkması durumunda, akıntılı ortamda bulunan türlerin habitatları, bu türlerin yakın bir gelecekte yeniden topluluk oluşturmalarını zorlaştıracak ölçüde tahrip olmaktadır. Diğer taraftan, sazan gibi durgun suda yaşayan ve yerli olmayan türler, barajla engellenen nehirlerde genellikle uygun yumurtlama şartları bulabilmekte ve bu sulara neslini devam ettiren kalıcı populasyonlar oluşturabilmektedir.
- **Tarihi kayıtlar:** Potansiyel doğal balık faunasına ilişkin bilgiler, genellikle tarihi kaynaklardan (Siebold, 1863; Wittmack, 1876; Leuthner, 1877; Borne, 1883 vd.) veya geçmişteki avcılık verilerinin analiziyle elde edilmektedir. Kinzelbach (1987) tarafından Ren sisteminde mersin balığının geçmişteki dağılım alanının yeniden oluşturulması için yapılan çalışma veya eski balık koleksiyonlarının ayrıntılı bir şekilde incelendiği, Main Nehrinin özgün balık faunasına ilişkin Klausewitz (1974a, 1974b, 1975) tarafından yapılan araştırmalar, bu analizlere örnek olarak verilebilir. Ekolojik önemi olmasına rağmen, acı balık (*Rhodeus sericeus amarus*), taşıyıcı (*Misgurnus fossilis*) ve *Leucaspis delineatus* gibi kayıtlarda nadiren bulunan küçük balıkların yanı sıra, kayıtlarda genellikle avcılığı en çok yapılan türlerin yukarıda isimleri verilen balıklar olmasından dolayı, bu tür tarihi kayıtlar yorumlanırken özellikle dikkatli olunmalıdır. Ayrıca, ülkenin farklı bölgelerinde standart bir Almanca adlandırmanın olmaması ve farklı türler için aynı ismin kullanılması, tarihi kaynakların yorumlanmasında ciddi sıkıntılara yol açmaktadır. Örneğin, farklı bölgelerdeki farklı balık türleri için "Schneider" [kesici] ve "Weißfisch" [akbalık] gibi Almanca kelimeler kullanılmıştır.

## 2.5 Su canlılarının göç davranışı

Balıkların, biyotopun yapısına göre çeşitli ihtiyaçlarını karşılamak amacıyla farklı yaşam dönemlerinde göç etmesi gerekir. Hem balıklar hem de daha az hareketli olan dip omurgasızları göç eder (Şekil 2.11). Göçler, ana akarsu yatağında dikey veya ana yatakta

ve yan kollarda yatay yönde olur. Yatağı boyunca birkaç kez göl biçimini almış nehirlerin bulunduğu yerlerde (özellikle Kuzey Almanya'nın düzlük kesimi), su canlılarının göç ve habitat ihtiyaçlarını karşılamak amacıyla göç edebilmesi için bu farklı ekosistemlerin birbiriyle bağlantılı olması gerekir. Bu sebeple, populasyonların yayılması ve birey sayısı azalmış nehir kesimlerinde yeniden topluluk oluşumunun yanı sıra, özellikle genetik alışveriş (nesil sürekliliği) bakımından nehirlerin dikey bağlanabilirliğinin son derece önemli bir işlevi vardır.

### Dengeleme amaçlı memba göçü

Sürüklenme sonucu ortaya çıkan habitat kayıpları, memba göçleri ile etkin bir şekilde telafi edilir.

### Farklı habitatlar arasındaki göç

Bazı balık türleri, beslenme ve dinlenme alanları arasında yıl içinde birkaç kez göç eder veya yaşam döngüsünün farklı evrelerindeki ihtiyaçlarını karşılayan belirli özelliklere sahip farklı nehir bölümlerine yerleşir. Bu duruma en güzel örnek, dere iskorpitinin (*Cottus gobio*; Şekil 2.12) yaşam döngüsüdür (Bless, 1982). Geceleri aktif olan dere iskorpiti, gündüz kapalı alanda bulunur. Bu sebeple, substratta kendi büyüklüğüne uygun oyuklar arar. Ergin balıklar hızlı akıntılı ve kaba taneli substrata sahip nehir kesimlerini tercih ederken, büyüme dönemindeki genç balık-



**Şekil 2.11:** Dölln nehrindeki (Brandenburg) balık geçidinde bulunan şayak sineği (*Anabolia nervosa*) larvaları



**Şekil 2.12:**  
Dere iskorpiti  
(*Cottus gobio*)



**Şekil 2.13:**  
Kababurun  
(*Chondrostoma nasus*)



**Şekil 2.14:**  
Somon (*Salmo salar*)

lar, akıntının yavaş olduğu ve substratı ince taneli olan yerlerde en uygun habitata bulur. Özellikle insan faaliyetlerinin etkisindeki sularda, bu farklı substrat şartları birbirine çok yakın değildir; bu sebeple yaşam döngüsünün farklı evrelerinde habitatlar arasında gerçekleştirilen göçler çok uzun mesafelerin kat edilmesini gerektirir. Kababurun (*Chondrostoma nasus*) (Şekil 2.13) ve bıyıklı balık (*Barbus barbus*) için 300 km'ye varan bir hareket alanı olduğu ispatlanmıştır (Steinmann, 1937).

Yaz mevsiminin sona ermesinden sonra bazı balık türleri kışlık habitatlarına gider. Bu alanlar, genellikle nehirlerin aşağı kesimlerinde bulunan, akıntıların daha yavaş olduğu derin yerlerdir. Balıklar burada metabolizmalarını yavaşlatıp, kışı geçirmek üzere nehrin tabanına doğru hareket eder.

### Yumurtlama göçü

Yumurtlama göçleri, bir türün hareket alanının farklı bölümleri arasında gerçekleştirilen özel bir göç türüdür. Bu göçler, nehir sisteminde yaşayan tamamı yerli balık türleri tarafından gerçekleştirilir. En iyi bilinen örnekler, bıyıklı balık (*Barbus barbus*) ve kahverengi alabalıktır (*Salmo trutta f. fario*). Yumurtlama göçleri aşılama engelleyen engellenirse, balıklar yumurtalarını nehrin şartları daha az elverişli olan bölümlerine bırakabilir (acil durum yumurtlaması). Bu durum, stoka katılma oranında azalma veya üremenin tamamen aksaması ve ardından türün habitatından tamamen kaybolması ile neticelenir.

### Diadrom göç davranışı

Diadrom göçmen balık türlerinin yaşam döngüsünde, deniz ve tatlı su ekosistemleri arasında gerçekleştirilen zorunlu bir hareket evresi yer almaktadır. Bu tür diadrom göçmen balıkların biyolojik ihtiyaçları temel alındığında nehir sisteminde engelsiz geçiş olması gerektiği daha iyi anlaşılabilir. Göç yolları üzerindeki kesilmeler kaçınılmaz bir şekilde türlerin neslinin tükenmesine yol açar. Göçmen balıklar göç yönüne göre iki gruba ayrılabilir:

- Katadrom türler [örneğin, yılan balığı (*Anguilla anguilla*)]; erginleri açık denizlerde üremek için mansaba göç eder. Yılan balıklarının üremesi sadece Saragosa Denizi'nde olur; söğüt yaprağı biçimli larvalar (leptocephali) denizdeki akıntılarla kıyılara doğru pasif olarak sürüklenir. Başkalaşımı takiben, henüz renksiz durumdaki genç balıklar ("cam yılan balıkları") cinsel olgunluğa kadar gelişimlerini sürdürecekleri membaya doğru göç eder (Şekil 2.16).

- Anadrom türler [örneğin, somon (*Salmo salar*) (Şekil 2.14), denizalası (*Salmo trutta f. trutta*), mersin balığı (*Acipenser sturio*), tirsi (*Alosa alosa*), deniz lampreyi (*Petromyzon marinus*) ve nehir lampreyi (*Lampetra fluviatilis*)], cinsel olgunluğa ulaştığında nehrin üst kesimlerine yumurta bırakmak amacıyla denizden nehre doğru göç eder. Tam tersine genç balıklar, belirli bir süre geçirdikten sonra nehirlerden, cinsel olgunluk zamanına kadar büyümelerini sürdürecekleri denizlere göç eder (Şekil 2.17).

### Populasyonlar arasındaki değişim

Birbirine komşu nehir kesimlerinde görülen farklı populasyon yoğunluklarının dengelenmesi, memba veya mansap göçleri ile gerçekleşir; böylece populasyonlar arasında genetik alışveriş olur.

### Mansap göçleri

Mansap göçleri, yılan balıklarının yumurtlama göçlerini tamamlayıcı önemli bir temel biyolojik işleve sahiptir; aynı durum somon ve denizalası smoltları için de geçerlidir. Örneğin, şiddetli taşkınlar veya kirletici madde deşarjları gibi çevre felaketleri ortaya çıktığında özellikle dip omurgasızları mansaba doğru sürüklenir ("katastrofik sürüklenme" olarak adlandırılır). Göçlerin aktif (kaçış şeklinde) veya pasif oluşundan bağımsız olarak, her durumda su canlıları yeterli bir serbest dikey bağlanabilirlik şartına bağlıdır.

### Çoğalma

Su canlılarının hareket kabiliyeti, su kütlelerinin ve akarsuların tamamında ya da verimsiz veya bir felaket sonucunda canlı nüfusunda azalma olan bölümlerinde yeniden topluluk oluşturulmasında önemli rol oynar. Bu sayede, Sandoz Şirketi'nin geçirdiği kazadan kısa bir süre sonra Ren nehrinin verimsiz kesimlerinde yeniden topluluk olduğu görülmüştür (Müller ve Meng, 1990); böylece kazadan sadece iki yıl sonra balık populasyonları eski hâline dönmüş ve çevre hasarının izleri ortadan kalkmıştır (Lelek ve Köhler, 1990). Bu yenilenmenin, özellikle yan kollarından Ren Nehri'ne göçlerle olduğu düşünülmektedir.

Najadae ailesine mensup büyük tatlı su midyelerinin en belirgin özelliği, larva döneminde (glochidium larvası) su içerisinde bir taraftan dağılırken diğer taraftan çoğalmasındır. Bu larvalar, yerli balıkların solungaç epiteli veya yüzgeçlerinde parazitik yaşar, sedimente yerleşip, cinsel olgunluğa ulaşmış midyeye dönüşmeden önce su sisteminde uzun mesafeler boyunca konakçıları tarafından taşınır.

## 2.6 Baraj ve bentlerin sucul faunaya zararları

Almanya'daki yerli balık faunası, pek çok türün stoklarında önemli azalmalara sebep olan birçok tehditle karşı karşıyadır. Yerli türlere yönelik tehlikelerin başlıca sebepleri, sucul biyotoplara insan eliyle yapılan aşağıdaki müdahalelerdir:

- Eysel ve sanayi kökenli atıksu deşarjlarının yanı sıra tarımsal faaliyetten kaynaklanan atıklar (gübre, pestisit ve erozyon) ve atmosfer emisyonları (SO<sub>2</sub>, asit yağmuru vb.) ile suların kirlenmesi,
- Akarsu yatağında habitatlarının tahribine ve ekolojik bozunmaya sebep olan değişiklikler,
- Dikey bağlanabilirliğin aşılabilir engellerle kesilmesi,
- Avcılık faaliyetlerinin balık stokları üzerindeki etkileri.

Bless vd. (1994) bu müdahaleler sonucu Almanya'daki tatlı sularda yaşanan 70 yerli balık türünden;

4'ünün neslinin tükendiğini veya kaybolduğunu,

9'unun neslinin tehdit altında olduğunu,

21'inin kritik seviyede tehlikede olduğunu,

17'sinin tehlikede olduğunu tespit etmiştir.

Nesli tükenen, kaybolan veya tükenme tehditi altında olan bu balık türlerinin % 82'si, göçmen türler veya yumurtlama için temiz çakıllı alana ihtiyaç duyan, sadece hızlı akıntılı biyotoplarda yaşayabilen ve oksijen ihtiyacı fazla olan türlerdir (Bless vd., 1994). Bu nedenle, bu türlere yönelik en önemli tehditlerden biri nehirlerin barajla kesilmesidir. Bu populas-

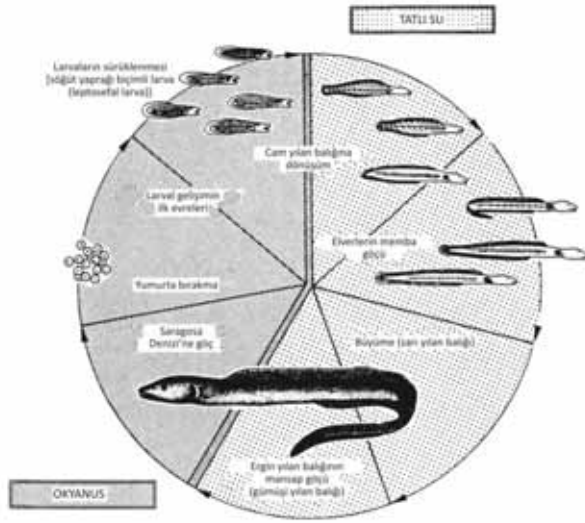
yonların neslinin sona ermesine, engeller sonucu serbest geçişin kesilmesi ile baraj ve bentlerin arkasında yapay olarak bir su kütesinin oluşumu sebep olmuştur. Kuşkusuz bu engeller, rezervuarın büyüklüğüne bağlı olarak nehrin hidrolik ve morfolojik özelliklerini belirli bir ölçüde değiştirmektedir. Sucul biyosönelara yönelik diğer tehditler aşağıda verilmiştir (LWA, 1992):

- Baraj ve bentlerin arkasında oluşan yapay su kütesinin en kesitinin fazla olması, su hızını ve akımın değişkenliğini önemli ölçüde azaltır.
- Yapay su kütesinin tabanında kaba malzemeden oluşan substratın ince taneli sedimentle kaplanması sonucu, farklı tane büyüklüklerinden oluşan özgün yapı değişmektedir. Sedimentin akıntılarla yeniden düzenlenememesi sebebiyle pek çok su canlısı, hiporeik ara habitatını yitirmektedir.
- Substrattaki malzemeler arasındaki boşluklarda su akışı ve dolayısıyla oksijen miktarı azalır. Dibe çöken organik madde aneorobik olarak parçalanmaya başlar; sonuçta özellikle ötrof sularda sapropel (çürümüş çamur) oluşur.
- Yapay su kütesinde akış hızının azalması ve su alıkonma süresinin uzaması sonucu su sıcaklığı artar.
- Suyun oksijen bağlama kapasitesinin ısınma sebebiyle düşmesi ve sudaki türbülansın azalmasıyla hava-su arayüzündeki atmosferik oksijen alımının eksilmesi sonucu, yapay su kütesinde oksijen yetersizliği ortaya çıkabilir.

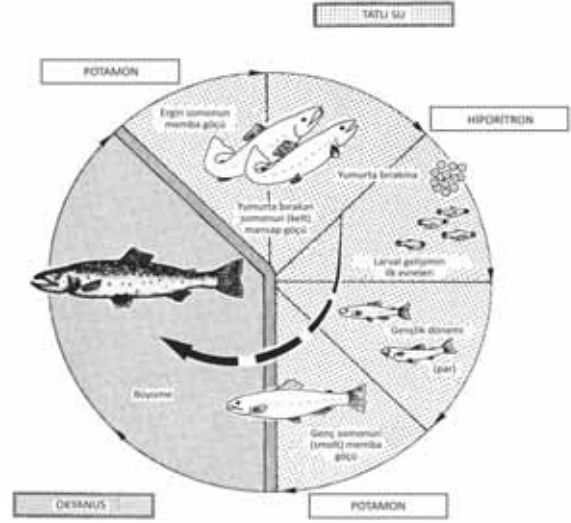


Şekil 2.15:  
Huchen (Hucho hucho)





Şekil 2.16: Katadrom göçmen balıkların yaşam döngüsüne örnek: yılan balığı (*Anguilla anguilla*)



Şekil 2.17: Anadrom göçmen balıkların yaşam döngüsüne örnek: somon (*Salmo salar*)

- Suya giren besin miktarının artışı ile birlikte yapay su kütlesindeki akıntının yavaşlaması sıklıkla su bitkilerinin gelişmesine yol açar; sonuçta alg patlaması veya aşırı miktarda yabancı ot gelişimi görülür. Bitki biyokütlesinin fazlalığı sonucu oluşan fotosentez ürünleri pH'da önemli artışlara sebep olabilir; böylece özellikle güneş ışığının yoğun olduğu yerlerde balık ölümleri yaşanabilir. Ayrıca, sonbaharda su bitkilerinin topluca çürümesi sonucu, oksijen eksikliği veya yokluğu sebebiyle balık ölümleri de görülebilir.
- Su derinliği arttıkça ışığın nehrin derin kesimlerine ulaşması da önemli ölçüde azalır; sonuçta perifitik alglerin gelişimi yavaşlar.
- Nehir sürekliliği kavramında açıklandığı üzere, organik maddenin sedimantasyonundaki artış nedeniyle enerji akışı kesintiye uğrar. Bu durum, nehirlerdeki metabolik süreçlerin bozulmasına yol açar.

Nehir habitatlarına baraj inşası ve yapay su kütlesi oluşumunun yol açtığı bu değişikliklerin biyosönozlar üzerinde kalıcı etkileri vardır:

- Özellikle büyük yapay su kütlelerinde akıntılı ortamda yaşayan (reofilik) türler ve oksijen ihtiyacı fazla olan canlılar habitatlarını yitirebilir.
- Yumurta bırakmak için temiz çakıl alana gerek duyan türler uygun yumurtlama alanı bulamaz; tabanda yaşayan balıklarla ara boşluklardaki canlıların sığınma yerleri bozulur.

- Omurgasızlardan otlayıcılar veya balıklardan kaburun (*Chondrostoma nasus*) gibi, perifitik alglerle beslenen türler beslenme alanını kaybeder.
- Omurgasız çeşitliliğinin azalması ve/veya değişmesi sebebiyle balıkların yem miktarı azalır.
- Habitatların önemli bölümlerinin ortadan kalkması, balık popülasyonlarındaki yaş dağılımının bozulmasına yol açar; bu da türleri tehlikeye sokar.
- Biyosönozlar, değişen abiyotik şartlara kolayca uyum sağlayan türler bakımından fakirleşir.

Enerji santraline yan geçitle su alınması sebebiyle, baraj seddelerinin mansabındaki kuruyan akarsu yatağı (doğal ana akarsu yatağı<sup>#</sup>) su canlıları için başka bir sorun daha oluşturmaktadır. Yan geçitli enerji santrallerinde kullanılan su genellikle belirli bir mesafeden sonra mansapta yatağa bırakıldığından, doğal akarsu yatağında çok az miktarda su kalmakta ya da yatak uzunca bir süre tamamen kuru kalabilmektedir. Müdahale edilmemiş nehir kesimleriyle kıyaslandığında tamamen kuruyan bu bölümler, aşağıdaki tehditler sebebiyle biyosönozları fakirleştirmektedir:

- Aşırı şekilde azalan akış rejimi, akıntı değişkenliğini asgari düzeye indirir; sonuçta sadece nehir yatağının tabanı ıslak kalır ve içerisinde durgun su bulunan gölcükler oluşur (tuzak etkisi olarak adlandırılır). Bu değişimden sonra nehre özgü sucul türler kendilerine uygun habitat bulamaz.

<sup>#</sup> Editörün notu

- Etki altında bulunan nehir kesimindeki su (doğal ana nehir yatağı<sup>#</sup>) yaz mevsiminde aşırı ısınır; bu durum, nehir kesiminin tamamen kurumasına ve neticede canlılarda su kaybı tehlikesine yol açar.
- Kışın tabandaki buz oluşumu (taban buzu) canlı ölümüne sebep olabilir.
- Akıntı olmadığından, normalde nehirler için belirleyici olan diğer fizikokimyasal parametreler de değişebilir. Bu durum, alg patlaması ve oksijen tüketiminin artışı gibi başka değişikliklere yol açabilir.

- Hidroelektrik santralde azami türbin debi kapasitesi aşıldığında (nehirde türbinlerden geçebilecek miktardan fazla su olduğunda), neredeyse tamamen kuru hâldeki doğal nehir yatağına bu suyun bir anda verilmesi su canlılarının sürüklenmesine yol açabilir.

Bir barajın mansabındaki bozulmuş nehir yatağına ilişkin asgari akış ihtiyacının belirlenmesi bu sorunların çözümüne yardımcı olur (DVWK, 1995). Bu kitapta ayrıntıları verilmemekle birlikte, asgari akışın belirlenmesiyle ilgili bölgesel farklılık gösteren yaklaşım ve süreçler bulunmaktadır.

---

<sup>#</sup> Editörün notu

### 3 Balık geçitleri ile ilgili genel kurallar

Dikey bağlanabilirlik, sucul türlerin farklı göç ihtiyaçlarını ekolojik yönden karşılamak için çok önemlidir (Bölüm 2.5). Bu konu, içerisinde yerli göçmen türlerin bulunduğu bütün sular için temel kuraldır. Bir nehir sisteminin dikey ve yatay bağlanabilirliğini yeniden sağlarken, akarsu ana yatağı ile barajın arkasında biriken su kütlesi ve malzeme alındıktan sonra oluşan su kütleleri (örneğin, su ile dolan taş ocakları, kum ve çakıl alınan alanlar, turba çıkarılan yerler) gibi ikincil biyotoplar arasında bağlantı kurulması ekolojik olarak gerekli bir uygulamadır. Akarsu büyüklüğü, akarsu yatağındaki yapısal değişikliğin derecesi, su kalitesi veya mevcut kullanıcıların taleplerine bakılmaksızın

dikey bağlanabilirliğin korunması veya yeniden sağlanması gerekir. Bir su kütlesinin kirlilik durumunun ve kullanım şeklinin çok kısa sürede değişebileceğine ve kişilerin menfaatlerinin geri plana itilebileceğine ilişkin çeşitli örnekler bulunmaktadır. Bu nedenle, dikey bağlanabilirliğin yeniden temini, mevcut şartların su canlılarının topluluk oluşturmaya sınırlı ölçüde imkân tanıdığı nehir kesimlerinde bile önemlidir. Bu çerçevede, nehir sistemleri arasındaki bağlantının sağlanması ile ilgili genel düşüncenin ayrıntıları, daha akılcı nehir yönetimine katkı sağlayacaktır. Etki azaltma tedbirlerinin her biri, dikey bağlanabilirliğin yeniden tesisine ilişkin ekolojik temelli genel yaklaşıma etkin bir şekilde uyarlanabilir (Schwevers ve Adam, 1991).

Nehirlerdeki dikey serbest geçiş, su canlılarının aşmadığı, sonradan oluşturulan dik düşüler (Şekil 3.1),



**Şekil 3.1:**

Çok yüksek olmamasına karşın, buradakine benzer dik düşüler, küçük balıkların göç yolları üzerinde aşılabilir engeller oluşturabilir. Gardelegen'deki (Saxony-Anhalt) Lauge deresi.



**Şekil 3.2:**

Döküldüğü derenin tabanını aşındırıcı su jeti oluşturan menfezler, su canlılarının göçleri önünde aşılabilir bir engeldir. Stöbber'deki (Brandenburg) Pritzhagener su değirmeni.

bentler veya barajlarla engellenebilir ya da imkânsız hâle gelebilir. Bu yapıların dışında, menfezler (Şekil 3.2) veya yatağın betonla kaplanması sonucu değişikliğe uğramış nehir kesimleri, taşla kaplanmış nehir tabanları veya prefabrik beton kanaletler de göç yolundaki engellerdir. Balık geçidi inşası, nehirde engelsiz geçişin sağlanması için genellikle “en iyi ikinci çözüm” olduğundan, bir balık geçidi planlamadan önce nehirdeki mevcut engele ihtiyaç olup olmadığına karar vermek ilk adım olmalıdır. Özellikle küçük nehirlerde, hâlihazırda ilk inşa amacına hizmet etmeyen ve su canlıların göç etmesine engel olan su değirmeni ve ıslah sekisi gibi çok sayıda bent ve baraj bulunmaktadır. Dikey bağlanabilirliğin yeniden tesisine çalışılırken, balık geçidi inşası yerine bu tür engellerin kaldırılması tercih edilmelidir. Yüksek kotlarda depolanmış su ile kıymetli sulak alanların korunması gibi diğer ekolojik ihtiyaçlar veya bölgesel düzeydeki sosyokültürel ihtiyaçlarla ilgili bir ihtilaf söz konusu olduğunda bu kurala uyulmayabilir.

Burada verilen temel ilkeler, bir nehirdeki balık yollarının en uygun konumu ve tasarım ölçütleri gibi temel özelliklerle ilgilidir. Bu özellikler, bütün balık geçidi tipleri için geçerlidir. Balık geçitlerinin karşılanması gereken genel ölçütler, balık yollarının planlanmasındaki önemli konular olan göç eden su canlılarının biyolojik ihtiyaçları ve davranışlarından oluşmaktadır. Bununla birlikte, bu tür canlıların göçlerini başlatan veya etkileyen biyolojik mekanizmalarla ilgili günümüzdeki bilgilerde eksiklikler bulunduğu ve balık geçidi inşasına ilişkin ayrıntılı çalışmalara çok fazla ihtiyaç duyulduğuna dikkat edilmelidir.

Balık geçitleriyle ilgili genel standartlar; yeni bir barajın inşası planlanırken, mevcut bir balık geçidi değerlendirilirken ya da mevcut baraja balık geçidi uyarlanırken dikkate alınması gereken birbirinden farklı hususlardan meydana gelmektedir. Bu kuralların, ekonomik değerlendirmelere göre önceliğinin olması gerekir. Yerel şartlara bağlı olarak, bir barajda bütün türlerin geçişine imkân tanımak için birden fazla balık geçidi inşa etmek gerekebilir. Her barajın, kendi yapısından ve nehirle oluşturduğu bütünlükten kaynaklanan belirli özellikleri olduğundan, bu kitapta her bir tesise ilişkin özel çözümler yerine genel ifadeler kullanılmıştır.

### 3.1 En uygun balık geçidi konumu

Üzerine baraj inşa edilmemiş nehirlerde akarsu yatak genişliğinin tamamı su canlılarının göçü için kullanılabilirken, bentler ve barajlardaki balık geçitleri genellikle göç eden canlıları yatak en kesitinin dar bir bölümüne sıkıştırmaktadır. Balık geçitleri çoğunlukla küçük yapılar olduğundan, özellikle ırmaklar ve büyük nehirlerle karşılaştırıldığında iğne deliği büyüklüğünde kalmaktadır (Şekil 3.3). Özellikle büyük nehirlerdeki uygulamalarda balık geçidinin boyutları, mühendislik, hidrolik ve ekonomik kısıtlarla önemli ölçüde sınırlandırılmaktadır. Bu sebeple, barajdaki balık geçidinin konumu çok önemlidir.

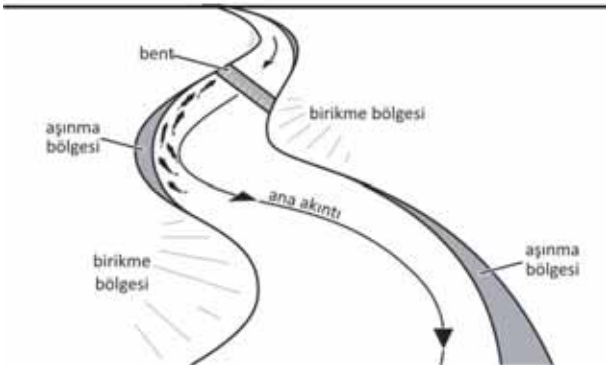
Balıklar ve su omurgasızları genellikle ana akıntı boyunca membaya göç eder (Şekil 3.4 ve 3.5). Balık geçidi girişi, membaya göç eden canlıların büyük bir bölümün tarafından bulunabilmesi için akıntının en



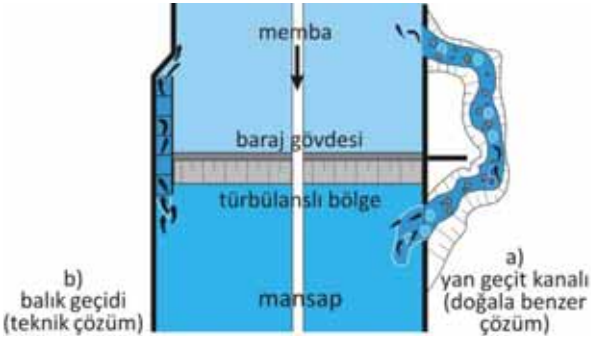
**Şekil 3.3:**

Moselle Nehrindeki (Rhineland-Palatinate) Neef barajının havadan görünüşü. Balık geçidinin (beyaz okla gösterilen) baraja göre ne kadar küçük olduğuna dikkat edilmelidir.





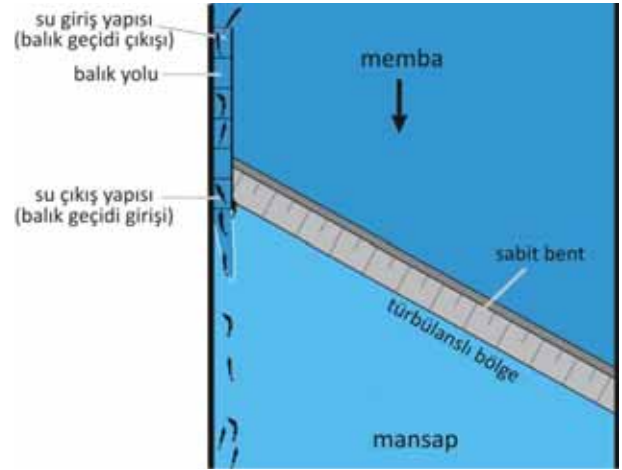
**Şekil 3.4:** Kıyılarında aşınma ve birikme bölgeleri olan bir nehirdeki akış deseninin şematik gösterimi. Ana akıntı boyunca yüzen balıklar, bende aşınma bölgesinden ulaşır. Bu nedenle balık geçidi, balıkların engelle karşılaştığı noktanın olabildiğince yakınına yerleştirilmelidir (Jens, 1982'den değiştirilmiştir).



**Şekil 3.5:** a) Yan geçit kanalı için en uygun yer  
b) Teknik balık geçidi için en uygun yer:  
Membaya göç eden balıklar, ana akıntıya göre yön bulur ve baraj ya da türbin çıkışının hemen altında mansaptaki en yüksek türbülanslı yere doğru yüzerler. Balıklar, nehir kıyısının yakınında membaya doğru hareket edebilecekleri bir yol arar. Balıkların, dinlenme havuzunun taban eşliğini geçebilmesi çok önemlidir (Larinier, 1992d'den değiştirilmiştir).

yüksek olduğu nehir kıyısına konumlandırılmalıdır. Kıyıya yakın inşa edilerek, balık geçidi ile taban veya kıyı substratı kolayca birbirine bağlanabilir.

Üzerinde hidroelektrik santral bulunan nehirlerde balık geçitleri için en uygun yer, genellikle santral binasının olduğu taraftır. Balık geçidinin su çıkışı yapı (balıkların girişi<sup>#</sup>) baraja veya türbin çıkışına olabildiğince yakın bir yere konumlandırılmalıdır. Balık geçidi çıkış yapısını (balıkların giriş yeri) barajın veya



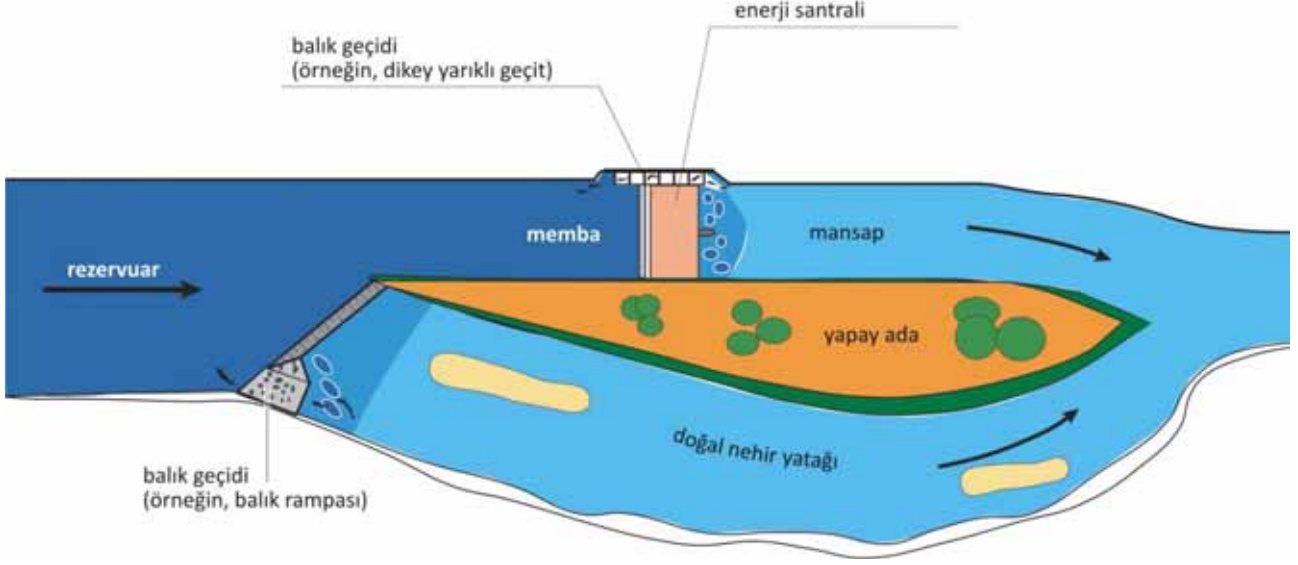
**Şekil 3.6:** Membaya doğru hareket eden balıklar, bente kıyı arasındaki dar açılı bölgede toplanır. Burası, balık geçidi inşası için en uygun yerdir (Larinier, 1992d).

bentin hemen yakınına yerleştirmek, engel ile balık geçidi girişi arasında ölü bölge oluşumunu asgariye indirir. Membaya yüzen balıklar girişi kolayca kaçırıp, ölü bölgede hapsoldüğünden bu konu önemlidir. Barajın mansabında kuyruk suyuna kadar uzanan balık geçidi, balıkların girişi bulma ihtimalini önemli ölçüde azaltır; bu tasarım hatası, pek çok balık geçidinin başarısız olmasına sebep olmaktadır.

Baraj veya bentlerin nehre köşegen biçiminde yerleştirildiği ve taşan suyun savağın tamamından geçtiği durumda, membaya göç eden balıklar genellikle bent ile kıyı arasındaki dar açılı bölgede yoğunlaşır (Şekil 3.6). Bu sebeple, balık geçidinin bu alana yerleştirilmesi gerekir.

Yan geçit tipi hidroelektrik santraller ile ilgili olarak, dikey bağlanabilirliği temin için balık geçidi yerinin belirlenmesine ilişkin iki seçenek vardır. İlk seçenekte balık geçidi, mansap ile memba kanalı arasında bağlantı sağlayacak şekilde elektrik santraline inşa edilebilir. İkincisinde, doğal nehir yatağı ile rezervuar gelen su arasında bir bağlantı oluşturacak şekilde bent üzerine inşa edilebilir. Balık geçitleri çoğunlukla bu iki yerden sadece birine yapılır. Balıklar, genellikle akıntının en güçlü olduğu yeri takip ettiğinden, su debisinin daha düşük olduğu eski nehir yatağına girmek yerine, mansap kanalı boyunca türbin çıkışına doğru yüzmeyi tercih eder.

# Editörün notu



**Şekil 3.7:** Yan geçit tipi hidroelektrik santrallerde dikey bağlanabilirlik, biri doğrudan hidroelektrik santrale diğeri de bent üzerine olmak üzere iki balık geçidi inşa edilerek sağlanabilir.

Bu durumda, mansap kanalından memba kanalına doğru bir balık geçidi inşa edilmelidir. Bununla birlikte, enerji santralinin türbin kapasitesi aşıldığında, kullanılmayan su bent üzerinden eski nehir yatağına bırakılır, bu sebeple sedde üzerine de bir balık geçidi inşa edilmesi tavsiye edilir. Debinin yeterince yüksek olması kaydıyla, bu ikinci balık geçidinden bırakılan su, eski nehir yatağında akarsu şartlarını muhafaza için asgari çevresel akış olarak kullanılabilir. Ekolojik yönden değerlendirildiğinde, böyle durumlarda biri hidroelektrik santrale diğeri de seddeye olmak üzere iki balık geçidi inşa edilmesi kesinlikle tavsiye edilir (Şekil 3.7).

### 3.2 Balık geçidi girişi ve çağırma suyu

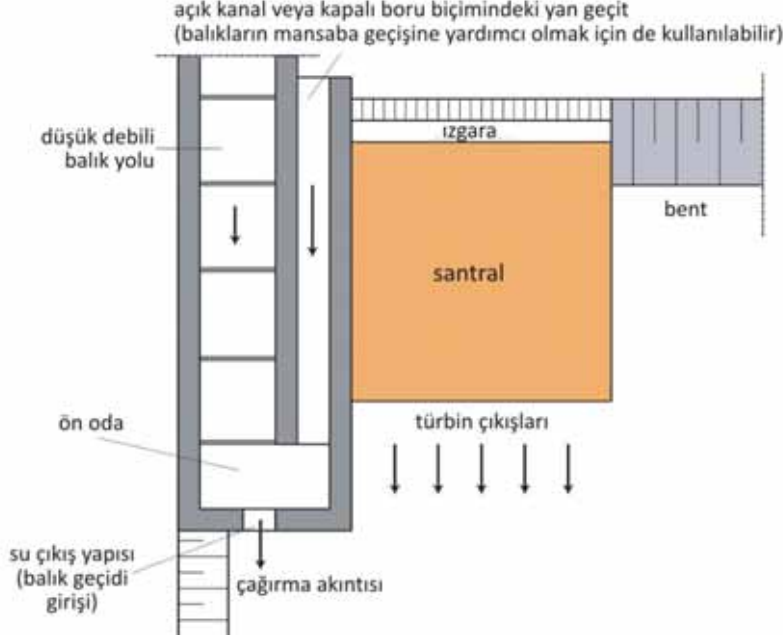
Su canlıları nehirlerde yönlerini bulurken akıntıdan faydalanır. Membaya doğru göç eden ergin balıklar, çoğunlukla akıntıya karşı (pozitif reotaksi) yüzerler. Bununla birlikte, akışın en çok olduğu dönemde göç etmeleri gerekmez; ancak yüzme kabiliyetine bağlı olarak kıyı boyunca da yüzebilirler. Göç yolu bir engelle kesilmişse, balıklar, barajın kenarlarından birine doğru yanal olarak kaçmaya çalışarak ileriden bir geçiş imkânı ararlar. Bu şekilde davranarak pozitif reotaksi ile tepki vermeye devam ederler; balık yolundan gelen akıntıyı algılayarak kendilerini balık geçidine doğru yönlendirirler.

Bir barajın mansabındaki su karakteristikleri (su hızı ve türbülans derecesi), balık geçidinde oluşan çağırma akıntısını etkiler. Bu akıntının oluşturduğu çağırma etkisi, ortaya çıkan akış hızına, açısına ve nehir

debinin balık geçidinden çıkan suyun debisine oranına bağlıdır. Çağırma akıntısı, özellikle mansapta hedef türlerin tercih ettiği alanlarda algılanabilir düzeyde olmalıdır; bu kesimde balıklar giden su karakteristikleri nedeniyle yüzmek zorunda kalır. Balık geçidinden çıkan çağırma suyu hızı, 0,8 ile 2,0 m/s arasında olmalıdır (SNiP, 1987).

Özellikle mansap su kotunun azalıp çoğaldığı yerlerde, çağırma akıntısının şiddetini artırmak için membada balık geçidinin girişine doğrudan ilave su vermek amacıyla özel bir yan geçit sistemi kullanılabilir. Bu sistemi kullanmak, balık geçidindeki akış karakteristiklerinin su miktarı artışından olumsuz etkilenmesini engeller, aslında bu ilave suya sadece geçidin girişinde gerek duyulur. Yan geçit hattı kapalı bir boru biçiminde olabilir; ancak açık kanal olması genellikle daha iyidir. Yan geçit hattından çıkan ilave suyun hızı, kesinlikle balıkların geçide doğru yüzmesini engellememelidir. Özel durumlar hariç su hızı 2 m/s'yi aşmamalıdır. Rusya'da balık geçitleri ile ilgili çalışma grubu tarafından, balık geçidi girişine bir ön oda eklenmesi önerilmiştir (SNiP, 1987). Suyunu hem balık geçidinden hem de yan geçit hattından alan bu odalar, günümüzde Fransa ve ABD'deki birçok tesiste bulunmaktadır. Bu ön odada balık geçidi ve yan geçit hattından gelen suyun birlikte meydana getirdiği akışlar, nehre doğru boşalan bir çağırma suyu etkisi oluşturur (Şekil 3.8). Bu durumda su çıkış yapısındaki (balık geçidinin girişindeki<sup>#</sup>) hız, suyun asgari olduğu dönemde bile 2 m/s'yi geçmemelidir.

<sup>#</sup> Editörün notu



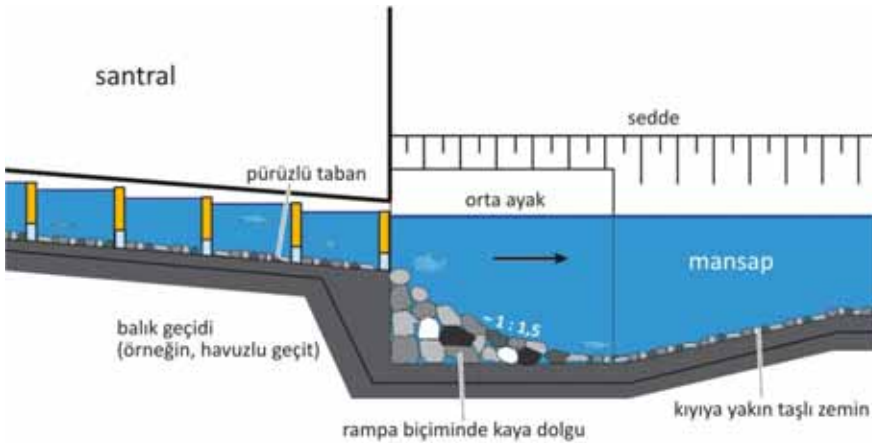
**Şekil 3.8:**

Balık geçidi girişindeki çağırma akıntısını artırmak amacıyla geçidin ilk havuzunun mansabındaki ön odaya yan geçit hatından ilave su verilir.

En uygun balık geçidi tasarımında, atmosferdeki oksijenin suya giren miktarının artırılması veya balık geçidinden çıkan suyun çıkardığı sesin oluşturduğu "çağırma etkisi"nin kullanılabilmesine ilişkin varsayım henüz ispatlanmamıştır. Davranış engelleri veya mekanik yönlendirme düzenekleri gibi balıkları belirli bir yöne sevk eden yardımcı teknik düzeneklere, mevcut etkinlik verilerinin güvenilir olmaması sebebiyle bu kitapta yer verilmemiştir. Nehre giren yanak akışların etkilerine ilişkin laboratuvar deneyleri ve etkin çalışan balık geçitlerindeki balık davranışları üzerine gözlemler, aşağıdaki bilgilere temel oluşturmaktadır. Çağırma akıntısının yayılma karakteristikle-

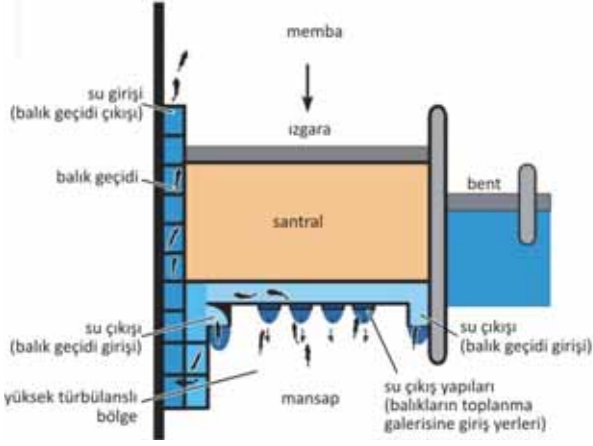
rinin belirlenmesine yönelik hesaplamaları kullanan yaklaşımlar, Rusya Çalışma Grubu (SNiP 1987) ve Kraatz (1989)'dan alınmıştır.

Balık geçidi girişi, balıkların membaya giderken toplandıkları yere konumlandırılmalıdır. Mansap akıntılarının karakteristikleri ile hidroelektrik santralin yapısı toplanma yerini belirler. Çoğu durumda bu yer, barajın ayağında veya türbin çıkışlarında hemen bendin veya seddenin altıdır. Bu sebeple balıkları çağırarak akıntıların, balık geçidi girişinden toplanma alanına doğru yönlendirilmesi gerekir; bu sayede akıntıyı takip eden balıklar, geçidin girişine yönelerek geçide girer.

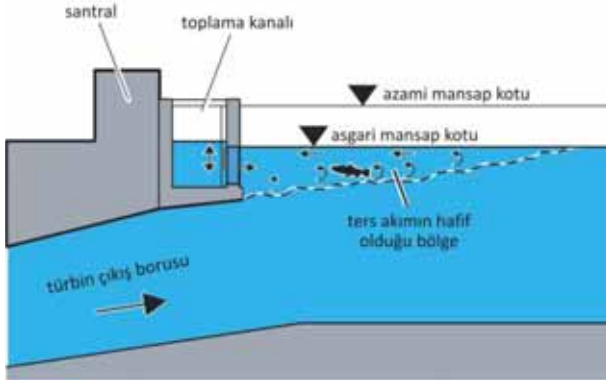


**Şekil 3.9:**

Su altında, balık geçidi girişi ile kıyıya yakın nehir tabanını birbirine bağlayan kaya dolgu rampa



**Şekil 3.10:** Toplama galerisi olan bir hidroelektrik santral diyagramı (ABD'den örnek) (Larinier, 1992d)



**Şekil 3.11:** Toplama galerisinin en kesiti (Larinier, 1992d)

Şayet mümkünse, balık geçidi girişi ana akış yönüne paralel olacak şekilde kıyıda olmalıdır; böylece balıklar yön değiştirmeden geçide girebilir. Balık geçidi girişi, engelin mansabında uzakta bir yere konumlandırılmışsa, balıklar girişi bulmakta zorlanırlar.

Çağırma akıntısının nehre karıştığı yer barajın mansabından ne kadar uzakta olursa, akıntının membaya geçen balık tarafından kolayca algılanabilir olması daha da önemli hâle gelir. Balık geçidi girişindeki su hızı artırılarak, geçitten yüksek debili su bırakılarak veya yan geçit hattından ilave çağırma suyu verilerek yeterli bir çağırma akıntısı elde edilebilir. Model deneyleri sonucunda, balık geçidinden yeterince hızlı yüksek debinin geçmesini sağlayacak suyun mevcut olması kaydıyla, balıklar için en etkin çağırma akıntısının balık geçidi girişinden azami 45° lik açıyla bırakılan su olduğu tespit edilmiştir. Açı daha geniş olduğunda su jeti daha uzağa gider; ancak bu durumda, çağırma akıntısının kıyıya paralel olmama riski ve kıyıya yakın yüzen balıkların sadece girişe dik açılı

konumda bulunduğu durumda çağırma akıntısının farkına varma ihtimali vardır.

Giriş yapısının, balıkların su kotu düşük olduğunda bile balık geçidine girebilecek şekilde inşa edilmesi önemli bir sorundur. Balık geçidi ile doğal nehir tabanı arasında bağlantı kurularak, dipte yaşayan canlıların ve makrozoobentosun da balık geçidine girişi kolaylaştırılabilir. Azami eğimi 1:2 olan bir rampa (Şekil 3.9) ile bu giriş sağlanabilir. Mevcut balık geçitlerinin bir bölümünde giriş bende doğru yönlendirilmiş olup, nehir akıntısına göre 180° bir açı oluşturmaktadır. Bu gibi girişler; balıkların, geçidin girişini bulmasına imkân veren bir çağırma akıntısı oluşturmadığından uygun değildir.

ABD'deki hidroelektrik santrallere, özel tipte balık geçidi gibi işlev görececek bir toplama galerisi eklenmiştir (Clay, 1961). Bu yapının ilham kaynağı, balıklarının birçoğunun santraldeki türbinlerin çıkışındaki türbülanslı bölgenin içerisinden membaya doğru yüzmesi ve bu nedenle doğrudan engelle karşılaşmasıdır. Türbin çıkışlarının üzerinde yer alan bu galeri, engel genişliğinin tamamı boyunca uzanır. Galeride, içerisinden çağırma akıntısının boşaldığı, birbirine yakın çok sayıda çıkış bulunmaktadır. Bu yapıya giren balıklar, kendine ait girişi olan asıl balık geçidine doğru yönlendirilir (Şekil 3.10 ve 3.11). Bu türdeki geçit, dipte yaşayan balıklar için uygun değildir.

Gündüz hareketli olan balıklar karanlık kanallara girmeye çekindiğinden, balık geçidinin içerisine gün ışığı girmeli ve üzeri kapatılmamalıdır. Bu mümkün değilse, doğal ışığa olabildiğince yakın bir aydınlatma ile yapay olarak ışıklandırılmalıdır.

### 3.3 Balık geçidi çıkışı ve çıkış şartları

Bir hidroelektrik santrale balık geçidi inşa edilmesi durumunda, su girişinin (membaya çıkış<sup>#</sup>), geçitten dışarı çıkan balıkların akıntı ile türbine doğru sürüklenmesini engelleyecek şekilde, bentten veya türbinden yeterince uzak bir mesafeye konumlandırılması gerekir. Balık geçidi ile türbin su alma yapısı veya ızgara arasındaki asgari mesafenin 5 m olması gerekir. Gelen su hızının 0,5 m/s'den fazla olması durumunda, balık geçidi çıkışının bir ayırma duvarı ile membaya doğru uzatılması zorunludur.

<sup>#</sup> Editörün notu



Genellikle rezervuardaki memba su kotu sabit olduğunda, su giriş yapısının tasarımı sorun oluşturmamaktadır. Ancak, kot değişikliğinin görüldüğü barajlarda özel tedbirlerin alınması gerekmektedir. Böyle bir durumda, balık geçidinin, değişen su kotlarından çok az etkilenecek çalışmasını sürdürecektir biçimde tasarlanması ya da su giriş bölgesi için uygun yapısal düzenlemelerin projeye dâhil edilmesi gerekir. Memba su kotundaki azami değişim 0,5 ile 1,0 m arasında olduğunda, teknik balık geçitleri için dikey yarıklı çıkışın uygun olduğu sonucuna varılmıştır. Kot değişiminin 1 m'yi aştığı durumda, balık geçidinin işlevini sürdürmesi için farklı kotlarda birden fazla çıkışın inşa edilmesi gerekmektedir (Şekil 3.12).

Belirli tipteki balık geçitlerinde işlevselliğin devamı için, geçitteki su debisinin mekanik olarak ayarlanması gerekebilir. Çıkıştaki (su giriş yerindeki) basit bir açıklık kontrol düzeneği işe yarayabilir. Rezervuardaki kot değişimleri çok fazla olduğunda, kontrol sistemi veya bariyer düzenekli daha karmaşık yapılara ihtiyaç duyulabilir. Ancak bu tür yapıların gerektiği gibi çalışmama ihtimali vardır, ayrıca, kontrol sistemlerini hatalı çalıştıran personel, balık geçidi etkinliğinin azalmasına sebep olabilmektedir.

Balıkların geçitten membaya daha rahat geçmesini sağlamak amacıyla geçidin çıkış yerinde şiddetli türbülansın olmaması ve akıntı hızının 2,0 m/s'yi geçmemesi gerekir. Ayrıca, balık geçidini bir rampa vasıtasıyla doğal tabana veya kıyı substratına bağlamak, dip organizmalarının balık geçidinden membaya geçişini kolaylaştırmaktadır.

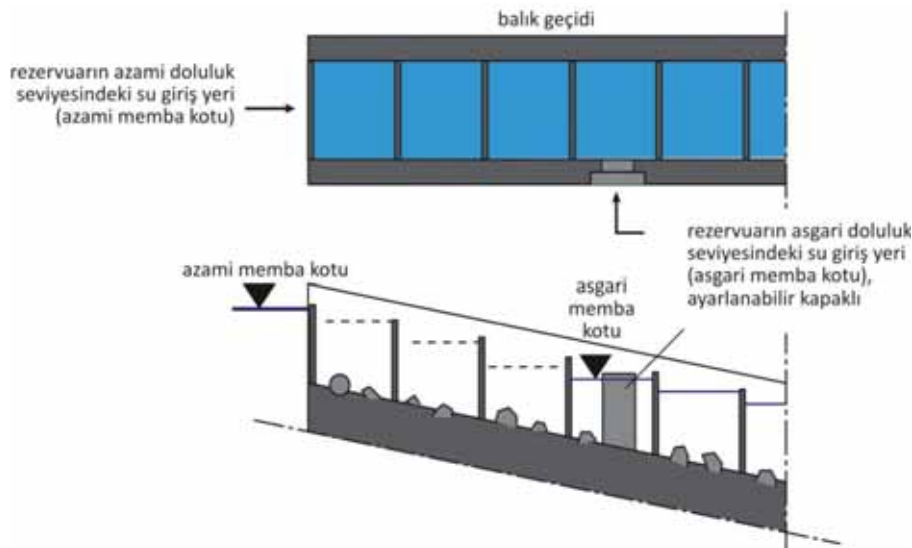
Balık geçidinin su giriş yapısı, yüzer bir saptırıcı (örneğin, kalas) ile istenmeyen madde girişine karşı korunmalıdır.

Balık geçidinin etkinliğini izlemek amacıyla çıkışa bir kontrol düzeneği (örneğin, tuzak) yerleştirmek için yapısal tedbirlerin alınması gerekir. Bu tedbirlere örnek olarak, balık tuzağı pabuçları ve hemen yanı başındaki kaldırma tertibatı verilebilir. Ayrıca, kontrol ve bakım amacıyla balık geçidindeki su akışını kesmeye yarayan bir düzenek de bulunabilir.

### 3.4 Balık geçidindeki su debisi ve akıntı şartları

Geçit içerisinde balıklara en uygun hidrolik şartları sağlamak için gereken debi, genellikle çağırma akıntısı oluşturmak için ihtiyaç duyulandan daha azdır. Bununla birlikte, özellikle suyun az olduğu dönemlerde göçmen canlıların engelsiz geçişine imkân tanımak için tahsis edilen toplam debinin tamamı balık geçidinden bırakılmalıdır. Bu husus, bilhassa hidroelektrik enerji üretimi olmayan barajlar için tavsiye edilir. Balık geçidinde kullanılan su, mevcut veya planlanan balık geçidini hidrolik bakımından doğru bir şekilde çalıştırmak için gerekenden fazla olduğunda, genişliği olabildiğince fazla olan kayalık rampa inşası gibi farklı tasarımlar değerlendirilmelidir. Bazı durumlarda (örneğin, taşkınlar) etkin çalışmayı temin bakımından balık geçidinden bırakılan suyun sınırlandırılması için geçit çıkış alanının yapısal olarak uygun hâle getirilmesi gerekebilir.

Debiyi artırmak amacıyla, üzerinde balık geçidinin olduğu nehirde alınmayan diğer suların (atık su arıtım tesislerinden veya derivasyon kanallarından alınan su gibi) kullanılmasından kaçınılmalıdır. Fizikokimyasal özellikleri birbirinden farklı olan suların karıştırılması balıkların oldukça hassas olan koku ile



Şekil 3.12:

Rezervuar tarafında farklı kotlarda bulunan su girişleri (balık çıkışları<sup>#</sup>), memba su kotunun değişmesi (düşmesi) durumunda bile balıkların geçitten çıkmasına imkân tanır.

<sup>#</sup> Editörün notu

yön bulma kabiliyetlerini bozar ve göçe devam etme dürtülerini azaltır.

Bütün su canlılarının, yüzme kabiliyetinden bağımsız olarak balık geçidinden göç edebilmesi için geçitteki türbülans olabildiğince düşük olmalıdır. Larinier (1992b), bir havuzlu geçitteki her havuzun hacimsel enerji kırma gücünün havuz hacminin metreküpüne başına 150-200 W'ı geçmemesini tavsiye etmektedir.

Genel olarak balık geçitlerindeki akıntı hızı, orifis veya yarık gibi en dar yerlerde 2,0 m/s'yi geçmemelidir; bu hız sınırı, uygun bir geçit tasarımı ile sağlanmalıdır. Buna ilaveten, balık geçidindeki ortalama akıntı hızı bu değerden önemli ölçüde düşük olmalıdır. Balık geçidinde, yüzme kabiliyeti zayıf olan balıkların memba göçü esnasında dinlenmesi için yeterli dinlenme alanı sağlayan yapılar bulunmalıdır. Ayrıca balık geçidi tabanında kaba malzeme bulunduğu, dibe yakın yerdeki akıntı hızı düşürülür. Genel bir kural olarak balık geçidindeki akışın laminar olması istenir; türbülanslı akışlar sadece özel şartlarda (kayalık eşikler üzerindeki akış) kabul edilebilir.

### 3.5 Uzunluk, eğim, dinlenme havuzları

Balık geçidiyle ilgili doğru ölçüleri belirleyen talimatlarda, eğim, genişlik, uzunluk ve su derinliği gibi özelliklerin yanı sıra orifis ve dinlenme havuzlarının boyutları da yer almalıdır. Bu talimatlar esasen inşa edilecek balık geçidi tipine ve mevcut su debisine bağlıdır. Tipe özgü bilgiler, farklı balık geçidi tiplerinin verildiği bu kitabın ilgili bölümlerinde bulunmaktadır. Burada yer alan bütün talimatlar asgari kurallar olarak görülmelidir.

Balık geçidi boyutları belirlenirken dikkat edilmesi gereken en önemli husus, akarsuda mevcut veya muhtemel en büyük balık türlerinin (potansiyel doğal balık faunası bakımından) boyudur. Balıkların bütün hayat evrelerinde büyümeye devam etmesi, potansiyel balık büyükleriyle ilgili bilgi toplanırken dikkate alınmalıdır. Çizelge 3.1'de verilen vücut uzunlukları ortalama değerlerdir. Mersin balıklarının boyu 6,0 m'ye kadar ulaşabilmekte olup, azami değerler burada verilmemiştir.

Bir balık geçidinin boyutları belirlenirken, nehirde bulunması muhtemel en büyük balık türünün ortalama boyu ile izin verilen su kotu değişiminin dikkate alınması gerekir (bkz. Bölüm 4 ve 5). Su kotundaki sadece  $\Delta h = 0,2$  m'lik bir fark, orifis ve perde duvarlarda azami 2,0 m/s'lik akıntı hızı ortaya çıkardığın

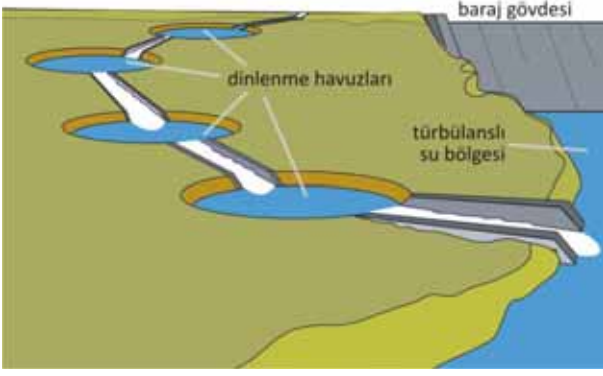
dan, balık geçidinde havuzlar arasındaki su kotu farkının 0,2 m'nin altında tutulması tavsiye edilir (Şekil 5.4). Su kotundaki bu fark, kaba malzemeli tabanın hemen üzerindeki katmanda, yüzme performansı zayıf olan balıkların bile geçmesine imkân tanıyan akıntı hızı ortaya çıkarır. Yoğun havalanmalı su jetlerinin olduğu düşümlerden ve şelalelerden kesinlikle kaçınılmalıdır.

Teknik çözümlerde seçilen inşa prensibine bağlı olarak izin verilen azami eğim aralığı 1:5 ila 1:10 iken, doğala yakın balık geçitlerinde doğadaki eğime karşılık gelen 1:15'ten küçük azami değerler kullanılmalıdır (Bölüm 4). Bununla birlikte, balık geçidinin bulunduğu yerdeki doğal eğime karşılık gelmeyen doğala benzer geçit eğimleri de kabul edilmektedir.

Balık geçidi uzunluğuna karar verirken, potansiyel doğal balık faunasındaki balık türlerinin yüzme kabiliyeti ve bu canlıların bütün yaşam evreleri dikkate alınmalıdır. Farklı araştırmalarda (Jens, 1982; Stahlberg & Peckmann, 1986; Pavlov, 1989; Geitner ve Drewes, 1990) bulunan değerler birbirinden

Çizelge 3.1: Bazı ergin balık türlerinin ortalama boyu

	Balık türü	Boy (m)
Mersin balığı	<i>Acipenser sturio</i>	3,0
Yayın balığı	<i>Silurus glanis</i>	2,0
Turna balığı	<i>Esox lucius</i>	1,2
Somon	<i>Salmo salar</i>	1,2
Huchen	<i>Hucho hucho</i>	1,2
Deniz lampreyi	<i>Petromyzon marinus</i>	0,8
Denizalası	<i>Salmo trutta f. trutta</i>	0,8
Tirsi	<i>Alosa alosa</i>	0,8
Bıyıklı balık	<i>Barbus barbus</i>	0,8
Gölalası	<i>Salmo trutta f. lacustris</i>	0,8
Çapak balığı	<i>Abramis brama</i>	0,7
Orfe	<i>Leuciscus idus</i>	0,7
Sazan	<i>Cyprinus carpio</i>	0,7
Tatlısu kefali	<i>Leuciscus cephalus</i>	0,6
Gölge balığı	<i>Thymallus thymallus</i>	0,5
Dişli tirsi	<i>Alosa fallax</i>	0,4
Nehir lampreyi	<i>Lampetra fluviatilis</i>	0,4
Kahverengi alabalık	<i>Salmo trutta fario</i>	0,4



**Şekil 3.13:** Bendenin oluşturduğu engelin yan geçit kanalıyla aşıldığı, dinlenme havuzları olan teknik balık geçidi (Tent, 1987'den değiştirilmiş)

önemli ölçüde farklı, hatta çelişkili olduğundan balıkların yüzme hızları burada verilmemiştir. Ancak, geçit boyutları belirlenirken en güçsüz türün ya da en zayıf yaşam evresinin ihtiyaçları dikkate alınmalıdır.

Balık yollarında dinlenme bölgeleri veya dinlenme havuzları sağlanmalıdır. Balıklar burada göçe ara verir ve kendilerini toparlar. Yarıklı veya havuzlu geçit gibi bazı balık geçidi tiplerinde bu bölgeler zaten mevcuttur. Kayalık rampa gibi diğerlerinde ise kolayca oluşturulabilmektedir. Normalde tasarımı nedeniyle dinlenme bölgeleri olmayan balık geçidi tiplerinde, turbülansın en az olduğu dinlenme havuzları ara yerlere eklenmelidir (Şekil 3.13). Dinlenme havuzunun



**Şekil 3.14:** Yarıklı geçitte kaba malzemeli substrat; Unterspreewald'deki (Brandenburg) Aşağı Puhlstrom bendi

boyutları, havuz hacminin metreküpü başına hacimsel enerji kırılması 50 W'ı aşmayacak şekilde belirlenmelidir. Genellikle balık geçitlerinin izin verilen azami uzunluklarına ilişkin geçerli veriler bulunmamaktadır. Bununla birlikte, dinlenme bölgesi olmayan ve uzunluğu balığın bir seferde geçebileceğinden fazla olan geçit tipleri için dinlenme havuzları, havuzlar arasında 2,0 m'den fazla mesafe olmayacak ve uzunluğu kot farkına göre ayarlanacak şekilde yerleştirilir. Denil tipi balık geçitlerinde, alabalıklar için en az her 10,0 m, sazangiller içinse en az her 6,0-8,0 m doğrusal mesafeden sonra dinlenme havuzu yerleştirilerek geçit bölümlere ayrılmalıdır.

### 3.6 Taban tasarımı

Balık geçidinin tabanı, her yerde en az 0,2 m kalınlığında bir tabaka hâlinde kaba malzeme ile kaplanmalıdır (Şekil 3.14). Bu substratın nehir malzemesinden oluşturulması istenir. Su mühendisliği yönünden değerlendirildiğinde, erozyona dirençli bir taban için kaba malzemeye ihtiyaç duyulmaktadır. Bununla birlikte, taban malzemesinin doğala olabildiğince benzer yapıda ve değişken tane büyüklüğü sebebiyle farklı büyüklükte ara boşluklardan oluşan bir mozaik biçiminde olması istenir. Küçük balıklar, yavru balıklar ve özellikle dip omurgasızları akıntının az olduğu bu boşluklara sığınıp, akıntı etkisinden korunarak membaya göç edebilir. Doğala benzer tipteki balık yollarında kaba malzemeli taban oluşturma genellikle bazı sorunlara yol açmaktadır.

Kaba malzemeden oluşan pürüzlü taban, yarık, orifis ve çıkış alanı dâhil olmak üzere balık geçidi boyunca sürekli yapıda olmalıdır. Denil geçitleri gibi bazı teknik yapılarda böyle bir taban oluşturmak mümkün olmamaktadır. Buradan, dip omurgasızlarının bu geçitlerden geçemediği ve bu yapıların balık geçitleri ile ilgili temel ekolojik gereksinimlerden birini karşılayamadığı sonucuna varılabilir.

### 3.7 Çalıştırma zamanları

Almanya'daki yerli balıklar yılın farklı dönemlerinde göç etmektedir. Sazangillerin (Cyprinidae) birçoğu yoğun olarak ilkbahar ve yaz mevsiminde göç ederken, alabalıkların (Salmonidae) yumurtlama göçleri çoğunlukla sonbahar ve kış döneminde olmaktadır. Dip omurgasızlarının göç hareketleri, büyüme dönemlerinin tamamında gerçekleşebilmektedir. Su canlılarının nehirlerde günün hangi saatinde hareket ettiği çeşitli gruplar için farklılık göstermektedir. Bu sebeple, bazı dip omurgasızları genellikle alacakaran-

lıkta ve gece hareketli iken, farklı balık türlerinin en çok hareketli olduğu zaman dilimi önemli ölçüde değişmekte ve aslında yıl boyu farklı olmaktadır (Müller, 1968). Göç zamanlarının değişkenliği sebebiyle balık geçitlerinin yıl boyu çalıştırılması gerekir. Suyun aşırı düşük ve aşırı yüksek olduğu dönemlerde (bir yılda en düşük bir ay ve en yüksek bir ay) balıkların göç hareketi azaldığı için, balık geçitlerinin sadece bu dönemlerde sınırlı düzeyde çalıştırılması kabul edilebilir. Geçit, 24 saat süreyle aralıksız çalıştırılmalıdır. Aksi takdirde, hareket kabiliyeti zayıf olan omurgasızlar balık geçidine girdiğinde, aralıklı çalıştırma sebebiyle geçitteki su kısa süreli tamamen boşalmakta, bu canlılar kaçamamakta ve neticede ölmektedir.

### 3.8 Bakım

Yetersiz bakım, balık geçitlerinin çalışmasını engelleyen en önemli sebep olduğundan bir balık geçidinin planlama aşamasından itibaren düzenli bakım ihtiyacının dikkate alınması gerekmektedir. Balık geçidi çıkışının (su girişi) ve orifislerin tıkanması, geçitteki yapısal tahribat veya akış kontrol düzeneklerinin arızası nadiren görülmekle birlikte, düzenli bir bakım ile bu sorunların üstesinden gelinebilir. Bakımın yapılabilmesi için balık geçidine engelsiz ve güvenilir bir biçimde ulaşılması zorunludur. Su giriş alanı veya kaya parçaları arasındaki açıklık çerçöple nadiren tamamen tıkanmış olduğundan ve sistemin çalışması hemen durmadığından, kayalık rampa gibi doğala benzer yapıların bakımı, daha teknik yapılara göre kolaydır. Bu yüzden teknik yapıların bakım ihtiyacı daha fazladır. Üzerinde çalışılan balık geçidi tipi ve arıza sıklığı ile ilgili tecrübeler esas alınarak bir bakım programı hazırlanabilir ya da mevcut program uyarlanabilir. Bakım işlemi her zaman taşkınlardan sonra gerçekleştirilmelidir.

### 3.9 Balıkları rahatsız etmemek ve balık geçidini korumakla ilgili tedbirler

Yetkili kurumlar, göç eden balıkları rahatsızlıklara karşı koruma amacıyla balık yollarının mansap ve membaında avcılığa kapatılmış bölgeler oluşturmaktadır. Bu yasal düzenlemeler, balık geçidinin inşasından sorumluluğu idari kurum tarafından su ürünleri kanunu esas alınarak yapılabilir. Balık geçitlerinin hemen yakınında yüzme ve tekne turu gibi faaliyetler de yasaklanmalıdır. Sadece makul gerekçesi olmak kaydıyla, tekne seyir güzergâhları, tekne iskeleleri veya gemi eklüzlerinin yakınına balık geçidi inşa edilebilir. Ayrıca balık geçitlerine giriş, bakım personeli,

kontrol personeli veya bilimsel çalışma yapacak araştırmacılarla sınırlandırılmalıdır.

Balık geçitlerine, göçleri seyretme amaçlı izleme istasyonlarındaki gibi gözetleme pencereleri yapıldığında, gözetleme odası karanlık olmalı ve sadece bir tarafı gösteren camlar kullanılmalıdır.

Barajda veya hemen yakınındaki nehir kesiminde değişiklik olduğunda (yatağın derinleştirilmesi, seddenin yükseltilmesi veya hidroelektrik santral inşası gibi) balık geçidinin işlerliği olumsuz yönde etkilenmemelidir.

### 3.10 Doğaya görsel uyum sağlama

Her ne kadar balık geçidinin doğru çalışması görsel olarak doğaya uyumuna göre öncelikli olsa da, geçidin doğayla olabildiğince uyumlu bir şekilde bütünleşmesi için her türlü gayretin sarf edilmesi gerekir. Bu yönüyle özellikle doğala benzer yapı tipleri, işlevsellikle doğaya görsel uyumu en iyi birleştiren balık geçidi tipi olup, reofilik organizmalar için yedek biyotop olarak da önemli bir rol oynayabilir.

Balık geçitleri yapımında, geçidin inşa edileceği yöreye özel doğal yapı malzemeleri veya inşaat malzemelerinin uyumlu bir tarzda kullanılması tavsiye edilir. Kullanılan ahşap malzemenin kimyasal işlem görmemiş olması gerekir. İlk başta bitki örtüsü oluşumunu başlatmak için yöredeki bitkilere uygun bitki ve ağaçların dikilmesi gerekse de, göçmen balıklar için örtü oluşturması ve balık geçidine gölge yapması amacıyla bitkilerin doğal olarak olabildiğince uzak yerlere kadar çoğalmasına imkân tanınmalıdır.



## 4 Doğala benzer balık geçidi tipleri

Kayalık rampalar gibi “doğala benzer biçimli” eşik ve balık geçidi yapılarının tasarımında, eğimi dik doğal nehir kesimleri veya dereler esas alınmaktadır (Şekil 4.2). Genellikle bu yapılarda kullanılan malzeme nehirlerden doğal olarak elde edilir.

Aşağıda verilen yapılar çoğunlukla belirli bir alana özgü olup, genel olarak uygulanamaz. Bununla birlikte bu yapılar Bölüm 5’te açıklanan teknik yapılara göre, nehir bağlanabilirliğiyle ilgili biyolojik ihtiyaçları daha fazla karşılar. Doğala benzer tasarım, güzel bir doğal görsel uyumun yanı sıra, akarsularda yeni akarsu biyotoplarının oluşmasını da sağlar.

Bu kitapta aşağıda verilen yapılar “doğala benzer tipteki” balık geçitleri olarak tanımlanmaktadır (Şekil 4.1):

- Taban rampaları ve meyilli tabanlar,
- Yan geçit kanalları ve
- Balık rampaları.

Farklı tipteki doğala benzer yapıların tasarımında benzerlikler vardır; ayrıca bunların birkaçını içeren karışık biçimler de mevcuttur. Örneğin, meyilli tabanlar, balık rampaları ve yan geçit kanalları, taban substratının pürüzlülüğünü artırmak için kayalık eşikler veya tekli kaya parçaları kullanılarak ardışık olarak inşa edilebilir. Doğala benzer yapıların hidroliği ile ilgili hesaplamalar Bölüm 4.4’te özet hâlinde sunulmuştur.


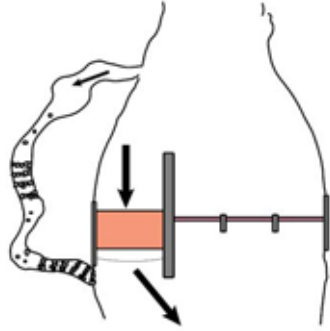
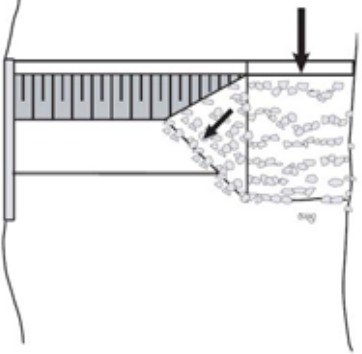
### 4.1 Taban rampaları ve meyilli tabanlar

#### 4.1.1 Prensipte

Taban rampası veya meyilli taban, belirli bir mesafede hidrolik eğimin olabildiğince az olmasını sağlayarak hidrolik yükü (rezervuar ile mansap su kotu arasındaki kot farkı<sup>#</sup>) dağıtan bir düzendir.

Taban rampaları ve meyilli tabanlar ilk olarak nehir tabanlarını sağlamlaştırmak amacıyla geliştirilmiştir. Balık geçitleri içerisinde yer verilmesinin nedeni, özellikle zengin bir yapı çeşitliliği ortaya koyan hafif eğimli, düşük meyilli kayalık rampaların nehir sürekliliğinin yeniden sağlanmasında en avantajlı yöntem

<sup>#</sup> Parantez içindeki metin editörün notudur.

		
<p><b>a) Taban rampası ve meyilli taban:</b> Kaba malzemeli yüzeyi olan, nehir genişliği boyunca uzanan eşik, tabandaki kot farkını gidermek amacıyla olabildiğince düşük eğimlidir. Bentin gövdesinin rampa gövdesi gibi hafif eğimli olması ve gevşek malzemedan yapılmış olması durumunda bu gruba güçlendirme yapıları (stabilizasyon bentleri gibi) da dâhil edilebilir.</p>	<p><b>b) Yan geçit kanalı:</b> Doğal akarsu özelliklerine sahip olan bu balık geçidi, barajı yan geçitle aşar. Barajın özellikleri değişmediğinden, çalışmasının çevreye olumsuz etkisi olmaz. Nehrin rezervuar hâline dönüşmüş bölümünün tamamı böylece yan geçitle aşılmış olur.</p>	<p><b>c) Balık rampası:</b> Bent ile bir bütün oluşturan bu yapı, nehir genişliğinin sadece bir bölümünde yer alır ve eğimi, balıkların membaya çıkabilmesi için olabildiğince düşüktür. Bu yapıların tamamı eğimden bağımsız olarak rampa olarak adlandırılır; genel olarak akış hızını azaltmak için enerji kırıcı kayalar veya kayalık eşiklerin dâhil edilmesi gerekir.</p>

Şekil 4.1: Doğal görünümlü üç balık geçidi tipi



**Şekil 4.2:**

Doğala benzer özellikleri (çok değişken eğimli) olan nehir kesimleri, doğal görünümülü taban eşiklerinin tasarımı için bir model işlevi görür.

Bu tür nehir kesimlerinin en belirgin özelliği, düzensiz eğim ve basamaklı görünümdür. Kayalık eşiklerin üzerindeki alçak su düşülerini havuzcuklar izler; bu alanlar asgari su kotunda balıklara sığınma imkânı sunar ve hayatta kalmasını sağlar. Aschach (Bavyera).

oluşudur; bu yapılar, doğal olarak yapısal çeşitlilik ve meyil bakımından zengin nehir kesimlerinde görülen şartları en iyi temsil eder (Şekil 4.2).

Nehirlerdeki dikey bağlanabilirlik ihtiyacını karşılayabilmek ve balık geçişine imkân tanımak için genellikle klasik eşik yapılarının değiştirilmesi gerekmektedir. Betondan mamul düz taban rampaları ve yüksek eğimli hidrolik düşüler, balıkların memba göçünü engellediğinden uygun değildir ve bu yüzden bu kitapta ele alınmamıştır.

DIN<sup>#</sup> 4047 Bölüm 5'e göre taban rampası ile meyilli taban arasındaki fark, sadece yapının eğimidir: Eğimi 1:3 ila 1:10 olan suni yapılar "rampa" olarak adlandırılırken, eğimi 1:20 ila 1:30 olan yapılar "meyilli taban" olarak adlandırılmaktadır. Bu sebeple, eğimi 1:15 veya daha düşük olan yapılar bu kitapta genel olarak meyilli tabanlar sınıfına dâhil edilmiştir.

Taban rampaları ve meyilli tabanlar özellikle nehirdeki düşey veya çok dik meyilli düşülerin yerine kullanılabilir. Bu yapılar ayrıca akış kontrol sistemi gerektirmeyen regülatörler şeklinde de yaygın olarak kullanılmaktadır; böyle bir durumda bu tesisler, memba su kotunu muhafaza eden koruma yapısı veya eşik olarak çalışır. Ekolojik olarak değerlendirildiğinde bu yöntemin önemli üstünlükleri vardır; orta ve uzun vadede burada oluşacak silt birikimi nedeniyle bendin membaındaki rezervuarda doğal akış şartları yeniden sağlanabilecektir.

#### 4.1.2 Tasarım ve boyutlar

##### 4.1.2.1 Yapım şekli

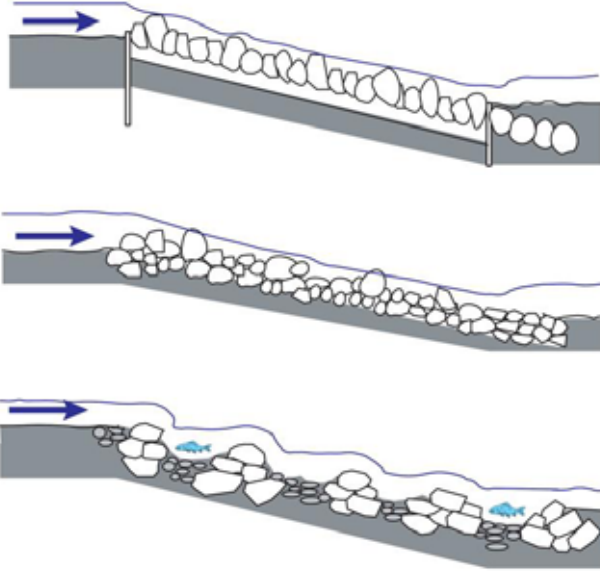
Taban rampası ve meyilli taban yapıları (Şekil 4.3) aşağıdaki gibi sınıflandırılabilir:

- Yerleşik veya gömülü kayalık yapılar (zemin sıyrılarak ve düzenlenerek inşa edilen klasik rampalar)
- Kaya dolgu yapılar (gevşek kayalık yapı)
- Dağınık veya basamaklı yapılar (gömülü kayalardan oluşan eşik biçimli yapı)

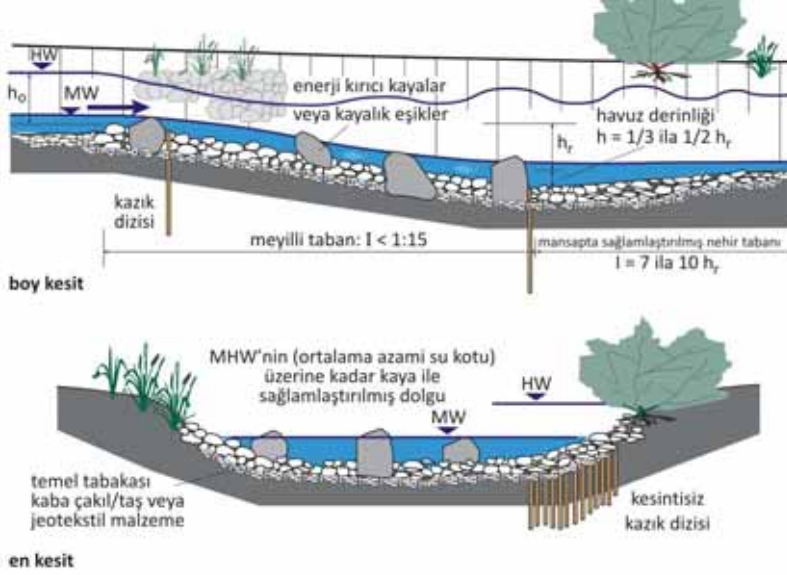
Eğimi 1:8 ila 1:10 ve buna bağlı olarak akış hızı yüksek olan klasik kayalık rampalar, sadece hidrolik gerilmenin çok fazla olduğu yerlere uyarlanmalıdır. Ekolojik açıdan değerlendirildiğinde, gevşek kaya dolgu yapılar ve özellikle kayalık eşik yapıları tercih edilir.

**Gömülü kayalık yapılar** (Şekil 4.3.a) genellikle eğimi yaklaşık 1:10 olan rampalarla sınırlıdır. Bu rampa, her birinin büyüklüğü 0,6 ila 1,2 m olan ve çoğunlukla birbirine tutturulan kayaların yan yana getirilmesi suretiyle inşa edilir. Yapı genellikle bir temel tabakası üzerine inşa edilir; bu tabaka en dıştaki katmana bağlı olarak kırma taştan veya kademeli çakıldan meydana gelmektedir. Temel tabakası her zamanki gibi boyutlandırılır. Böyle bir rampada memba ve mansapta en uçtaki kaya parçaları, genellikle palplanş duvarı, kazık dizisi veya çelik bağlama elemanları (zemine çakılmış palplanş perdesi, çelik gibi vb.) ile yerine sabitlenir.

<sup>#</sup> DIN (Deutsche Industrie-Norm[en]): Alman Sanayi Standartları (Editörün notu)



Şekil 4.3: Taban rampaları ve meyilli tabanların yapılışı (Gebler, 1991'den değiştirilmiş)



Şekil 4.4:

Kaya dolgu yapıları ile meyilli taban (Gebler, 1990'dan değiştirilmiş)

Zemine bağlama elemanın mansabındaki stabilize taban kısa tutulmalı ve uzunluğu sadece 3 ila 5 m olmalıdır. Bununla birlikte, erozyonla havuz oluşma tehlikesi olan yerlerin mansabına da zemin bağlama elemanları gerekir. Bunlar genellikle kaya dolgu biçimindedir. İnşaat için çoğunlukla kuruda kazı yapmak gerekir. Sonuçta oluşan yapı oldukça rijit olup, kaya parçalarının bağlama etkisi nedeniyle çok şiddetli hidrolik gerilmelere dayanabilmektedir.

Ekolojik yönden, **kaya dolgu yapılar** (Şekil 4.4) gömülü kayalık yapılara göre daha çok tercih edilir. Bunların ana gövdesi; tabaka kalınlığı, kullanılan en büyük taşın azami çapının en az iki katı olan çok katmanlı kaya dolgudan oluşmaktadır.

Büyük kayaların ayrı ayrı yerleştirilmesi pürüzlülüğü artırabilir. Kayalık eşiklerin yer aldığı basamak şeklindeki tasarım da kullanılabilir; eşikler, su seviyesi düşük olduğunda rampada uygun su kotu sağlamak ve yapısal çeşitliliği artırmak amacıyla kullanılır. Kaya dolgu; ahşap kazık dizisi veya çelikten mamul kesit takviye çubuklarından oluşan elemanlarla sağlamlaştırılabilir. Doğal olarak erozyona dayanıklı nehir tabanının, kuyruk suyuna geçiş bölgesinde ayrıca güçlendirilmesine gerek yoktur. Bu durumda kaya dolgu, mansapta nehir taban kotunun altına kadar sabit bir eğimle uzatılır ve sağlamlaştırılan bölgenin mansabı kısa tutulur (yaklaşık 3 ila 5 m). Şekil 4.4'te gösterildiği gibi, nehirlerde erozyona dayanıklı olmayan, kumlu veya siltli malzemenin bulunduğu düşük

tabanlı alanlarda kanal biçimli havuzlar yardımıyla kesintisiz geçişler sağlanmalı ve mansapta hemen bitişikteki taban güçlendirme bölümü uygun bir şekilde uzatılmalıdır.

Rampa boyunca dolgunun ve bitişğinde mansaptaki taban bölgesinin, ortalama azami su kotu çizgisinin üzerine kadar ulaşan kayalarla güçlendirilmesi gerekir. Dolgu alanına uygun bitkilerin dikilmesi (canlı iksa), erozyona dayanımı artırır ve taşkın zamanlarında ana akış eksenini nehrin ortasında tutar.

Gevşek kaya dolguluların inşası için genellikle nehir yatağının derivasyonla değiştirilmesi gerekmez. Ancak, kayalarla yapılan inşaatla kıyaslandığında toplam rampa uzunluğunun fazla oluşu masrafları dengelemektedir.

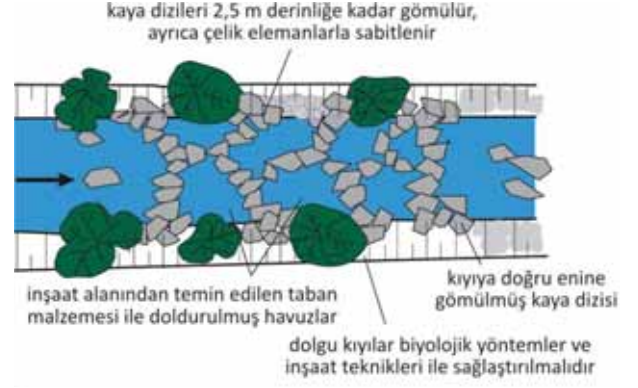
Nehir faunasındaki bütün bireyler kaya dolgu rampaları aşabilmektedir.

**Gömülü kayalık eşik yapıları** (basamaklı havuzlar veya dağınık/basamaklı rampalar) (Şekil 4.5), nehir veya çevresinden temin edilen çapı  $d_s = 0,6$  ila  $1,2$  m olan büyük kaya parçalarının teşkil ettiği çok sayıda diziden oluşmaktadır. Yapının sağlamlığını artırmak amacıyla, kaya dizisi kemer şeklinde (üstten görünüş) düzenlenebilir; böylece diziler birbirine destek sağlar ve sabitlenir. Dağlık yerlerdeki akarsularda görüldüğü gibi, tabanın aşınmaya dayanıklı, taşlı veya kaba çakıllı olması durumunda, kaya dizileri  $2,5$  m (ayrıca bkz. Şekil 4.3.c) derinliğe kadar gömülebilir ve sıralı kazıklar veya çelik elemanlarla sabitlenir. Bu yapının başka bir türünde, temel tabakası kaya dolgudan oluşmakta ve kaya dizileri nehir tabanına bağlanmaktadır. Bu durumda kayaların çok derine gömülmesi gerekmez. İnşa edilen tesis, Şekil 4.4'te verilenle karşılaştırılabilir. İlave eşığı olan kaya dolgu bölüme geçiş düz olmalıdır.

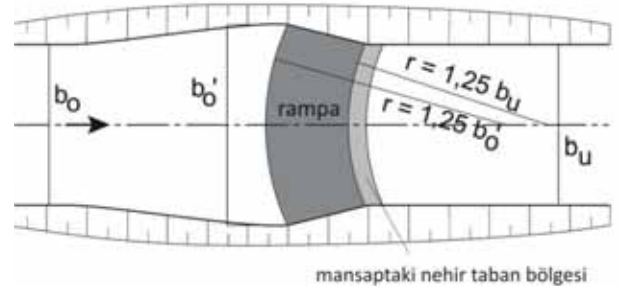
Kaya dizileri, çakıl ve büyük blokaj taşlarıyla doldurulmuş havuzcukları oluşturur ve doğal dinamik yapısına bırakılabilir. Ovalık alanlardaki nehirler için özgü olan kumlu malzemeler de normalde bu havuzcuklarda kalır. Debilerin yüksek olduğu durumlarda bu alt katman yırtılsa da, akış hızı azaldıktan sonra yeniden hızla birikmeye başlar.

Kaya dizi ve grupları arasındaki mesafeler, su kotu farkı en çok  $\Delta h = 0,2$  m olacak şekilde seçilmelidir.

Gömülü kayalık eşik yapılarının yapısal çeşitliliği bazen öyle fazla olur ki, bunların eğimlerini, suni yapılarından ayırmak çok zor olabilir. Bu rampaların planlanması ve inşası, doğala benzer diğer tipteki geçitlerden çok daha fazla tecrübe gerektirir.



**Şekil 4.5:** Kaya dizisi şeklindeki taban basamakları (üstten görünüş)



**Şekil 4.6:** Kavisli taban rampasının üstten görünüşü (Schauberger, 1975)

Nehir faunası, kaya dizileri şeklinde inşa edilen meyilli tabanları her iki yönde de sınırlama olmadan aşabilir.

#### 4.1.2.2 Üstten görünüş

Taban rampaları, taban genişliği ( $b_{\text{taban}}$ )  $15$  m'den fazla olan büyük nehirlerde Şekil 4.6'da gösterildiği gibi kavisli şekilde inşa edilir. Kret profilinin, en kesitte  $0,3$  ila  $0,6$  m'lik bir yüksekliği vardır. Küçük nehirlerdeki rampalarda genellikle kavis bulunmaz; bunun yerine düz çizgi biçiminde bir kret inşa edilir. Tesisin hemen mansabındaki tabanı sağlamlaştırılmış bölge, yapıyı geriye doğru gelişen aşınmaya karşı korur. Rampanın tamamen susuz kalmaması ve debinin düşük olduğu dönemde su derinliğinin az olmasını önlemek için yapıya bir su kanalı eklenmelidir.

#### 4.1.2.3 Boy kesit

Kayalarla inşa edilen taban rampalarının tasarımında eğimler, kural olarak  $1:8$  ila  $1:10$  (inşası bitmiş durumda) alınır. Kaya dolgu veya kaya dizisi şeklinde inşa edilen eşiklerin tasarımında,  $1:15$  ila  $1:30$  gibi daha düşük eğimler kullanılır.



Kayalık rampaların eğimi 1:10 olduğunda ortaya çıkan akış hızları, pek çok balık ve dip canlısı için çok yüksektir. Bu durum, nehir kıyılarına doğru yükselen bir profile, uçtaki alanlarda düşük su akışlı alanlar oluşturularak iyileştirilebilir.

Düşük debilerde bile ortalama su derinliği  $h = 0,30$  ila  $0,40$  m'den az olmamalıdır. Büyük kayalar ve dinlenme alanı oluşturan derin havuzcuklar balıkların membaya çıkışını kolaylaştırır, çok değişken ve görsel olarak çekici bir akış deseni oluşturur. Bu ölçütleri en çok karşılayan taban yapısı dizi biçiminde olmalıdır.

Balık geçitlerinde izin verilen azami su hızı,  $v_{max} = 2,0$  m/s'dir.

#### 4.1.3 Su düşülerinin yeniden modellenmesi

Su canlılarının aşamadığı dik düşüler, genellikle az bir çabayla meyilli tabana dönüştürülebilmektedir. Alçak düşülerin (Şekil 4.7) bulunduğu yerlerde yapılması gereken sadece, içerisine büyük kaya veya kaya dizilerinin gömülebileceği irili ufaklı taş yığını oluşturmaktır. Bu tür yapıların eğimi yaklaşık 1:20 olmalıdır. Taban malzemesi ile sürekliliği sağlamak maksadıyla düşü kenarının şevli hâle getirilmesi veya taşla kaplanması gerekir.

#### 4.1.4 Regüle edilebilen bentlerin dağınık veya basamaklı rampalara dönüştürülmesi

Su yönetimi ile ilgili kuralların izin vermesi durumunda, ayrı bir balık geçidi inşa etmek yerine, mevcut bentleri dağınık veya basamaklı rampalar şekline dönüştürmek tercih edilmelidir.

Dağınık veya basamaklı rampalar, mansap su seviyesini muhafaza etmeye ve nehrin ovalık kesimlerinde



Şekil 4.7: Yapay düşünün pürüzlü meyilli tabana dönüştürülmesi

istenmeyen yeraltı su seviye düşüşlerini önlemeye imkân tanır. Ancak, su seviye regülasyonu bir daha gerçekleştirilemez. Ayrıca feyzan durumunda savak seviyesini aşağıya indirerek debi en kesitini artırmak da mümkün olmaz; sonuç olarak şiddetli yağışların olduğu dönemde su kotu yükselebilir. Rampa kretini genişletmek, eşiklerin performansını artırabilir. Ovalık kesimdeki tarımsal kullanım yoğunluğu azaldığında veya hidroelektrik enerji üretimi ya da su içerisindedir ulaşım gibi diğer su kullanım alanlarından vazgeçildiğinde, bent yerine dağınık veya basamaklı rampaların inşası özellikle uygundur.

Bu yapının bir avantajı da, eşik yukarısındaki alanda silt birikimine imkân tanınması ve orta-uzun vadede serbest akış şartlarının yeniden oluşturulabilmesidir. Her durumda, yeraltı su seviyesinin korunmasına gerek olup olmadığının veya yerel şartların su yükü seviyesinin düşürülmesine, böylece eski depolamanın rehabilite edilmesine izin verip vermediğinin belirlenmesi için çalışma yapılması gerekir.

Rampa yapısının mümkün olduğunca basit kaya dolgu biçiminde olması istenir; üst katmana büyük kaya



Şekil 4.8: Regüle edilebilen bir bendin koruma eşiği hâline dönüştürülmesi

lar veya kaya dizileri ilave edilebilir (Şekil 4.8). Kayalar arasındaki boşluklar, büyük ölçüde akıntıyla gelen çakıl ve kumla (bu malzemeler inşaat sırasında da eklenebilir) dolabilir; böylece debinin az olduğu dönemde su kayıpları azalır ve rampanın susuz kalması engellenmiş olur. Sızdırmazlık elemanı olarak inşaat sırasında kum/kil malzemenin serilmesi de etkin bir yöntemdir. Hem eşik kreti hem de nehir yatağı mansap bağlantısı, kazık dizisi ile sağlamlaştırılabilmektedir.

Regüle edilebilen bentlerin üst yapısının (akış regülasyon elamanları) yıkılması ve alt yapısının (çökeltme havuzu) üzerinin örtülmesi gerekir.

#### 4.1.5 Genel değerlendirme

Ekolojik olarak değerlendirildiğinde, engelin tamamen kaldırılamadığı nehirlerde balık geçişini yeniden sağlamanın en iyi yolu, hafif eğimli kaba malzemeli


taban rampalarının inşasıdır. Gevşek yapılar (küçük kaya dolgu) ve dizi şeklindeki yapılara göre klasik kayalık rampalar daha çok tercih edilmektedir. Beton kullanımı, yapının sağlamlığını azaltmayacak şekilde en alt seviyede olmalıdır.

Nehirlerde ve regüle edilebilir bentlerde düşüleri değiştirmek için kaya dolgu veya dizi biçiminde taban eşikleri de kullanılabilir.

Bakım ihtiyacı oldukça düşük olup, muhtemel hasarlara karşı düzenli kontrolle birlikte, özellikle feyzandan sonra yüzer hâldeki çerçöpün ve atıkların temizlenmesi gerekebilir.

Sucul faunada yer alan bütün canlılar bu yapılardan hem memba hem de mansap yönünde serbestçe geçebilmektedir.

## 4.1.6 Örnekler

<b>GROSSWEIL TABAN RAMPASI</b>	
<b>Akarsuyla ilgili bilgiler</b>	<b>Meyilli tabanla ilgili bilgiler</b>
Akarsu: Loisach Nehri, Bavyera	Yapılış: Kaya parçaları
Debi: MNQ = 8,68 m <sup>3</sup> /s	Genişlik: b = 72 m
MQ = 23,1 m <sup>3</sup> /s	Su yükü: h = 2,7 m
HQ <sub>100</sub> = 400 m <sup>3</sup> /s	Eğim: 1 : 10, kenar bölgelerde 1 : 15
Sorumlu: WWA Weilheim	İnşa yılı: 1973/74
<b>Yapı tasarımı:</b>	
<p>Bu yapı, memba ve mansapta palplanş perdesi olan iri kayalardan (kütlesi 3-5 t) oluşan rampa şeklindedir. Hemen mansabında yer alan tabanı sağlamlaştırılmış bölge kısıdır. İnşaatin yapıldığı dönemde balıkların bu tür rampalardan geçişiyle ilgili tecrübe fazla olmadığından, havuzlar oluşturmak üzere farklı yükseklikte kaya parçaları kullanılarak inşa edilen 4 m genişliğindeki balık geçidinin sağ tarafında kalan 1/3'lük bölümüne tekne geçiş yeri (kızağı) dâhil edilmiştir.</p> <p>Bu rampa, sol sahile doğru iyice sığlaşmakta, derinliği az olan çok farklı akış desenleri ve bu kenar bölgede daha düşük akış hızları ortaya çıkarmaktadır. Bu durum, yüzme kabiliyeti zayıf olan balıkların membaya çıkmasına imkân tanır. Bununla birlikte, neredeyse hiçbir çağırma akıntısının olmadığı balık geçidi girişindeki yüksek türbülanslı akış şartları sebebiyle, balıklar için geçidin yerini bulmak zorlaşır. Bu sebeple, sığ kenar bölgeleri, balık geçişinin sürekliliği bakımından çok daha etkin ve gereklidir. Bu geçitten elde edilen olumlu tecrübe ışığında Su Yönetim Teşkilatı (WWA), sorumluluk alanı içerisinde bağımsız bir balık geçidi bulunmayan başka meyilli tabanlar inşa etmiş ve çok başarılı sonuçlar alınmıştır.</p> <p>Nehri kiralayan balıkçılar, balık stokuna ilişkin olumlu gelişmelerin olduğunu gözlemlemiştir.</p>	
	
<p><b>Şekil 4.9:</b> Grossweil/Loisach taban rampası (mansaptan görünüş)</p> <p>Daha sığ olan kenar bölgesindeki düşük akış hızları ve farklı akış desenleri, dip canlılarının yanı sıra balık türleri içerisinde yüzme kabiliyeti zayıf olanların da bu rampayı aşabilmesini sağlamaktadır; bu sebeple, göçe yardımcı başka bir tesise (bağımsız balık geçidi gibi) gerek duyulmaz.</p>	

## BISCHOFSWERDER KORUMA EŞİĞİ

Akarsuyla ilgili bilgiler		Koruma eşiğiyle ilgili bilgiler	
Akarsu:	Dölln Deresi, Brandenburg	Yapılış:	Kaya dolgu eşik
Debi:	MNQ = 0,44 m <sup>3</sup> /s MQ = 0,9 m <sup>3</sup> /s HQ <sub>25</sub> = 5,1 m <sup>3</sup> /s	Genişlik:	b = 4,0 ila 6,0 m
Eşik yüksekliği:	h = 1,0 m	Eğim:	I = 1 : 20
Sorumlu:	LUA Brandenburg	Uzunluk:	l = 20 m
		Su derinliği:	h = 0,3 m ila 0,6 m (MQ'da)
		Azami akış hızı:	v <sub>max</sub> = 1,3 ila 2,2 m/s
		İnşa yılı:	1992

### Yapının tanıtımı

Bu koruma eşiği, ahşap bendin (tarihi bent) yerine yapılmış olup, kaya dolgu rampa olarak inşa edilmiştir. Rampa gövdesi nehirdeki taşlardan (d = 25 cm) oluşur; "sızdırmazlık" inşaatın başlangıcında yapının içerisine dökülen killi kumla sağlanmıştır. Büyük kaya parçaları (d=50 cm - 100 cm) akış hızını düşürmekte ve membaya çıkan balıklara bir korunak imkânı sunmaktadır.



Memba göçünün izlenmesi sonucu, rampadan balıkların geçebildiği doğrulanmıştır. Dölln deresinin rampanın membayında kalan ve daha önceden sucul fauna yönünden fakirleşen bölümlerinde Havel Nehri'nden göçler sayesinde tür bakımından zengin yoğun bir ihtiyosönoz gelişmiştir.

#### Şekil 4.10:

İyileştirme öncesi ahşap bent – su canlıları için aşılabilir engel



#### Şekil 4.11:

İyileştirme sonrası Bischofswerder koruma eşiği



## MAXLMÜHLE TABAN EŞİĞİ

Akarsuyla ilgili bilgiler	Taban rampasıyla ilgili bilgiler
<p>Akarsu: Mangfall Nehri, Bavyera</p> <p>Debi: MNQ = 1,16 m<sup>3</sup>/s MQ = 4,83 m<sup>3</sup>/s HQ<sub>100</sub> = 270 m<sup>3</sup>/s</p> <p>Sorumlu: Bağımsız Bavyera Eyaleti/ WWA Rosenheim</p>	<p>Yapılış: Kaya dizisi</p> <p>Genişlik: b = yaklaşık 15 m</p> <p>Basamak yüksekliği: h = 1,7 m</p> <p>Eğim: I = 1 : 26</p> <p>İnşa yılı: 1989</p>

### Yapının tanıtımı

Maxlmühle'deki Mangfall Nehri'nin restore edilmiş bölümünde (Weyarn karayolu köprüsünün yakınında) sucul faunanın aşamadığı dik düşüleri olan çeşitli yapıların yerine doğala benzer tasarımda meyilli tabanlar inşa edilmiştir.

Aşağıda gösterilen rampa dizi yapılışı olup, rampa gövdesi 2,5 m ila 3 m derinliğe gömülmüş enine uzanan

bağımsız kaya dizilerinden oluşmaktadır. Enine diziler kavisli ve çapraz olduğundan birbirine dayanır. Yapıda oluşan havuzlar, akarsuda mevcut taban malzemesi ile dolmaktadır; kendi doğal dinamikleri (havuz oluşumu, silt birikimi) hâkimdir. Bu şekilde tasarlanmış meyilli tabanlar, nehir peyzajına çok iyi uyum sağlar; suni bir yapı olduğunu anlamak çok zordur. Bu geçitlerden bütün sucul fauna üyeleri geçebilmektedir.

**Şekil 4.12:** Mangfall Nehrindeki basamaklı tabanın boy kesiti, kaya dizisi yapılışı (şematik gösterim)

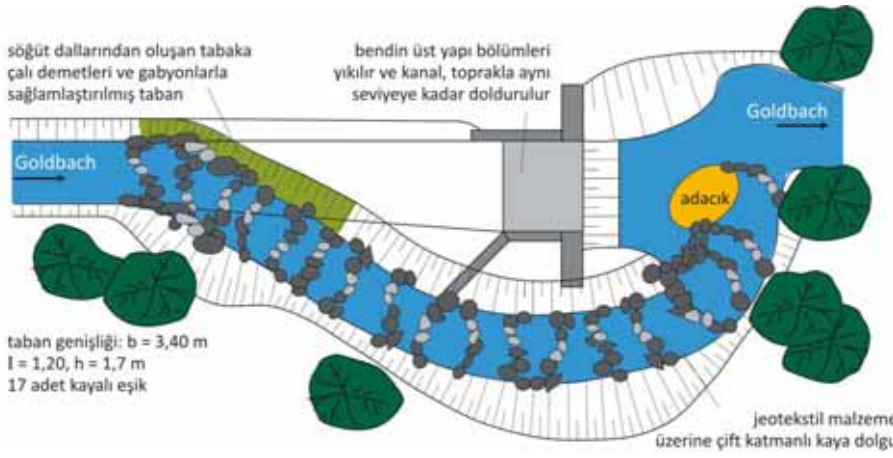


### Şekil 4.13 :

Mangfall Nehrindeki basamaklı taban burada kullanılan dizi yapılışı olağandışı bir yapısal çeşitlilik meydana getirir. Göçlerin yeniden sağlanması amacıyla, nehrin bütün genişliği boyunca tabandaki bir düşünün dönüştürülmesi her zaman muhtemel en iyi çözüm olarak ele alınmalı ve ayrı bir balık merdiveni yerine bu yapı tercih edilmelidir.

## MÜHLENHAGEN TABAN EŞİĞİ

Akarsuyla ilgili bilgiler	Taban rampasıyla ilgili bilgiler
Akarsu: Mühlenhagen'e yakın Goldbach nehri Mecklenburg/West Pomerania	Yapılış: Kaya dolgu yapı
Debi: $MQ = 0,38 \text{ m}^3/\text{s}$ $HHQ = 2,8 \text{ m}^3/\text{s}$	Genişlik: $b = 3,4 \text{ m}$
Yükseklik: $h_{\text{top}} = 1,70 \text{ m}$	Eğim: $I = 1 : 20$
	Uzunluk: $l = 38 \text{ m}$
	İnşa yılı: 1992
	Sorumlu: Altentreptow ilçesi



**Şekil 4.14:**

Mühlenhagen/Goldbach taban rampası yerleşiminin üstten görünüşü



**Şekil 4.15:**

Mühlenhagen/Goldbach taban rampası

Terk edilmiş değirmen bendi artık kullanım dışıdır. Yan geçitle aşılınan değirmen havuzu siltle dolmuş olup, korunmaya değer bir sucul biyotop şeklini almıştır. Bent yapısının yıkılması önemli miktarda taban erozyonuna ve gelen su bölgesinde taban suyunun düşmesine sebep olmuştur. Bu yüzden gelen su seviyesini yüzyıllardır bu akarsuda görülen seviyede

tutmak amacıyla bendin yerine düşük eğimli, pürüzlü bir meyilli taban inşa edilmiştir.

Rampanın toplam yüksekliği 1,7 m olup, eğimi 1:20'dir. Akış hızlarını izin verilen sınırlarda tutmak için kaya dizileri ardışık havuzlar şeklinde düzenlenmiştir. Havuzlardaki su derinliği 30 - 40 cm'dir. Yatak, en kesiti jeotekstil üzerine serilen taş tabakası ile sağlamlaştırılmıştır. Dizileri oluşturmak için 40 ila 50 cm çapında, yöreden temin edilen kayalar kullanılmıştır.

## 4.2 Yan geçit kanalları

### 4.2.1 Prensip

“Yan geçit kanalı” terimi; bir engeli, yanından geçerek aşan ve doğal nehri taklit eden doğal görünümlü kanal biçimindeki balık geçitleri için kullanılmaktadır. Bu kanal oldukça uzun olabilir. Yan geçit kanalları, balık geçidi ilavesiyle gnn yeniden baŐlatılabilmesi için mevcut barajların uygun hâle getirilmesi amacıyla, genellikle baraj yapısında bir değişiklik yapılması gerekmediğinden özellikle uygundur.

Kural olarak yan geçit kanalından debinin sadece bir bölümü bırakılır. Bununla birlikte, kullanımı sona eren tarihi bentler, koruma eşikleri veya küçük nehirler üzerindeki baraj tesislerinde, önceden belirlenmiş değere (genellikle ortalama su kotu) kadar debinin tamamı yan geçit kanalından verilebilir; baraj işlevselliğini korur; ancak sadece taşkın debilerinin geçişine hizmet eder.

Yan geçit kanalının en önemli dezavantajı, yapımı için çok fazla yüzey alanına gerek duyulmasıdır. Bu tipte bir balık geçidinin kullanılabilirliği, esasen yerel Şartlara bağlıdır. Diğer taraftan böyle bir kanalın daha uzun yapılması, doğaya görsel olarak mkemmел bir uyum sağlayan doğala benzer yapılar için bulunmaz bir fırsattır.

İnşa edilen yan geçit kanalları sadece göçmen balıklara geçiş sağlamaz; bu kanallar ayrıca reofilik (akıntıyı seven) canlı türlerinin bu geçitleri habitat olarak kullanmasına da imkân tanır. Nehirdeki stenotipik, reofilik canlı türlerinin yaşama ve reme Şartlarının özellikle olumsuz etkilendiği rezervuara dönüşmüş

nehirlerin restorasyonunda bu hususa ayrıca dikkat etmek gerekir.

Yan geçit kanalları ayrıca, müdahale edilmemiş nehirdekine benzer akış Şartları sağladığından ve göçmen canlıların rezervuara dönüŐen alanın tamamından (bazen su kabarması sınırına kadar) abiyotik karakteristiklerde ani değişikliğe sebep olmadan geçebilmesine imkân tanıdığından, nehir sürekliğini muhafaza eder veya yeniden sağlar.

### 4.2.2 Tasarım ve boyutlar

Yan geçit kanal tasarımında “doğala benzer” nehir restorasyonu ilkeleri uygulanmalıdır (DVWK 1984, Lange & Lecher, 1993 vd.). Ancak, eğimler daha dik olduğundan, taban ve kıyıları sağlamlaştırmak ve akış hızlarını azaltmak için tedbirler alınmalıdır.

Şekil 4.2’de verilene benzer, dik eğimler bakımından zengin bir doğal dere, yan geçit kanalı tasarımı için model olarak kullanılabilir.

Bu model yardımıyla, yan geçit kanalları için aşağıdaki tasarım ltleri türetilebilir; burada verilen boyutlar asgari olarak istenen değerlerdir:

EĞim:

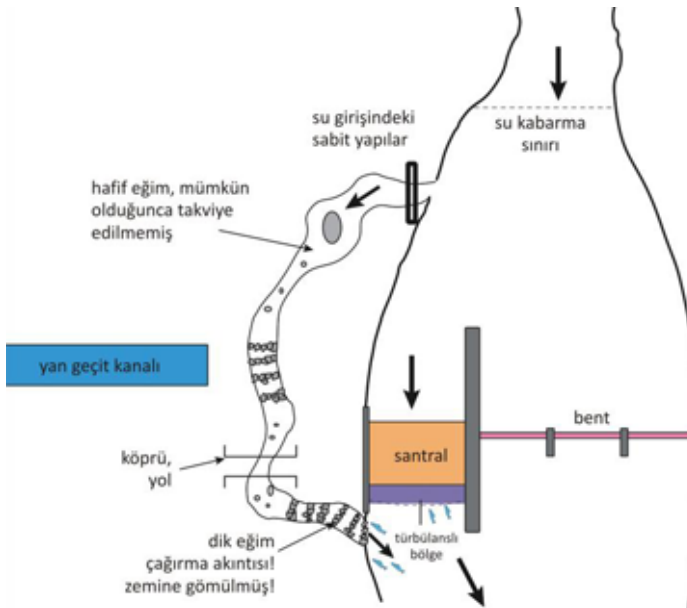
$$I = 1:100 \text{ ila en çok } 1:20, \text{ nehrin yapısına göre;}$$

taban genişliği:

$$b_{\text{tab}} > 0,80 \text{ m;}$$

ortalama su derinliği:

$$h > 0,2 \text{ m;}$$



**Şekil 4.16:**

Yan geçit kanalı.  
Barajın yanından geçiş:  
Yaygın tasarım rneği



ortalama akış hızı:

$$v_m = 0,4 \text{ ila } 0,6 \text{ m/s}$$

(su derinliği ve ortalama akış hızı, ağırlıklı olarak nehir büyüklüğüne ve yapısına bağlıdır);

azami akış hızı:

$$v_{max} = 1,6 \text{ ila } 2,0 \text{ m/s, yerel olarak sınırlıdır;}$$

taban:

pürüzlü, sürekli, ara boşluklarla birbirine bağlı; mümkünse, ayrıca bir sızdırmazlık veya taban güçlendirmesi yapmadan, inşa alanında bulunan doğal malzemeden yapılmış olmalıdır;

biçim:

kıvrımlı veya düz; menderes yapılı olabilir; suyun durgun ve hızlı aktığı bölümleri olan;

en kesit:

değişken; kıyıların biyolojik mühendislik yöntemleri ile korunması tercih edilir; eğimi azaltmak için büyük kayalar ve kayalık eşikler kullanılır;

genişlik - debi ilişkisi:

$$q > 0,1 \text{ m}^3/\text{s} \cdot \text{m}$$

#### 4.2.2.1 Üstten görünüş

Arazideki yer durumu ile jeolojik ve eğim karakteristiklerine göre bir biçim seçilmelidir. Kanal; düz, kıvrımlı veya eğri olabilir. Barajın altında yan geçit kanalına girişin konumlandırılması, teknik balık geçitlerine uygulanan ilkelere göre belirlenir. Mansap tarafındaki girişi, doğrudan bendin veya santral binasının

altına yerleştirmek amacıyla yan geçit kanalının bazen kendi etrafında 180° dönmesi gerekir. Bazı yan geçit kanalları çok uzun olduğundan, gelen su tarafına çıkış yapısı, mambadan oldukça uzak bir yere konumlandırılmalıdır.

Özel bir yan geçit kanalı biçimi olan ve havuzlu geçit olarak adlandırılan yapı, yapay akarsuda (kayalık eşikler) birbirine düşüler veya kısa dik kanallar vasıtasıyla bağlanmış, birbirini takip eden havuz biçimli geniş bölümlerden meydana gelmektedir (Jens, 1982, Jäger, 1994).

Yan geçit kanalları başka yapılarla da birleştirilebilmektedir. Örneğin, yer yer sıkıntı yaşanan bölümleri aşmak veya mansap bağlantısı sağlamak amacıyla teknik balık geçitleri (havuzlu, Denil veya düşey yarıklı geçitler, Bölüm 5'e bakınız) kullanılabilir.

#### 4.2.2.2 Boy kesit

Yan geçit kanalının eğimi, olabildiğince az olmalıdır. Eğim üst sınırı için önerilen değer  $I_{tab} = 1:20'$ 'dir. Daha dik eğimler, yapıya kayalık eşikler eklenerek parçalara bölünebilir. Akışın daha sakin olduğu alanlar, havuzlar veya havuz benzeri geniş yerler, özellikle dik eğimli uzun bölümlerden sonra, balıkların yukarı daha kolay geçmesine imkân tanır ve sığınma yerleri olarak da işlev görür.

Yan geçit kanalı için yeterli alan varsa, sadece dik eğimli birkaç bölüm eklenmesi tavsiye edilir (Şekil 4.16). Yeterli bir çağırma akıntısı oluşturmak amacıyla, mansap bağlantı yerinde dik eğimli bir bölümün olması gerekir. Daha sonra bu bölgedeki doğal nehir eğimini takiben başka bölümler de inşa edilebilir; ayrıca zemin takviyesine gerek duyulmaz.



**Şekil 4.17:**

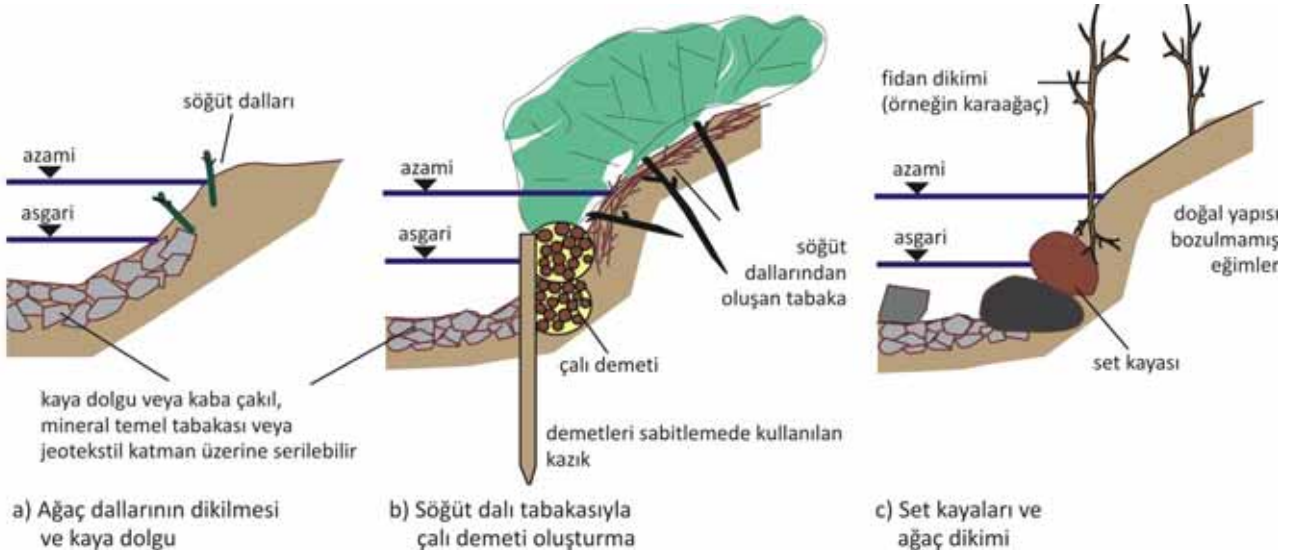
Yan geçit kanalları, doğala benzer tasarıma imkân tanır ve inşa edildiği yere iyi bir uyum sağlar. Bu örnekte kanal kıyı çizgileri mevcut ağaç örtüsüne göre belirlenmiştir. Lapnow Değirmeni (Brandenburg).

Kritik su derinliği belirlenirken, potansiyel doğal balık faunası ve yüzme performansları (balık kuşaklarına göre) dikkate alınmalıdır; ancak,  $h = 0,2$  m'den sığ olması önerilmez.

#### 4.2.2.3 Kanal en kesiti

En kesit genişliği, su derinliği ve akıntı, olabildiğince farklı olmalıdır. Bununla birlikte, taban genişliği 0,80 m'den az olmamalıdır. Yer yer daralan ve genişleyen kanallar, doğal görünümlü tasarıma yardımcı olur. Normal şartlarda en kesit takviyesine gerek duyulur; bu durum özellikle eğimin dik olduğu kesimlerde önemlidir. Kullanılacak takviye tipine karar verirken, doğal özelliklere benzer karakteristikler sağlayan nehir restorasyon metotları kullanılmalıdır. Genel olarak tabanın kaba çakıl ile veya çakıl ya da jeotekstil alt katman üzerine serilen nehir taşları ile sağlamlaştırılması yeterlidir. Böylece oluşan ara boşluklar, dipte yaşayan omurgasız canlıların yerleşmesi ve göçü için iyi bir imkân sunar. Ayrıca kaba taşlar ince rüsubu tutarak, doğal taban katmanının bu ara boşluklarda birikmesini sağlar.

Eğimli tabanı ve kıyıları sağlamlaştırmak için farklı inşaat yöntemleri birleştirilebilir; bu amaçla, canlı bitkilerle birlikte kaya, çalı demeti (çubuk demeti) vb. malzeme birlikte kullanılabilir. Şekil 4.18'de, çalı demeti ile örtü oluşturma, set blokları, söğüt dallarından oluşan tabaka, çalı formunda bitki dikimi ve söğüt dalları ile bitki dikimi gibi tekniklere ve bunların bir arada kullanımına örnekler verilmiştir.



Şekil 4.18: Yan geçit kanallarının tabanının ve kıyıların sağlamlaştırılmasına örnekler

Doğal taban yapısı aşınmaya karşı yeterince dirençli ve bitişiğinde bulunan arazi bakımından bir risk oluşturmuyorsa, yan geçit kanalı kendi doğal dinamiklerine bırakılabilir ve tabanın yapay olarak sağlamlaştırılmasına gerek kalmaz.

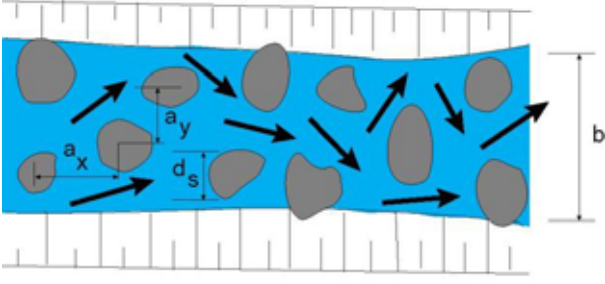
Kanalın ağaç veya çalı dikimi ile hafifçe gölgelenmesi, balık göçü üzerinde olumlu etki oluşturur (balıklar gizlenebilir ve kendilerine sığınak bulabilir), diğer taraftan doğayla görsel bakımdan hoş bir uyum gösterir ve kıyıların güçlendirilmesine katkı sağlar.

#### 4.2.2.4 Büyük kayalar ve kayalık eşikler

Eğim 1:20 ile 1:30 arasında olduğunda, yan geçit kanalında izin verilen 0,4 ila 0,6 m/s'lik ortalama akış hızını ilave kontrol yapıları olmadan sürekli kılmak genellikle mümkün olmamaktadır. Bu tür ilaveler için görsel bakımdan en cazip malzeme, bölgeden temin edilen büyük kayalardır.

Aşağıdaki yöntemler kullanılabilir:

- Gelişigüzel biçimde çapraz olarak zemine gömülmüş büyük kayalar pürüzlülüğün artmasını sağlar. Orta ve düşük debili dönemlerde su akışı, bu kayaların çevresinden veya biraz üzerinden olur. Kayalar ayrıca su derinliğini artırır ve akış hızını düşürür. Membaya çıkan balıklar, kayaların çevresinde sığınacak yer bulur. Dar en kesitlerde akış rejiminde yerel değişimler ortaya çıkabilir (Şekil 4.19). Kayaların yerleştirilmesine ilişkin kılavuz değerler aşağıda verilmiştir:



**Şekil 4.19:** İçerisine enerji kırıcı kayaların yerleştirildiği yan geçit kanalı

$$a_x = a_y = 2 \text{ ila } 3 d_s \text{ tir.}$$

( $a_x$ ,  $a_y$  ve  $d_s$ 'nin tanımı Şekil 4.19'da verilmiştir)

Büyük kayalar arasında açıklık en az 0,3 ila 0,4 m olmalıdır.

Kayalar, boylarının 1/3'ü veya 1/4'üne kadar tabana gömülmelidir. İzinsiz olarak yerlerinin değiştirilmemesi (örneğin, oyun oynayan çocuklar tarafından) için bunların yeterince büyük olması gerekir.

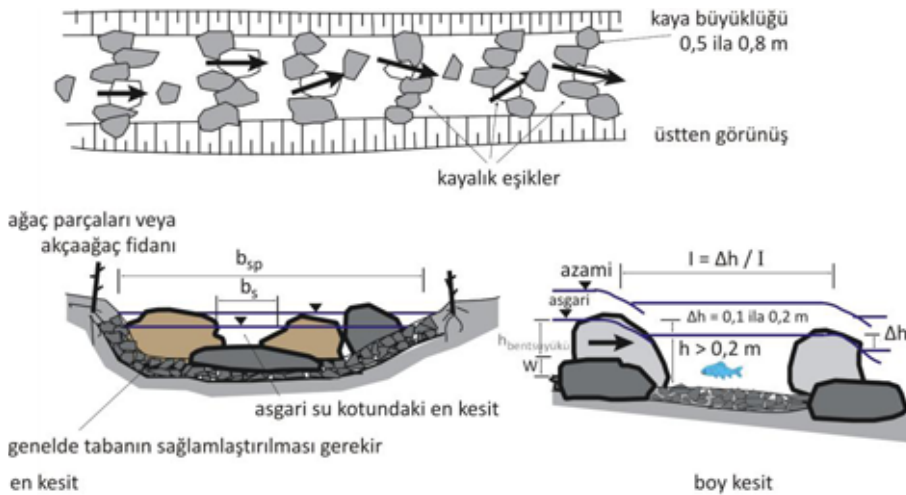
- Enine kaya dizisinin oluşturulması, akış en kesitini, diziler arasında havuzlar oluşacak ve içerisinde su birikecek ölçüde daraltabilir. Büyük kayaların takviye edilmiş tabana farklı derinliklerde gömülmesi sonucu enine diziler oluşur. Bu yöntemin prensibi Şekil 4.20'de gösterilmiştir; buradaki kayalar dizi biçiminde yığılmıştır. Kural olarak, kenarları büyük dikdörtgen şeklinde olan kayalara (kare biçimli taşlar) ihtiyaç duyulur.
- Batık kayalık eşiklerin (su düşülerinin) eklenmesi. Kısmen veya tamamen su altında kalan bu eşikler, tabana gömülmüş büyük kayalar kullanılarak meydana getirilir. Bent etkisi sonucu su hızı azal-

dığından havuzlar oluşur; buralarda su derinliğinin (akarsuyun yapısına bağlı olarak) 0,3 ile 0,6 m arasında olması hedeflenmelidir. Diziler arasındaki mesafe (havuz boyu) ritron kesimlerde, taban eğimi nedeniyle 1,5 m'den az olmamalıdır; her bir dizi diğerine göre bir basamak ve su düşüsü oluşturur (basamaklı havuzlu geçit). Her bir eşikteki düşü yüksekliği,  $h_{max} = 0,20$  m değerini kesinlikle aşmamalıdır. Potamon kesimlerde, diğerleri ile birlikte yapıdaki kusurlar, istenmeyen malzeme ile tıkanma vb. sorunların giderilmesi için  $h = 0,10$  ila 0,15 m'lik küçük düşüler tercih edilmelidir. Diziler arasındaki mesafenin, eşiklerden hızla ayrılan su jeti olmayacak ve her zaman bir eşik, mansaptaki diğer eşikin kabarma seviyesinde kalacak şekilde olması gerekir. Buna ek olarak havuzlara tek tek büyük kayalar da yerleştirilebilir (Şekil 4.20). Eşikler arasındaki mesafe ve su derinlikleri, havuzlarda yeterli bir dinlenme alanı oluşturacak şekilde olmalıdır. Bu sebeple, hacimsel enerji kırılmasının potamon kesimlerde  $E = 150$  W/m<sup>3</sup>, ritron kesimlerde ise  $E = 200$  W/m<sup>3</sup> olması tavsiye edilmektedir (havuzlardaki enerji dönüşümleri için Bölüm 4.4'e de bakılmalıdır).

Bu inşa biçimi, ince malzemelerin havuzlarda tutulmasına ve doğal şartlara çok benzeyen bir taban yapısı oluşmasına imkân tanır.

#### 4.2.2.5 Yan geçit kanalında su giriş ve çıkış yerlerinin tasarımı

Özellikle memba su kotlarının çok değişken veya kıyıların taşkın riski altında olduğu yerlerde, yan geçit



**Şekil 4.20:**

Bir yan geçit kanalında eğimi parçalara ayırmak için kayalık eşiklerin kullanılması





**Şekil 4.21:**

Bir taşkın koruma depolamasında (henüz tamamlanmamış) yan geçit kanalının su giriş yapısındaki kontrol düzeneği. Yapı, gelen akımı sınırlandırır, taşkın olduğunda veya kanalda bakım yapılması gerektiğinde kapatılabilir. Açıklığın tabana kadar uzanması ve taban yapısının sürekliliğini engellememesi çok önemlidir.

Kinsau'daki (Bavyera) Lech barajı

kanalının su giriş yerinde (balık geçidi çıkışı<sup>#</sup>) sağlam yapılar ve akış kontrol düzeneklerine ihtiyaç duyulur. Kanaldan geçen akış bakım çalışmaları için sınırlandırılabilir veya tamamen kesilebilir. Bu mekanizma, genellikle uygun şekilde boyutlandırılmış bir kontrol düzeneği ile basit bir destek betonu veya taş duvar yardımıyla oluşturulabilir. Açıklık yüksekliği, balık geçidi asgari su kotundayken bile kurumayacak seviyede olmalıdır; yan geçit kanalında suyun asgari kota düşmesine izin verilmez; çünkü bu durumda sadece membaya çıkan balıkların göçü engellenmez, kanaldaki dip canlıları da olumsuz etkilenir. Balık geçidi çıkış yapısı, izleme çalışmaları sırasında balık tuzağı olarak da kullanılabilir şekilde tasarlanmalıdır.

Su çıkış yapısının (balık geçidi girişi<sup>#</sup>) tasarımı bütün işletme şartlarında yeterli miktarda çağırma akıntısı sağlayacak şekilde olmalıdır. Bu kuralı sağlamanın yolu, mansap bağlantı yeri eğiminin olabildiğince dik olmasıdır, böylece akış hızları yeterli bir yönlendirme etkisi meydana getirebilir. Mamba su kotunun çok değişken olduğu yerlerde, bu tahliye en kesiti, bir yarıklı mansaba açılan (yarıklı geçitler için Bölüm 5.2'ye bakınız) sağlam bir yapı vasıtasıyla daraltılabilir, bu sayede su çıkış yapısındaki akış hızı artırılabilir.

Mümkün olan her durumda, balık geçidinin tabanı, akarsu tabanına doğrudan bağlanmalıdır.

Genellikle baraj mansabında ortaya çıkan kıyı ve taban üzerindeki artan baskıyla baş etmek için su çıkış yapısının (balık geçidi girişi<sup>#</sup>) çevresinde yeterli takviyenin sağlanması gerekir. Yan geçit kanalının ilk bölümü (geçide girişten hemen sonraki bölüm<sup>#</sup>), özellikle bir hidroelektrik santralin kuyruk suyunun bırakıldığı akarsu bölümüne bağlanırken veya man-

sap su kotlarında aşırı dalgalanmaların görüldüğü durumlarda teknik balık geçidi biçiminde inşa edilebilir.

#### 4.2.2.6 Geçiş yerleri

Yan geçit kanalları, genellikle trafik veya başka amaçlar için ihtiyaç duyulan bir tür geçiş yeri işlevi görür. Bu kanal üzerindeki geçiş yerleri, göç yolunda yeni engeller oluşturmayacak şekilde tasarlanmalıdır; köprüler, çoğunlukla en iyi çözümdür. Köprü altındaki (kuru) banket, diğer canlıların (amfibiyanlar, su samuru vb.) göçünü kolaylaştırır.

Geçiş yerleri, yan geçit kanalının en kesiti daralmayacak şekilde tasarlanmalıdır. Köprü altında veya tünel içerisindeki geçiş yeri tabanı, küçük balıkların ve dip canlılarının geçişini temin için kaba malzemeden ve kesintisiz olmalıdır. Doğal taban malzemesinin kullanılmadığı durumda, kaba çakıl veya küçük taşlardan oluşan ve kalınlığı 0,20 ila 0,30 m olan bir tabaka yeterlidir. Geçiş yerinin uzunluğu açıklık genişliğinin 10 katını geçmemelidir.

#### 4.2.3 Genel değerlendirme

Yan geçit kanallarının en önemli avantajları aşağıda verilmiştir:

- Doğaya görsel olarak mükemmel uyum sağlar.
- Küçük balıklar ve dipte yaşayan omurgasız canlılar tarafından aşılabilir.

<sup>#</sup> Editörün notu


- Özellikle reofilik türler için ikincil biyotop şeklinde yeni habitatlar oluşturur.
- Tıkanma ihtimali az olup, bakım ihtiyacı düşüktür ve işletilmesi daha güvenlidir.
- Genellikle bir engeli uzun bir kurbula yandan geçer; bu nedenle, yapısal değişikliklere gerek kalmadan balık geçidi olmayan mevcut barajların uygun hâle getirilmesi için uygundur.
- Göçmen türlerin, baraj topuğundan su kabarma sınırına kadar olan su ile dolu alanın dışında kalmasını sağlar.

Bu avantajlara karşılık aşağıda verilen dezavantajlar göz önüne alınmalıdır:

- Çok büyük yüzey alanı gerekmektedir.
- Kanal uzunluğu fazladır.
- Memba su kotlarındaki değişimlere hassastır; bu sebeple, su girişine (balık geçidi çıkışı) ilave yapılar inşa etmek gerekebilir.
- Mansap bağlantısı, genellikle sadece teknik balık geçidi ile mümkündür.
- Tesisin etrafındaki arazide derin kazılar yapılması gerekebilir.



## 4.2.4 Örnekler

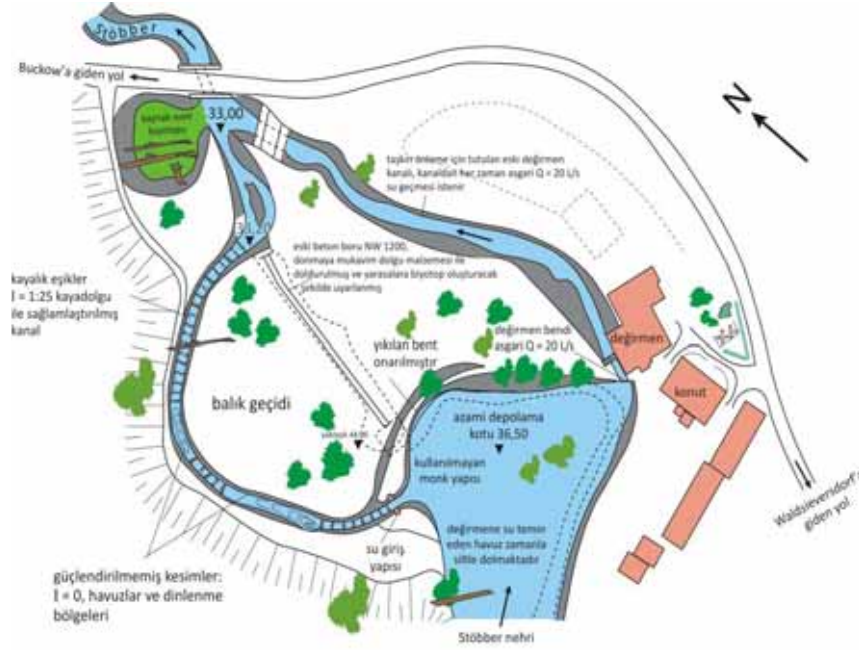
<b>VARREL BÄKE DERESİ YAN GEÇİT KANALI</b>	
<b>Akarsuyla ilgili bilgiler</b>	<b>Yan geçit kanalıyla ilgili bilgiler</b>
<p>Akarsu: Varrel Bäke Deresi, Aşağı Saksonya</p> <p>Amacı: Değirmen bendi</p> <p>Debi: MNQ = 0,35 m<sup>3</sup>/s MQ = 0,96 m<sup>3</sup>/s MHQ = 8,14 m<sup>3</sup>/s</p> <p>Düşü yüksekliği: h<sub>top</sub> = 2,9 m</p>	<p>Uzunluk: l = 130 m</p> <p>Genişlik: b<sub>tab</sub> = 2,50 m</p> <p>Eğim: I = 1 : 45</p> <p>Debi: Q = 0,25 ila 0,50 m<sup>3</sup>/s</p> <p>Su derinliği: h = 0,30 ila 0,80 m</p> <p>Akış hızı: v<sub>max</sub> = 1,3 ila 1,4 m/s</p> <p>Kaya eşikler arası mesafe: 3,35 m</p> <p>İnşa yılı: 1992</p> <p>Sorumlu: Ochtumverband</p>
	
<p><b>Şekil 4.22:</b> Varrel Estate (Aşağı Saksonya) yakınındaki Varrel Bäke deresinde bulunan yan geçit kanalı</p> <p>Buradaki terk edilmiş değirmen bendinin, hidroelektrik enerji üretimi için olmasa da, taban kararlığı (stabilizasyonu) ve yeraltı su seviyesi muhafazası amacıyla korunması gerekmektedir. Balık havuzlarına verilen su, değirmen bendinin membaındaki bir yerden saptırılmıştır. MNQ (ortalama asgari su kotu)'ye kadar debilerde, balık havuzları için ihtiyaç duyulmayan su, balık geçidinden tahliye edilmektedir.</p> <p>Eğim oldukça düşük olmasına karşın, su derinliğini artırmak ve akış hızını düşürmek için tesise yapısal elemanların eklenmesi gerekmiştir. Enine diziler, kenarlara ve taban eşiklerine gömülmüş kayalardan oluşmaktadır. Kayalar, yükseklikleri sayesinde, debinin çok yüksek olduğu zamanlarda bile kanal hidroliğini olumsuz etkilemeyecek tarzda tam olarak işlev görmektedir. Kıyıları, ortalama su kotunun üzerine kadar bitkisel kaplama ve kaya dolgu ile sağlamlaştırılmıştır.</p>	

## SEIFERT DEĞİRMENİ YAN GEÇİT KANALI

Akarsuyla ilgili bilgiler	Yan geçit kanalıyla ilgili bilgiler
Akarsu: Stöbber Nehri, Brandenburg	Uzunluk: $l = 120$ m
Debi: $MNQ = 0,15$ m <sup>3</sup> /s	Genişlik: $b_{tab} = 2,4$ m
$MQ = 0,37$ m <sup>3</sup> /s	Eğim: $I = 1 : 25$
$MHQ = 0,88$ m <sup>3</sup> /s	Su derinliği: $h = 0,20$ ila $0,50$ m
Amacı: Değirmen bendi	Akış hızı: $v_{max} = 1,8$ m/s
Düşü yüksekliği: $h_{top} = 3,30$ m	İnşa yılı: 1993

### Şekil 4.23:

Seiferts Değirmenine ait bendin konumunu gösteren şema



Eski değirmen bendi enerji üretmek amacıyla kullanılsa da, değirmene su temin eden depolama, bir çökeltim havuzu olarak ve yeni oluşan sulak alan biyotopunun korunması amacıyla muhafaza edilmiştir. İçerisinden MHQ (ortalama azami su debisi)'ye kadar olan debinin geçtiği, uzunluğu 120 m olan yan geçit kanalı, değirmene su temin eden depolamanın yanına inşa edilmiştir. Toplam 2,30 m'lik kot farkı, kanal tabanının bölümler hâlinde kayalık eşiklerle sağlamlaştırılmasını zorunlu kılmıştır. Diğer kesimlerde eğim sıfır olup, güçlendirme yapılmamıştır; böylece havuzda, dik kıyı ve silt birikmesi gibi doğal dinamikler gelişir.



### Şekil 4.24:

Seifert Değirmenindeki yan geçit kanalı

Kayalık eşiklerle güçlendirilmiş kesimler ile güçlendirilmemiş kesimlerin ardışıklığı çok değişken akış rejimi oluşturur. Eğimin sıfır olduğu yerler kendi doğal dinamiklerine bırakılabilir. Fotoğrafta ön planda malzeme alındıktan sonra dikleşmiş kıyı görülmektedir; bu durum tesis için tehlike oluşturmaz.

## KINSAU YAN GEÇİT KANALI

Akarsuyla ilgili bilgiler	Yan geçit kanalıyla ilgili bilgiler
Akarsu: Lech Nehri, Bavyera	Uzunluk: $l =$ yaklaşık 800 m
Debi: $MQ = 85 \text{ m}^3/\text{s}$	Debi: $Q = 0,8 \text{ m}^3/\text{s}$
$HQ_{100} = 1400 \text{ m}^3/\text{s}$	Genişlik: değişken, $b_{\text{tab}} = 2,5-4,0 \text{ m}$
Amacı: Hidroelektrik enerji üretimi	Eğim: değişken, ortalama $I = 1 : 100$
Düşü yüksekliği: $h_{\text{top}} = 6,5 \text{ m}$	azami yaklaşık $1 : 30$
Sorumlu: BAWAG	İnşa yılı: 1992



Şekil 4.25: Vaziyet planı



Şekil 4.26:

Yan geçit kanalı, ana bendin mansabında eski nehir yatağına bağlanmıştır; işletme yönünden asgari debi  $20 \text{ m}^3/\text{s}$  olarak verilmektedir. Fotoğrafta Kinsau'daki Lech bendine ait yan geçit kanalının memba kısmı görülmektedir. Bu bölge hafif eğimli olarak inşa edilmiştir; böylece kanal en kesitinde bir güçlendirme yapılmadan engebeli bir tasarım elde edilebilir. Azami yükseklik farkı, basamaklı biçimde inşa edilen alt bölümle aşılmış olup, eğim  $I=1:20$  ila  $1:30$ 'tur. Debi kontrolü, yan geçit kanalını aynı zamanda feyezana karşı da koruyan su giriş yapısı ile sağlanmaktadır. Bu bentle ilgili durum, ana enerji santraline ikinci bir balık merdiveni inşası ile önemli ölçüde iyileştirilebilir.



### 4.3 Balık rampaları

Su kotunun kontrol edilmesi gerekmediğinde ve yeterince su debisi olduğunda, bir bendin tamamı taban rampasına (Bölüm 4.1) dönüştürülebilir. Böyle bir dönüşüm, hidroelektrik enerji üretimi, taşkın koruma, ziraat veya balık yetiştiriciliği amaçlı su ihtiyaçları sebebiyle genellikle yaygın değildir. Bu amaçla, su canlılarının göçüne imkân tanımak üzere bent yapısının en azından bir bölümüne genişliği daha az, kaba malzemeli bir rampa (balık rampası olarak adlandırılır) dâhil edilebilir (Şekil 4.27). Balık rampaları, balık geçidi olmayan mevcut bentlerin uyumlu hâle getirilmesi için de uygundur.

Balık rampası tasarım modeli de tabiattan alınmıştır. Bu yapıların tasarımında temel amaç, Şekil 4.2'dekine benzer şekilde, yaklaşık olarak dik eğimleri olan doğal nehir kesimlerindeki veya derelerdeki yapısal çeşitliliği taklit etmektir.

#### 4.3.1 Prensip

Balık rampaları normalde bent yapısı içerisine doğrudan dâhil edilmekte, asgari ve ortalama su seviyesinde mevcut toplam debiyi bir araya getirmektedir (Şekil 4.27). Örneğin, yan geçitli enerji santralleri için gerekli çevresel akış balık rampasından verilebilir ve su, sadece taşkın zamanlarında savaktan akar.

Balıkların memba göçü için gerekli olan su derinliği ve akış hızlarını sağlamak amacıyla balık rampalarında büyük kayalar ve kayalık eşikler basamaklı yapı oluşturacak şekilde düzenlenir.

Rampa genişliği, temelde balıkların memba göç zamanlarındaki debilere göre belirlenir. Memba göçünü kolaylaştıran bu yapıların etkinliği, taşkın zamanlarında ve debinin fazla olduğu dönemlerde azabil-

mektedir. Taşkınlarla dayanıklı bir balık rampasının boyutlarını belirlemede temel ölçüt, yapı sağlamlığının sağlanmasıdır.

#### 4.3.2 Tasarım ve boyutlar

##### 4.3.2.1 Üstten görünüş

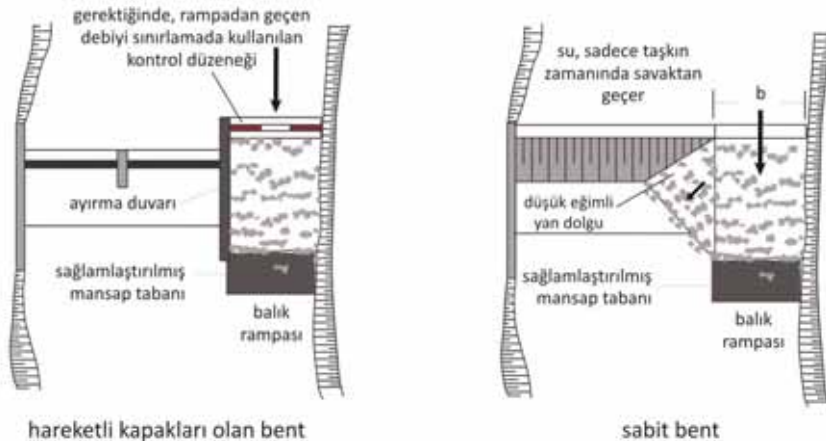
Balık rampaları kural olarak nehir kıyısına inşa edilir ve debinin büyük bölümünün geçtiği kıyı tercih edilir. Nehirde yan tarafta bulunan batık savaklarda, balık rampası inşası için dar açı tercih edilmelidir. Balık rampası yapımı için genellikle mevcut boş tahliye kanalı veya kullanım dışı olan çakıl geçidinden yararlanılabilir.

Çok dik eğimli dolu gövdeli bentlerde, dik düşüleri olan engellerde veya hareketli kapaklarla teçhiz edilmiş bentlerde yapılan balık rampalarının, çoğunlukla bir kıyıdan sağlam duvarla (Şekil 4.27'deki ayırma duvarı) ayrılması gerekir (ayrıca bkz. Şekil 4.28). Düşük eğimli bentlerdeki balık rampaları, ölü noktaların oluşmaması için yanal olarak eğimli bir şekilde doldurulabilir (Şekil 4.27).

Debinin tamamı balık rampasından geçiyorsa, kılavuz akıntının her zaman açık bir şekilde yön göstermesi gerekir. Bu sebeple, rampanın mansabına bir giriş yerleştirilebilir. Balık rampaları genellikle bent kretinden gelen suyu toplar; bu, inşa aşamasında suyu saptırma gibi teknik faydalar da sağlar. Membadaki su giriş yapısı (balık geçidi çıkışı<sup>#</sup>), özellikle taşkın zamanlarında rampadan geçen debiyi sınırlandırmak için dar en kesitli tasarımlanabilir.

Rampa genişliği mevcut debiye bağlı olup, 2,0 m'den az olmamalıdır.

<sup>#</sup> Editörün notu



**Şekil 4.27:**  
Bentlerdeki balık rampalarının konumu



**Şekil 4.28:**

Bu örnekteki balık rampası bent açıklığının solunda yer almaktadır,  $MQ'$ 'ya (ortalama debi) kadar olan toplam debi bu yapıdan tahliye edilmektedir. Rampa, çapraz düzenlenmiş enerji kırıcı kayaları olan pürüzlü kanal şeklinde tasarlanmıştır. Rampa gövdesi kaya dolgudur. Balık rampası taşlardan yapılmış bir duvarla serbest bent alanından ayrılmıştır. Krewelin bendi, Dölln deresi (Brandenburg).



**Şekil 4.29:**

Yan geçitli enerji santralinin ana bendindeki balık rampasının konumu. Normalde asgari toplam debi balık rampasından geçmektedir; böylece su, sadece debinin yüksek olduğu zamanlarda savaktan akar.

Sieg'deki Eitorf balık rampası (Kuzey Ren Vestfalya).

#### 4.3.2.2 Boy kesit

Balık rampası tasarımına ilişkin genel kurallar aşağıda verilmiştir:

- Ortalama su derinliği:  $h = 30$  ila  $40$  cm,
- Eğim:  $I < 1:20$  ila  $1:30$ ,
- Akış hızı:  $v_{max} = 1,6$  ila  $2,0$  m/s,
- Taban yapısı: birçok ara boşluklu, pürüzlü, kesintisiz, nehir yatak tabanı ile bağlantılı
- Memba göçünü kolaylaştırıcı sığınma yerleri, derin bölgeler ve dinlenme havuzları vardır.

Balık rampalarında  $1:20$  veya daha düşük eğim gerekir. Bu kuralın bir istisnası, Bölüm 4.3.2.7'de verilen

pürüzlü kanalı olan havuzlu geçit olup, burada eğim  $1:10'$ a ulaşabilmektedir.

Özellikle rampa boyu  $30$  m'yi aştığında, hafif eğimli kesimin daha uzun ve dinlenme havuzlarının daha derin olması tavsiye edilir.

#### 4.3.2.3 Rampa gövdesi

Kayalık eşiklerde kullanılan genel yapılaş tipleri aşağıda verilmiştir:

- Kaya dolgu inşa (gevşek inşaat),
- Blok taşlarla inşa (inşası bitmiş ve düzene koyulmuş hâldeki klasik Schauburger rampası),
- Dağınık inşa (dizi şeklinde yapılaş).

Bu yapılar birkaç küçük değişiklikle balık rampalarına dönüştürülebilir (Bölüm 4.1 ve Şekil 4.3).

Balık rampalarında, taraklanmış taşlar nadiren kullanılmaktadır. Genellikle alt yapı, temel katmanlarıyla ilgili kurallara uygun olarak tabakalar hâlinde döşenen veya jeotekstil malzeme ya da sızdırmaz bir tabaka üzerine serilen kırma taş dolgudan meydana gelmektedir. Rampa gövdesinin tamamen sağlam malzemedan inşası masrafları artırabilir; ancak yapısal veya dayanım gibi sebeplerle gerekli olabilir. Bu durumda, beton rampa gövdesinin yüzey tabakası, beton priz almadan önce yüzeye bir çakıl veya blokaj tabakası serilerek pürüzlü hâle getirilmelidir.

Dizi yapılıklı rampalar çok yaygındır. Her biri derine gömülmüş kaya dizileri, basamaklı yapı oluşturacak şekilde düzenlenir. Kaya dizileri arasındaki havuzlar, inşaat alanında mevcut taban malzemesi ile doldurulur, havuz oluşumu ve silt birikmesi bakımından doğal dinamiklerine bırakılır. Tabanı kumlu nehirlerde, havuzların riprapla (kaya dolgusu) kaplanması gerekir; aksi takdirde, debinin çok yüksek olduğu dönemde oluşan aşınma havuzları çok derinleşebilir. Bu şekilde inşa edilen rampa, kayalık eşikli kaya dolgu rampa olarak adlandırılır.

Kaya dolgu arasındaki kaçaklardan kaynaklanan su kaybı nedeniyle, nehirdeki su miktarının az olduğu dönemde kaya dolgu rampa gövdeleri ile ilgili sorun yaşanabilir. Olağanüstü durumlarda bu durum, rampa kretinin tamamen kurummasına ve balık geçidi olarak işlev görememesine yol açabilmektedir. Çok miktarda rüsup taşıyan nehirlerde, rampa kret seviyesinin asgari memba su kotunda olduğu durumda, yıkanan rüsupla hızlı bir biçimde sızdırmazlık sağlanır. Rampa kreti yüksek olduğunda ve suda rüsup bulunmadığında bu süreç çok uzun zaman alır; böyle bir durumda boşlukları doldurmak için kum ve çakıl serilir.

Debinin değişken olduğu rampalar için kama biçimli veya parabolik en kesit tavsiye edilmektedir. Bu en kesit, suyun az olduğu dönemde küçük debileri toplarken, debinin yüksek olduğu zamanlarda, akış hızlarının düşük olduğu kenar bölgelerinde daha sığ alanların oluşmasına imkân tanır.

#### 4.3.2.4 Büyük kayalar ve kayalık eşikler

Rampalar genellikle 1:20 ile 1:30 arasında hafif eğimli ve tabanları pürüzlü olmasına rağmen, akış hızlarını izin verilen azami sınırların altında tutmak mümkün olmamaktadır. Bu sebeple, balık rampalarının eğimleriyle ilgili olarak yapıya, akış hızını azaltan ve su

derinliğini artıran ilave elemanlar eklenir. Bu amaçla kullanılan en uygun malzeme büyük kayalardır.

Yan geçit kanallarında olduğu gibi, balık rampaları ile birlikte aşağıda verilenler kullanılabilir:

- Büyük ve tek enerji kırıcı kayalar: Su, bu kayaların etrafından geçer, rampanın pürüzlülüğünü artırır ve balıklar için dinlenme ve sığınma yerleri sağlar (Şekil 4.19).
- Bütün rampa genişliği boyunca enine uzanan düzensiz kaya dizileri: Su, bu dizilerin arasından veya üzerinden geçer; havuz yapısı oluşturur (Şekil 4.20).

Tasarımı, Bölüm 4.2.2.4'te yan geçit kanalları için verilenle aynıdır. Kaya dizilerinin, düşük debilerde havuzlarda yeterli su derinliği sağlamak ve ince malzemeyi tutmak gibi üstünlükleri vardır.

Hidrolik hesaplamalar Bölüm 4.4'te verilmiştir.

#### 4.3.2.5 Kıyı koruması

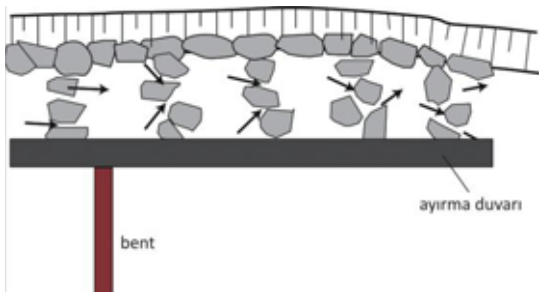
Balık rampası kenarlarının, sürekli maruz kalınan yüksek akış hızlarına dayanabilmesi için tekniğine uygun olarak korunması gerekmektedir. Kayalık eşikler ve enerji kırıcı kayaları, yerine sabitlemek için özel tedbirlere gerek duyulur; bu yapılar akışın sebep olduğu erozyonu engeller, aksi takdirde tesisin işlevsel etkinliği ve dayanıklılığı tehlikeye girer. Kıyıların riprap veya set bloklarıyla sağlamlaştırılması, ayrıca korumanın ortalama su kotuna kadar genişletilmesi gerekir. Bu kotun üzerinde kalan yerde eğimler, canlı bitkilerle sağlamlaştırılabilir. Şekil 4.18'de örnekler verilmiş olup, bunlar birlikte de kullanılabilir.

#### 4.3.2.6 Balık rampasının mansabındaki sağlamlaştırılmış bölge

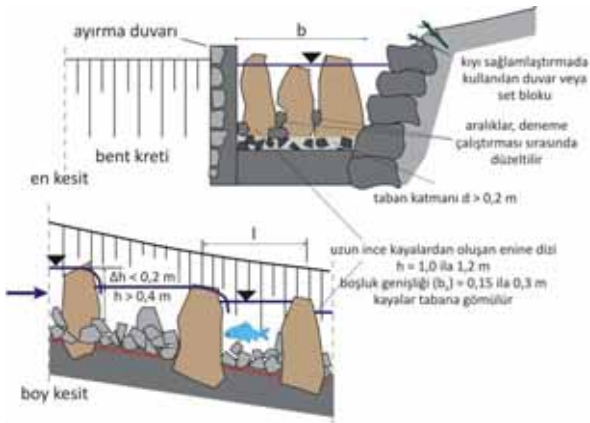
Balık rampasının sağlamlığı aşınma tehlikesi altındadır; rampa tabanında havuzlar oluşup, geriye doğru ilerleyen bir aşınma başlayabilir. Bu soruna karşı koymak için, rampanın hemen mansabındaki nehir tabanının sağlamlaştırılması gerekmektedir. Bunun için en uygun yol, temel tabakası alt yapısı ile birlikte çok katmanlı kaya dolgu yöntemini kullanmaktır.

Sağlamlaştırılması gereken mansap bölgesi uzunluğu, meyilli taban uzunluğu kadardır (Gebler, 1990, Knauss, 1979, Patzner, 1982, Whittaker & Jäggi, 1986). Nehir yatağının erozyona dayanıklı olduğu yerlerde, sağlamlaştırılacak taban bölgesinin asgari uzunluğu 3 ile 5 m arasındadır. Aşınma tehlikesi altındaki kumlu nehir tabanları için Gebler (1990),





Şekil 4.30: Pürüzlü kanal tipinde havuzlu geçit (üstten görünüş)



Şekil 4.31: Pürüzlü kanal tipinde havuzlu geçit (kanal en kesiti ve boy kesiti)

mansapta rampa uzunluğunun 7 ila 10 katı uzunluğundaki bir mesafenin, tane büyüklüğü kademeli olan kaya dolgu malzeme ile mansaba doğru sağlamlaştırılmasını tavsiye etmektedir (Şekil 4.4). Ayrıca, rampa tabanında dinlendirme havuzu olarak bir depolama yapısının inşa edilmesi de önerilmektedir.

### 4.3.3 Özel durumlar

#### 4.3.3.1 Pürüzlü kanal tipinde havuzlu geçit

Pürüzlü kanal tipindeki havuzlu geçit, teknik balık geçidi ile balık rampası bileşiminden oluşmaktadır; bu yapıda havuz payanda duvarlarının yerini kenara sütun biçiminde yerleştirilen kayalar alır. Bu düzenleme, klasik balık rampalarına göre daha fazla su derinliği elde edilmesine ve daha dik eğimlerin (azami 1:10'a kadar) kullanılmasına izin verir. Burada, izin verilen azami akış hızlarının ( $v_{max} = 2,0$  m) sürekliliğini temin için havuzlar arasındaki kot farkının  $h = 0,2$  m'yi aşmaması önemlidir. Kural olarak pürüzlü kanal tipindeki havuzlu geçitte, yapıyı bent gövdesinden ayıran, sağlam taş veya betondan yapılmış ayırma duvarına ihtiyaç duyulur (Şekil 4.30).

Bu tip balık geçidi, inşaat için kullanılabilir alanın çok az olduğu ritronik akarsular için özellikle uygundur.

Kanal genişliği en az 1,5 m, kaya dizileri arasındaki açık mesafe ise 1,5 ila 2,5 m olmalıdır. İhtiyaç duyulan asgari su derinliği  $h = 0,4$  m'dir.

Taşkın debilerinin çok fazla olması bekleniyorsa, kanal tabanı sadece betondan yapılmalıdır. Kaya dolgu taban daha iyidir.

Geçidin taban katmanına gömülmüş, ince ve uzun iri kayalar (taş ocağından çıkarılan) enine dizilerin oluşturulmasında kullanılır (Şekil 4.31). Kayalar, beklenen debilere bağlı olarak kaya dolgu tabana yaklaşık 0,4 m derinliğinde, kanal betonu priz almadan gömülür veya beton eşik üzerine yerleştirilir. Kayaların, su sadece etrafından geçecek ve üzerinden aşmayacak şekilde gömülmesi gerekmektedir. Kayalar arasındaki açıklığın genişliği, büyük balıkların membaya geçişini sağlamak ve istenmeyen cisimlerle tıkanma riskini azaltmak için en az 0,20 m olmalıdır.

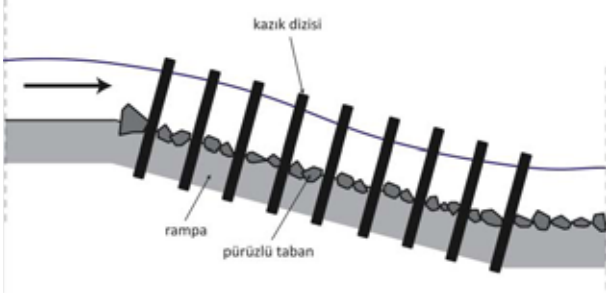
Kayalar, hem boyuna hem de enine yönde, debinin daha iyi tahliyesini sağlamak ve havuzlarda enerjiyi daha çok kırmak için çapraz olarak yerleştirilmelidir. Su jetleri, her zaman mansaptaki diğer enine kaya dizisi üzerine çarpmalı, kısa devre akıntı oluşumuna sebep olmamak için bir sonraki dizinin içerisinden geçmemelidir.

Bu tür düzenli olmayan yapıların karakteristikleri önceden tam olarak hesaplanamaz; deneme ve düzeltme aşamaları tamamlanmadan önce balık geçidinin istenildiği gibi çalışmama riski her zaman mevcuttur. Bu sebeple, inşa safhasında sürekli deneme yapılması çok önemlidir; deneme sonucuna göre enine dizideki kayaların düzeni iyileştirilebilir.

#### 4.3.3.2 Kazıklı geçit

Balık rampalarının başka bir türü "kazıklı geçit"tir (Şekil 4.32); bu tesiste ahşap kazıklar, su hızını balıkların memba göçüne imkân tanıyacak seviyeye kadar düşürür (Geitner & Drewes, 1990). Nehrin doğal karakteristiklerine uygun olmaması sebebiyle büyük kayaların kullanılmadığı durumda bu tip geçitler tavsiye edilmektedir.

Kazıklı geçitte kazıklar, ya sıra hâlinde ya da aralarındaki mesafe kazık çapının 5 ila 10 katı olacak şekilde çapraz olarak düzenlenir, rampa gövdesine çakılır veya taban alt tabakasının sert olması durumunda betona gömülür. Kazık çapı 10 cm ila 30 cm olmalıdır. Boyu, normal su kotunda su, kazıkların etrafından geçecek ve üzerinden aşmayacak kadar uzun olmalıdır. Kendini temizleme sürecini iyileştirmek amacıyla, kazıkların akış yönünde hafif eğimli hâle



**Şekil 4.32:** Kazıklı geçit (boy kesitin şematik gösterilişi)

getirilmesi tavsiye edilir; böylece, kısa süreli taşkın zamanlarında su kazıkların üzerinden geçer ve birikintileri uzaklaştırır.

Diğer yapıların aksine, kazıkların yeterince uzun olması şartıyla, kazıklı geçitler gelen su seviyesindeki dalgalanmalardan çok fazla etkilenmez. Çizgisel direnç kanununa göre, akış hızları rampadaki farklı su derinliklerinde aynı kalmaktadır.

#### 4.3.4 Genel değerlendirme

Balık rampaları “doğala benzer” yapılar olup, aşağıdaki özelliklerle karakterize edilir:

- Yüksek olmayan sabit bent tesislerinin uyarlanması için uygundur.

- Küçük balıklar ve yavru balıklar ile dip omurgasızları kolayca geçilebilir.
- Balıkların mansap göçleri için de uygundur.
- Doğal görünümlü ve görsel bakımdan ilgi çekici bir tasarıma sahiptir.
- Diğer yapılarla kıyaslandığında daha az bakım ihtiyacı vardır.
- Kolayca tıkanmaz; su yüzeyindeki istenmeyen cisimler ve taşkın rüsubatı tesisin etkinliğini kısa sürede etkilemez.
- Kılavuz akıntılar yeterli olup, balıklar tarafından yeri kolayca tespit edilebilmektedir.
- Reofilik türler için yaşam alanı sağlar.

Olumsuz yönleri ise şunlardır:

- Memba su kotlarındaki dalgalanmalara karşı hassastır.
- İşletilebilmesi için büyük debiler gerekir.
- Çok geniş bir alanı kaplar.

## 4.3.5 Örnekler

ESELSBRÜCKE BALIK RAMPASI			
Akarsuyla ilgili bilgiler		Balık rampasıyla ilgili bilgiler	
Akarsu:	Elz Nehri (Baden-Württemberg) rüsup taşımaktadır	Genişlik:	b = 2,5 ila 3,5 m
Debi:	MQ = 2,0 m <sup>3</sup> /s HQ <sub>100</sub> = 147 m <sup>3</sup> /s	Eğim:	I = 1 : 20
Düşü yüksekliği:	h = 1,20 m	Uzunluk:	l = 30 m
Bent:	Sabit verev savaklı	Su derinliği:	h = 0,2 m ila 0,4 m
Amacı:	Koruma eşiği	Azami akış hızı:	v <sub>max</sub> = 1,5 m/s
		Debi:	Q = 0,3 ila 0,4 m <sup>3</sup> /s
		İnşa yılı:	1993

**Yapının tanıtımı**

Elz Nehri'ndeki Eselsbrücke bendinde bulunan balık rampası, bendin memba tarafına nehir aksına açılı olacak şekilde inşa edilmiştir. Rampa, mevcut kıyı eğimi ile bent gövdesi arasına yerleştirilerek doğayla ve mevcut bent yapısıyla görsel bakımdan iyi bir uyum sağlamıştır.

Rampa ile gelen su arasında bağlantı oluşturmak için bent kretinde yaklaşık 4 m genişliğinde bir yarma yapılmıştır. Rampa gövdesinin iskeleti, grup hâlinde düzenlenmiş kayalardan (h = 1,0 ila 1,5 m) oluşan enine on adet diziden meydana gelmektedir. Diziler arası alan, nehirden sağlanan taş ve çakıl karışımı ile doldurulmuştur. Arada kalan havuzlarda, havuz oluşumuna ve çakıl birikimine yol açan dinamik faaliyetlere sınırlı oranda izin verilir.

**Şekil 4.33:**

Elz Nehrindeki Eselsbrücke balık rampası (mansaptan görünüş)

Açılı rampa, sedde ve mevcut bent yapısı ile tam olarak bütünleşmiştir.

## DATTENFELD BALIK RAMPASI

Akarsuyla ilgili bilgiler	Rampayla ilgili veriler
Akarsu: Sieg, NRW	Genişlik: $b = 10 \text{ m}$
Debi: $MNQ = 3,0 \text{ m}^3/\text{s}$	Eğim: $l = 1 : 20$
$MQ = 21,0 \text{ m}^3/\text{s}$	Uzunluk: $l = 50 \text{ m}$
$HHQ = 612 \text{ m}^3/\text{s}$	Debi: $Q = 2,0 \text{ m}^3/\text{s}$
Engel: Dolu gövdeli savak eşiği	Azami akış hızı: $v_{\max} = 1,5 - 2,0 \text{ m/s}$
Yükseklik: $h = 1,80 \text{ m}$	İnşa yılı: 1987
Genişlik: $b = 90 \text{ m}$	Sorumlu: StAWA <sup>#</sup> Bonn

### Yapının tanıtımı

Bu balık rampası, nehrin sağ sahili ile mevcut dolu gövdeli savak eşiği arasına açılı bir şekilde yerleştirilmiştir. Rampa gövdesi, içerisine ocak taşı gömülmüş dolu beton yapı olarak inşa edilmiş olup, betonun ıslak üst tabakası priz almadan önce kaba çakıl malzeme serilerek pürüzlü hâle getirilmiştir. Ayrıca, büyük enerji kırıcı kayalar (aralarında yaklaşık 1,5 m açık mesafe olacak şekilde düzenlenmiş, çapı en çok 80 cm) akış hızını düşürür ve



rampayı çıkmaya çalışan balıklar için bir sığınma ortamı oluşturur. Rampa, kıyıya doğru gittikçe sığlaşır; bu durum, dayanıksız balık türlerinin ve dip canlılarının geçitten geçmelerine imkân tanır.

#### Şekil 4.34:

Dattenfeld/Sieg balık rampası (üzerinde balık rampası bulunan taban eşiğinin genel görünüşü)



#### Şekil 4.35:

Mansaptan görünüş

<sup>#</sup> StAWA: Staatliche Ämter für Wasser- und Abfallwirtschaft [Su ve Atık Yönetimi için Hükümet Ofisleri] (Editörün notu)



## DELMENHORST BALIK RAMPASI

Akarsuyla ilgili bilgiler	Rampayla ilgili veriler
Akarsu: Delme, Aşağı Saksonya	Genişlik: $b = 2.4$ ila $4,5$ m
Debi: $MNQ = 0,3$ m <sup>3</sup> /s	Eğim: $I = 1 : 41.5$
$MQ = 1,0$ m <sup>3</sup> /s	Uzunluk: $l = 27$ m
$MHQ = 5$ m <sup>3</sup> /s	Su derinliği: $h = 0,30 - 0,7$ m
Düşü yüksekliği: $h \approx 0,6$ m	Azami akış hızı: $v_{max} = 1,3 - 1,4$ m/s
Kullanım amacı: Önceleri su temin amacıyla kullanılmaktaydı	İnşa yılı: 1993
	Sorumlu: Ochtumverband

### Yapıyla ilgili ayrıntılar

Bentteki mevcut tahliye kapaklarından biri, hafif eğimli balık rampası olarak düzenlenmiştir. Rampanın içerisinden ortalama düşük akıma kadar olan debiler geçmekte ve su sadece daha büyük debilerde savaklanmaktadır.

Rampa, bendin memba tarafında tesis edilmiş olup, mansap tarafındaki çıkış (balık geçidi girişi<sup>#</sup>) fazla suyun tahliye edildiği yerin hemen yanında bent ayağındadır. Bendin membaında akarsuyun ortasında rampayı ayırmak için beton duvar inşa edilmiştir. Rampa, 4 ila 5,5 m aralıklı olarak büyük kayalardan oluşan enine dizi şeklinde düzenlenmiştir. Kayalar gabyonlar üzerine yerleştirilmiştir. Enine diziler arasında yaklaşık 10 cm'lik kot farkı bulunmaktadır. Bu diziler arasında kanal biçimli havuzlar meydana gelir. Hem havuzlar hem de kayalar arasındaki geçiş yerleri yaklaşık 25 cm kalınlığında kesintisiz kaba çakıl ve taş tabakası ile kaplı olup, bunlar ara boşlukları oluşturur.

Rampa, su alma ağzındaki savak kapağı yardımıyla bakım süresince kapalı tutulabilir; rampaya su buradan girer, kapak aynı zamanda sudaki istenmeyen cisimleri de tutar.



**Şekil 4.36:**

Delmenhorst balık rampası

İnşaatin tamamlanmasından kısa bir süre sonra memba-dan çekilen fotoğraf. Hafif eğimli rampa, çakıl ve taşlardan oluşan kesintisiz bir substrat tabakası ile kaplıdır. Rampanın bendin memba-na inşası ve çıkışın (balık girişi<sup>#</sup>) hemen bendin bitişiğine konumlandırılması sayesinde, “ölü köşe” oluşumu engellenmiştir. Bu tip pürüzlü yüzeyli, düşük eğimli rampalar, nehirdeki bütün canlıların kısıtlama olmadan yukarı geçebilmesini sağlayabilir.

<sup>#</sup> Editörün notu

## PÜRÜZLÜ KANALI OLAN UHINGEN HAVUZLU GEÇİDİ

Akarsuyla ilgili bilgiler		Balık geçidi ile ilgili veriler	
Akarsu:	Fils, Baden-Württemberg	Debi:	$Q = 0,34 \text{ m}^3/\text{s}$
Yapı tipi:	Lastik bent	Genişlik:	$b = 1,90 \text{ m}$
Yükseklik:	$h_{\text{top}} = 3,6 \text{ m}$	Eğim:	$I = 1 : 9$
Debi:	$MQ = 9,8 \text{ m}^3/\text{s}$ $HQ_{100} = 284 \text{ m}^3/\text{s}$	Uzunluk:	$l = 32 \text{ m}$
Kullanım amacı:	Hidroelektrik enerji üretimi	Su derinliği:	$h = 0,6 \text{ ila } 0,8 \text{ m}$
		İnşa yılı:	1989

### Yapıyla ilgili ayrıntılar

Fils ırmağı, taş ve çakılla kaplı tabanı  $b = 10$  ila  $15 \text{ m}$  genişliğinde ve eğimi  $I = \% 2$  olan, yüksek kesimlerden moloz taşıyan, hidrolik olarak değişime uğramış bir akarsudur.

Balık geçidi, sol sahildeki mevcut duvara bağlanmış ve bent gövdesinden yüksek olmayan beton bir ayırma duvarıyla bölünmüştür. Kenara yerleştirilmiş kaya parçaları beton temele gömülü olup, üzeri yaklaşık  $0,20 \text{ m}$  kalınlığında kaba çakıl tabakası ve araya serpiştirilmiş daha büyük birkaç taş içermektedir. Kaya dizileri arasındaki mesafe  $1,65$  ile  $3,15 \text{ m}$  arasında değişmektedir. En kesitlerdeki düzensiz debi sebebiyle her kaya dizisinde büyük ölçüde değişen su derinliği (ve akış hızları) meydana gelmesine ilişkin endişeler tesis denemelerinde doğrulanmamıştır. Kurulum sırasında yarıkların genişletilmesi veya daraltılması gibi fazladan çalışma gerekli olmasına karşın, su derinlikleri ve su kotu farkları baştan itibaren belirlenen sınırlar dâhilinde kalmıştır.



**Şekil 4.37:**  
Pürüzlü kanallı Uhingen/Fils havuzlu geçidi  
Mansaptan görünüş



## SPILLENBURG BENDİ'NDEKİ BALIK RAMPASI

Akarsuyla ilgili bilgiler	Balık geçidi ile ilgili veriler
Akarsu: Ruhr Nehri, NRW	Debi: $Q = 1 \text{ m}^3/\text{s}$
Debi: MNQ = $20 \text{ m}^3/\text{s}$	Genişlik: $b = 10 \text{ m}$
MQ = $70 \text{ m}^3/\text{s}$	Eğim: $I = 1 : 25$
HHQ = $2300 \text{ m}^3/\text{s}$	Uzunluk: $l = \text{yaklaşık } 102 \text{ m}$
Yapı tipi: İki basamaklı, sabit bent	Su derinliği: $h = 0,6 \text{ ila } 1,0 \text{ m}$
Yükseklik: $h = 2,6 \text{ m}$	İnşa yılı: 1993
Kullanım amacı: Hidroelektrik enerji, içme suyu	Sorumlu: StAWA <sup>#</sup> Herten

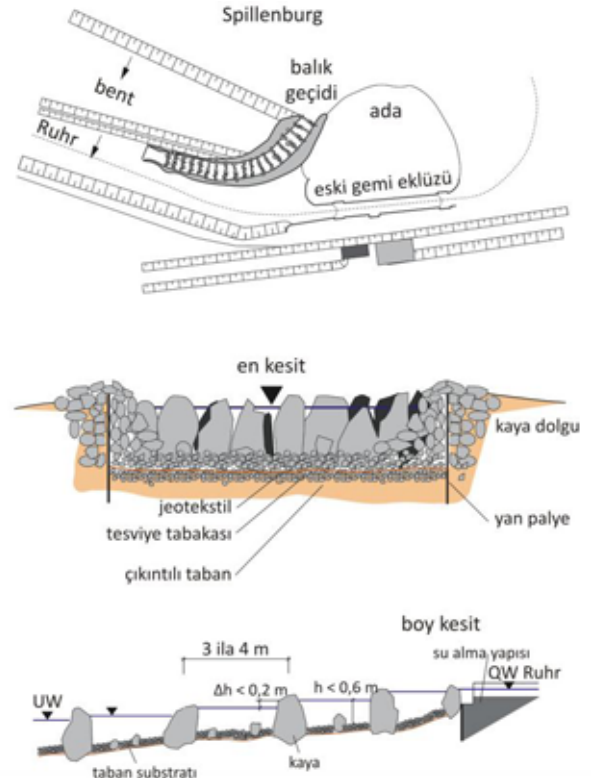
### Yapıyla ilgili ayrıntılar

Bu balık rampası, Spillenburg Bendinin sol tarafına, suyun az olduğu dönemde yaklaşık 2,60 m'lik kot farkı olacak şekilde inşa edilmiştir. Çelik palyeler, tesisin yan tarafında sınır oluşturur; bunlar aynı zamanda inşa safhasında taşkın koruma hizmeti de sağlamıştır. Palyeler kaba blokaj malzemesi ile kaplandığından artık görünmemektedir.

Balık rampası, büyük kayalardan (her birinin ağırlığı 1,5 t'a ulaşmaktadır) oluşan kaya dizilerinin meydana getirdiği 17 havuza (boyu  $l = 3 \text{ m}$  ila  $4 \text{ m}$ ) ayrılmıştır. Kayalar doğrudan rampa gövdesine yerleştirilmiş olup, birbirlerine yaslanmaktadır. Havuzlar, 20 cm kalığında çakıl ve taş tabakası ile doldurulmuştur. Beton özellikle kullanılmamıştır. Debi, ayarlanabilir su alma yapısı ile kontrol edilmektedir.



Şekil 4.38: Kaya dizilerinin düzenlenmesi



Şekil 4.39: Vaziyet planı ve rampa tasarımı

<sup>#</sup> StAWA: Staatliche Ämter für Wasser- und Abfallwirtschaft [Su ve Atık Yönetimi için Hükümet Ofisleri] (editörün notu)

## SPILLENBURG BENDİ'NDEKİ BALIK RAMPASI



**Şekil 4.40:** Spillenburg bendi; inşa hâlindeki balık rampası

Enine diziler su alma yapısından kuyruk suyuna doğru yerleştirilmiştir. Deneme çalıştırması esnasında, havuzlardaki su derinlikleri kaya eşiklerindeki aralıklar daraltılıp genişletilerek düzeltilmiş olup, azami su kotu farkının  $\Delta h = 20 \text{ cm}$ 'yi aşmamasına özellikle dikkat edilmiştir.



**Şekil 4.41:** Spillenburg bendi; balık rampasının inşaat tamamlandıktan sonraki görünüşü

LÖBF/LafAO NRW Balıkçılık Dairesi Mayıs 1994'te bu yapının gerektiği gibi çalıştığını onaylamıştır. Daha inşaat tamamlanmadan birkaç ay önce bile, midye, salyangoz, şayak sineği ve yusufçuk böceği larvalarını içeren zengin bir bentik organizma topluluğu rampaya yerleşmiştir.

#### 4.4 Hidrolik tasarım

Balık geçitlerinin hidrolik tasarımında iki temel debi türü arasında kesin bir ayırım yapılması gerekir:

- a) **İşletme debileri:** Bu debiler, normal debi aralığı içerisinde olup, yılda sadece birkaç gün süreyle aşılacak veya hiç ulaşılamayan değerler olup, balık geçidinin çalışabilirliğini sürekli kılmak için gereklidir. Balık geçidi, balıkların geçitten yukarı çıkarken ihtiyaç duyduğu su derinlikleri dikkate alınarak, işletme debileri için izin verilen akış hızları aşılmayacak şekilde tasarlanmalıdır.
- b) **Kritik debi:** Bu debi, birkaç yılda bir tekrar eden taşkın zamanlarında ortaya çıkan taşkın debisidir; bu sebeple, balık geçidi, yapı sağlamlığını muhafaza edecek şekilde tasarlanmalıdır. Debinin çok fazla olduğu bu dönemde balıklar geçidi kullanmadığından, bu parametrenin balık göçü bakımından dikkate alınması gerekmemektedir. Balık geçitlerinde kritik debi, uygun su alma (balık geçidi çıkışı<sup>#</sup>) yapıları veya düzenleme tertibatları ile sınırlandırılabilir veya ayarlanabilir.

##### 4.4.1 Akış eşitlikleri

Akarsularda hidrolik tasarım hesaplamaları için bu bölümde önerilen yöntemler, DVWK-Guidelines 220/1991 "Akarsularda Hidrolik Hesaplamalar" adlı dokümandan derlenmiştir.

Açık kanallarda ortalama akış hızı hesaplanırken Darcy-Weisbach akış eşitliği kullanılır:

$$v_m = \frac{1}{\sqrt{\lambda}} \sqrt{8 g r_{hy} I} \quad (4.1)$$

Burada  $r_{hy} = \frac{A}{I_u}$  'dır. (4.1a)

Tabanı pürüzlü olan akarsularda kararlı yeknesak akış şartları (normal akış) altında direnç katsayısı ( $\lambda$ ) aşağıdaki eşitlikle hesaplanır:

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2 \log \frac{k_s / r_{hy}}{14,84} \quad (4.2)$$

(Geçerlilik aralığı:  $k_s < 0,45 r_{hy}$ ),

Bu eşitlikte, kaya dolgu taban olması durumunda, eş değer kum pürüzlülük çapı ( $k_s$ ) yerine ortalama kaya çapı ( $d_s$ ), karışık taban malzemesi olması durumunda ise tane büyüklük çapı ( $d_{90}$ ) kullanılır.

Scheuerlein (1968), pürüzlü kanallar ile tabanı, taraklanmış taş dizilerek oluşturulan blok taşlı rampalarda

türbülanslı debiye ait direnç katsayısı fonksiyonunu ortaya koymuştur; sudaki hava muhtevası göz ardı edilip, taraklanmış taşlar için istifleme faktörü 0,5 olarak varsayıldığında eşitlik aşağıdaki gibi yazılabilir:

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -3,2 \log \left[ (0,425 + 1,01 I) \frac{k}{h_m} \right] \quad (4.3)$$

Geçerlilik aralığı:  $I = 1:8$  ila  $1:15$ ,  
 $d_s = 0,6$  ila  $1,2$  m

Taraklanmış ve düzene konulmuş taşların pürüzlülük katsayısı ( $k$ ) aşağıdaki gibi hesaplanabilir:

$$k \approx \frac{1}{3} \text{ ila } \frac{1}{2} d_s$$

Ortalama akış hızı ( $v_m$ ) ve akış yüzey alanı ( $A$ ) kullanılarak debi ( $Q$ ) aşağıdaki eşitlikten elde edilir:

$$Q = v_m \cdot A \quad (4.4)$$

##### 4.4.2 Enerji kırıcı kayaların akış direnci

Şekil 4.42'de verildiği gibi, enerji kırıcı kayaların gömülü hâlde olduğu yan geçit kanalları ve balık rampalarında kayaların akış direnci, taban pürüzlülüğünün etkisini gizler. Bu durumda Eşitlik (4.1)'deki direnç katsayısı ( $\lambda_{top}$ ) aşağıdaki eşitlikle hesaplanabilir (Rouvé, 1987):

$$\lambda_{top} = \frac{\lambda_s + \lambda_o (1 - \epsilon_o)}{(1 - \epsilon_v)} \quad (4.5)$$

Burada;

$$\epsilon_v = \frac{\sum V_s}{V_{top}} = \frac{\text{enerji kırıcı kayaların su içindeki hacmi}}{\text{toplam hacim } A \cdot l} \quad (4.5a)$$

$$\epsilon_o = \frac{\sum A_{o,s}}{A_{o,top}} = \frac{\text{enerji kırıcı kayaların yüzey alanı}}{\text{toplam bazal alan } I_u \cdot l} \quad (4.5b)$$

$$\lambda_s = 4 c_w \frac{\sum A_s}{A_{o,top}} \quad (4.5c)$$

Burada;

$$c_w \approx 1,5 \text{ (biçimsel sürüklenme katsayısı)},$$

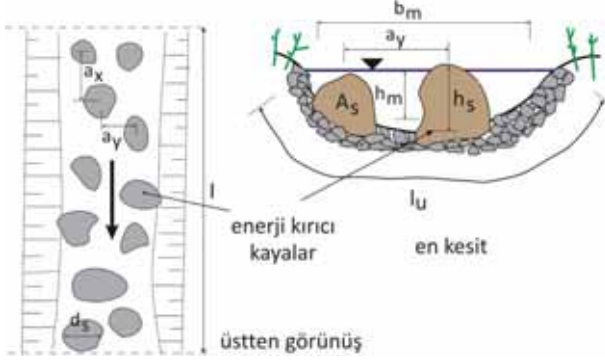
$$A_s = d_s h^* \text{ (enerji kırıcı kayaların ıslak alanı)}, \quad (4.5d)$$

burada;  $h^*$  değişkeni, su akışı kaya çevresinden olduğunda ortalama su derinliğine ( $h_m$ ),

kayalar tamamen suyun içerisinde olduğunda ise, kaya yüksekliğine ( $h_s$ ) eşittir.

<sup>#</sup> Editörün notu





**Şekil 4.42:** Enerji kırıcı kayaları olan yan geçit kanalı

Tabanın direnç katsayısı ( $\lambda_0$ ), toplam en kesitin hidrolik yarıçapından ( $r_{hy}$ ) Eşitlik (4.2) ile yaklaşık olarak bulunabilmektedir. Bulunan değer, enerji kırıcı kayaların direnç katsayısı ile kıyaslandığında küçüktür.

Uygulamada, çoğunlukla Eşitlik (4.5)'teki  $\epsilon_v$  ve  $\epsilon_o$  parametreleri göz ardı edilir ve toplam direnç katsayısı her bir direnç toplanarak aşağıdaki eşitlikten hesaplanır:

$$\lambda_{top} = \lambda_s + \lambda_0 \quad (4.6)$$

Burada;

$$\lambda_s = c_w \frac{4 A_s}{a_x a_y} \quad (\text{enerji kırıcı kayaların direnç katsayısı}) \quad (4.6a)$$

$$A_s \approx d_s \cdot h^* \quad (4.6b)$$

$d_s, a_x, a_y$  Şekil 4.42'de verilmiştir.

$a_x$  ve  $a_y$  akış yönünde ( $a_x$ ) ve akışa dik yönde ( $a_y$ ) kayalar arasındaki ortalama mesafeyi temsil ederken, en kesitte sadece bir tane kaya bulunan pürüzlü küçük kanallarda  $a_y$  yerine kanal genişliğinin ( $b$ ) kullanılması gerekir.

Kazıklı geçitler için  $c_w = 1,0$  alınabilir (Geitner & Drewes, 1990).

Ortalama akış hızı, Eşitlik (4.1), debi ise Eşitlik (4.4)'ten bulunur.

Kayalar arasındaki en kesitlerde azami akış hızları, balıkların geçişi için belirleyici olup, yaklaşık olarak aşağıdaki eşitlikten hesaplanabilir:

$$v_{max} = \frac{v_m}{1 - \frac{\sum A_s}{A_{top}}} \quad (4.7)$$

Burada;

$A_{top}$  = Engelsiz akışın en kesiti (enerji kırıcı kayasız),

$\sum A_s$  = Aşırı daraltılmış en kesitteki bütün kayaların ıslak alanlarının toplamıdır.

Eğimler, kayalar arasındaki mesafe ve kaya çapları, nehir rejimi oluşacak şekilde seçilmelidir. Akış deseniindeki değişikliklere sadece, mevcut olduğunda, kayalar arasındaki dar yerlerde izin verilmelidir.

Buraya kadarki bilgiler değerlendirildiğinde, bu hesaplamaların ve özellikle yukarıda verilen  $c_w \approx 1,5$  değeri geçerliliğinin aşağıdaki aralıklarla sınırlı olması gerektiği sonucuna varılır:

$$\text{Kayalar arası mesafe} \quad a_x = a_y = 1,5 \text{ ila } 3 d_s \\ a_y - d_s > 0,3 \text{ m}$$

$$\text{Su derinliği} \quad h_m/h_s < 1,5$$

$$\text{Eğim} \quad I = 1:20$$

### Notlar

Kayaların biçimi göz ardı edildiğinde, Eşitlik (4.5c) ve Eşitlik (4.6a)'daki biçimsel sürüklenme katsayısı ( $c_w$ ), kayaların membaında oluşan akış desenlerinin etkisi altındadır. Kayalar su altında olduğunda direnç katsayısı değişir. Bu konuyla ilgili mevcut az sayıdaki veriden  $c_w = 1,5$ 'ten büyük ve küçük olabildiği görülmektedir. Bununla birlikte, etrafından su akan ağaç gövdesinin direnç katsayılarının belirlendiği yöntemlere benzer genel hesaplama yolları henüz oluşturulmamıştır. Bu alanda daha çok araştırmaya gerek vardır. Bu yüzden her zaman deneme çalıştırmasına ihtiyaç duyulur.

### Hesaplama örneği

Yan geçitli enerji santralinin ana bendine, asgari debisi  $Q = 1,2 \text{ m}^3/\text{s}$  olan bir balık rampası inşa edilecektir. Rampa eğimi 1:25 ( $I = 0,04$ ) ve su derinliği  $h = 0,40 \text{ m}$  olacaktır. Rampa gövdesi, pürüzlülük katsayısı  $k_s = 0,12 \text{ m}$  olarak tahmin edilen ocak taşlarından inşa edilecektir. Akış hızı azaltılmalı ve kenar uzunluğu  $d_s = 0,6 \text{ m}$  olan enerji kırıcı kayalardan balıklar için sığınma yerleri oluşturulmalıdır. Rampanın en kesiti Şekil 4.43'te gösterildiği trapez olacaktır. Böylece, aşağıdaki temel veriler elde edilir:

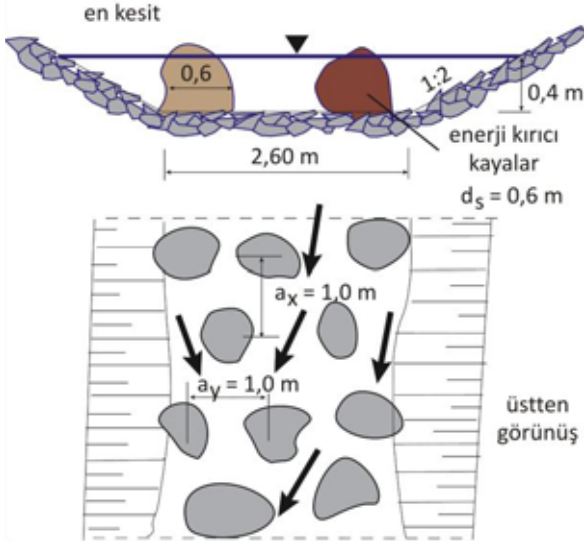
$$\text{Akış alanı} \quad : A = 2,6 \cdot 0,4 + 2 \cdot 0,4^2 = 1,36 \text{ m}^2$$

$$\text{Islak çevre} \quad : l_u = 2,60 + 2 \cdot 0,4 \sqrt{1 + 2^2} = 4,39 \text{ m}$$

$$\text{Hidrolik çap} \quad : r_{hy} = \frac{A}{l_u} = \frac{1,36}{4,39} = 0,31 \text{ m}$$

Su kotundaki rampa genişliği:

$$b_{sp} = 2,6 + 2 \cdot 2 \cdot 0,4 = 4,20 \text{ m}$$



Şekil 4.43: Hesaplama örneğini gösteren çizim

Enerji kırıcı kayalar, Şekil 4.43'te görüldüğü gibi ortalama aksel mesafe  $a_x = a_y = 1,0$  m olacak şekilde yerleştirilmelidir. Uzunluğu  $l = 10$  m olan kanal bölümü için yaklaşık 28 kayaya gerek duyulur.

Her bir enerji kırıcı kayanın ıslak yüzey alanı aşağıdaki gibidir:

$$A_s \approx 0,6 \cdot 0,4 = 0,24 \text{ m}^2$$

Hesaplama,  $l = 10$  m uzunluğundaki bölüm için yapıldığından, hacim oranı ve yüzey alanı oranı aşağıdaki gibidir:

$$\epsilon_v = \frac{28 \frac{\pi}{4} d_s^2 h}{l A} = \frac{28 \frac{\pi}{4} 0,6^2 0,4}{10 \cdot 1,36} = 0,233$$

$$\epsilon_o = \frac{28 \frac{\pi}{4} d_s^2}{l \cdot l_u} = \frac{28 \frac{\pi}{4} 0,6^2}{10 \cdot 4,36} = 0,18$$

$$\Sigma A_s = 28 \cdot 0,24 = 6,72 \text{ m}^2 \text{ ve}$$

$$A_{o,top} = l \cdot l_u = 10 \cdot 4,39 = 43,9 \text{ m}^2$$

alındığında, enerji kırıcı kayaların direnç katsayısı aşağıdaki gibi olur:

$$\lambda_s = 4 c_w \frac{\Sigma A_s}{A_{o,top}} = 4 \cdot 1,5 \frac{6,72}{43,9} = 0,92$$

Taban pürüzlülüğü dikkate alındığında, direnç katsayısı Eşitlik (4.2) kullanılarak aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda_o}} = -2 \log \frac{0,12/0,31}{14,84} = 3,16 \rightarrow \lambda_o = 0,10$$

Böylece toplam direnç katsayısı ( $\lambda_{top}$ ) Eşitlik (4.5)'e göre aşağıdaki gibi olur:

$$\lambda_{top} = \frac{\lambda_s + \lambda_o (1 - \epsilon_o)}{(1 - \epsilon_v)} = \frac{0,92 + 0,1(1 - 0,18)}{1 - 0,233} = 1,31$$

Ortalama akış hızı, Eşitlik (4.1) kullanılarak aşağıdaki gibi elde edilir:

$$v_m = \sqrt{\frac{8 g r_{hy} I}{\lambda_{top}}} = \sqrt{\frac{8 \cdot 9,81 \cdot 0,31 \cdot 0,04}{1,31}} = 0,86 \text{ m/s}$$

Böylece debi bulunur:

$$Q = v_m \cdot A = 0,86 \cdot 1,36 = 1,17 \text{ m}^3/\text{s} \approx 1,20 \text{ m}^3/\text{s}$$

Bu sonuç, rampanın buradaki örnekte verilen gerekli debiyi kaldırabileceğini göstermektedir.

Azami akış hızı, üç adet enerji kırıcı kayanın bir hat şeklinde yerleştirildiği en dar akış en kesitinde görülür. Eşitlik (4.7)'den bu değer elde edilir:

$$v_{max} = \frac{v_m}{1 - \frac{\Sigma A_s}{A_{ges}}} = \frac{0,86}{1 - \frac{3 \cdot 0,4 \cdot 0,6}{1,36}} = 1,83 \text{ m/s}$$

$$v_{max} < v_{izin} = 2,0 \text{ m/s} \quad (v_{izin} = \text{izin verilen en yüksek su hızı}^\#)$$

Rampada (engellenmemiş en kesitteki) oluşan akış türünü tahmin etmek için Froude sayısı hesaplanır:

$$Fr^2 = \frac{v_m^2 b_{sp}}{g A_{top}} = \frac{0,86^2 \cdot 4,20}{9,81 \cdot 1,36} = 0,233$$

$$\rightarrow Fr = 0,48 \quad (4.8)$$

Froude sayısı  $Fr < 1$  olduğundan, akış türü nehir rejimidir.

En kesitin en dar olduğu yerde;

$$b_e = b_{sp} - 3 \cdot d_s = 4,2 - 3 \cdot 0,6 = 2,4 \text{ m}$$

$$A_e = A_{top} - \Sigma A_s = 1,36 - 3 \cdot 0,24 = 0,64 \text{ m}^2$$

olduğundan Froude sayısı aşağıdaki gibidir:

$$Fr_e^2 = \frac{v_{max}^2 b_e}{g A_e} = \frac{1,83^2 \cdot 2,4}{9,81 \cdot 0,64} = 1,28$$

$$\rightarrow Fr_e = 1,13. \quad (4.8a)$$

# Editorün notu

Buradan akışın, sel rejiminin olduğu sonucu çıkarılır. Ancak Froude sayısı  $Fr_e < 1,7$  olduğundan, belirgin bir sıçrama oluşmaz. Enerji dönüşümünün, dar kesitin aşağısında bir sonraki enerji kırıcı kayaya çarpan su jetinin içerisinde meydana gelmesi gerekir.

Karşılaştırma:

Eşitlik (4.6)'da verilen hesaplamanın sadeleştirilmiş şekli, oldukça benzer sonuçlar vermektedir.

Önceden belirlendiği şekliyle taban direnç katsayısı  $\lambda_o=0,10$  ve

$$\lambda_s = 4c_w \frac{A_s}{a_x a_y} = 4 \cdot 1,5 \frac{0,4 \cdot 0,6}{1,0 \cdot 1,0} = 1,44$$

ve  $\lambda_{top} = \lambda_s + \lambda_o = 1,54$  olduğunda;

ortalama akış hızı;

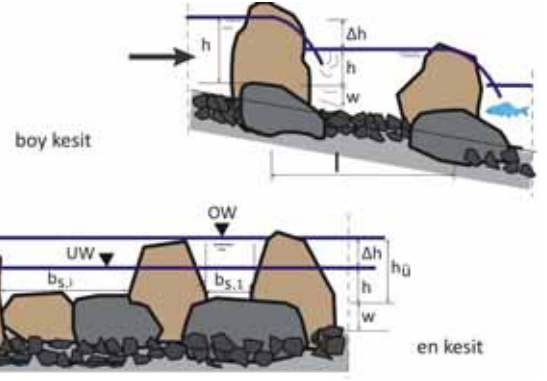
$$v_m = \sqrt{\frac{8g r_{hy} I}{\lambda_{top}}} = \sqrt{\frac{8 \cdot 9,81 \cdot 0,31 \cdot 0,04}{1,54}} = 0,79 \text{ m/s}$$

azami hız  $v_{max} = 1,68 \text{ m/s}$  ve debi  $Q=1,08 \text{ m}^3/\text{s}'dir.$

İlk sonuçla karşılaştırıldığında fark, sadece yaklaşık % 8'dir.

#### 4.4.3 Kayalık eşiklerle ilgili hesaplama

Kayalık eşikler, kayalardan meydana gelir ve suyu depolama etkisinden dolayı bir havuz sistemi işlevi görür. Kayalar, boşluklara enine dizi oluşturacak şekilde yerleştirilir; bir başka ifadeyle, su akışı sadece kayalar arasındaki açıklıktan geçer. Debinin düşük, yatağın oldukça geniş olduğu yerlerde, büyük kayaların arasındaki boşluğun, Şekil 4.44'te gösterildiği gibi,



Şekil. 4.44: Yan geçit kanalları ve kayalık eşikli rampalar için hidrolik hesaplama (şematik gösterim)

yaşsı taşlarla taban eşiği oluşturacak biçimde kısmen doldurulması gerekir. Böylece, akışın az olduğu dönemde daha çok suyun tutulması ve daha fazla su derinliğinin elde edilmesi mümkün olabilir.

Hidrolik yasalarına göre, kayalık eşiğin üzerinden veya içerisinden geçen akışın karakteristikleri sabit bentten geçen akışa benzer; burada tam (batık olmayan durum) veya eksik (batık durum) akışla ilgili iki temel durumun birbirinden ayrılması gerekir.

Üstten geçen tam ve eksik akış arasındaki sınır değer, esas olarak  $h/h_{yük}$  oranı ve eşiğin biçimi ile belirlenir (Preissler/Bollrich, 1992 Bölüm 9).

Tasarımla ilgili ön hesaplama için Poleni eşitliği kullanılarak akışın belirlenmesi yeterlidir:

$$Q = \frac{2}{3} \mu \sigma \Sigma b_s \sqrt{2g} h_{yük}^{3/2} \quad (4.9)$$

Burada;  $\Sigma b_s$  akışın engellenmediği kesit genişliklerinin toplamıdır.

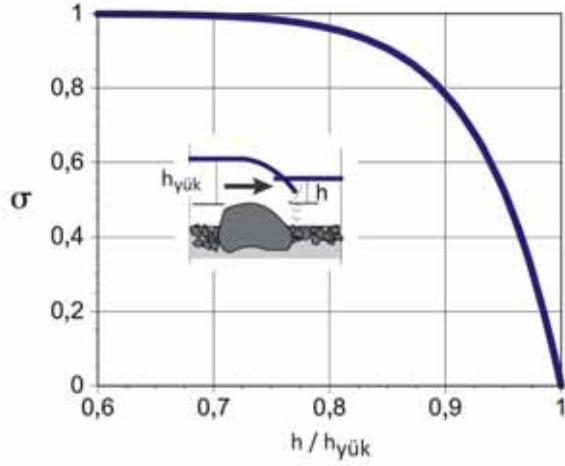


Şekil 4.45:

Kinsau'daki Lech barajının yanındaki balık geçidi.

Buradaki dik eğim, kayalardan oluşan enine dizilerle bölümlere ayrılmıştır. Eşikler arasındaki havuzların tabanı güçlendirilmemiştir; bu sebeple, havuzlarda oyluma olabilmektedir.





**Şekil 4.46:** Batık akışta azalma faktörü  $\sigma$

Yüksekliği değişken, serbest en kesitlerin olduğu veya kayalık eşiğin, tamamen (büyük kayalar dâhil) su altında olduğu yerlerde,  $Q$  akışının keside göre belirlenmesi gerekir. Dolusavak katsayısı için, keskin kenarlı geniş kretli bentler veya yuvarlak bent kreti için bilinen değerler, eşik tipine ve kullanılan taş malzemeye göre her bir duruma özgü olarak kullanılabilir. Bununla birlikte, değerlerin veya eşitliklerin geçerlilik sınırlarının sıkı bir biçimde takip edilmesi gerekir. Genel olarak aşağıda verilenler tavsiye edilir:

Geniş, keskin kenarlı kayalar, kırılmış malzeme:

$$\mu \approx 0,5 \text{ ila } 0,6$$

Yuvarlak taşlar, doğal taş gibi:

$$\mu = 0,6 \text{ ila } 0,8$$

Batık akışta azalma faktörü  $\sigma$  için, mansap su kotu  $h'$ 'nin (üzerinden su geçen kayanın mansabındaki su kotu) etkisi dikkate alınır ve Şekil 4.46'dan bulunur. Değerler, yaklaşık olarak tersip bendi veya geniş kretli bentlere ait değerlere benzer (Preissler/Bollrich, 1992). Tam debinin (batık olmayan durum) olduğu durumda, bu katsayı  $\sigma = 1,0$ 'dir.

Kayalık eşiklerde görülen azami akış hızları, su seviyesi  $h'$ 'deki farkla belirlenir ve aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$v_{\max} = \sqrt{2g\Delta h} \quad (4.10)$$

Eşikler arasındaki havuz büyüklüğü ve derinliği, düşük türbülanslı akışa imkân vermelidir; böylece göç

eden balıklar yeterince sığınacak yer ve yüzme yorulmuşunu atma fırsatı bulabilir. Hacimsel enerji kırılması için kılavuz değer  $E = 150$  ila  $200 \text{ W/m}^3$  olup, aşağıdaki eşitlikten hesaplanabilir:

$$E = \frac{\rho g \Delta h Q}{b h_m l_w} = \frac{\rho g \Delta h Q}{A l_w} \quad (4.11)$$

Burada;

$h_m$  : Havuzlardaki ortalama derinlik,

$b$  : Ortalama havuz genişliği,

$A$  : Ortalama havuz en kesiti,

$l_w$  : Serbest havuz uzunluğudur,  $l_w \approx l - d_s$ .

Pürüzlü tabanlı kanal tipi havuzlu geçitlerde olduğu gibi, kenara yerleştirilmiş sütun biçimli kayalardan meydana gelen ve taban eğiği olmayan kayalık eşiklerde (Şekil 4.47), akış değişiklikleri mansap su kotunun düşük olduğu zamanlarda kayalar arasındaki dar en kesitlerde veya boşlukların çok dar olduğu hâllerde ortaya çıkar. Böyle durumlarda, enerji seviyeleri kıyaslanarak belirli bir basamak şekli oluşturan memba su derinliği tayin edilebilir:

Açık en kesitlerden geçen  $Q$  debisini taşımak için gerekli aşgari enerji seviyesi aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$h_{E,\min} = \frac{3}{2} \sqrt[3]{\frac{Q^2}{g \sum b_s^2}} \quad (4.12)$$

Dar kesitlerdeki enerji seviyesinin gelen sudaki enerji seviyesi ile karşılaştırılması sonucu;

$$h_{E,o} = h_o + \frac{v_o^2}{2g} = h_{E,\min} + h_v \quad (4.13)$$

olur ve kritik derinliğe göre yük kaybı  $h_v$  dikkate alındığında aşağıdaki elde edilir:

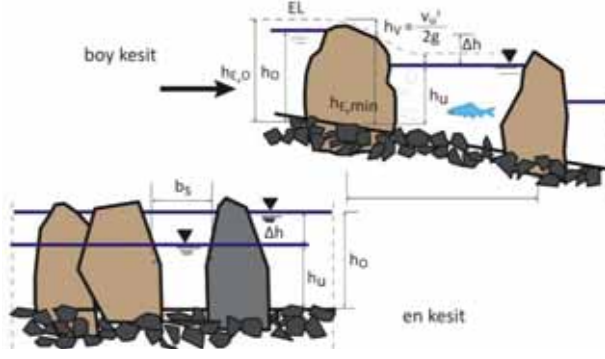
$$h_v = \zeta \frac{v_{gr}^2}{2g} = \frac{\zeta}{3} h_{E,\min} \quad (4.14)$$

Bent eğiği üzerinde gelen sudaki enerji seviyesi aşağıda verilmiştir:

$$h_{E,o} = \left(1 + \frac{\zeta}{3}\right) h_{E,\min} \quad (4.15)$$

Girişteki kayıp katsayısı ( $\zeta$ ) için, 0,5 değeri alınabilir. Bu değer, keskin kenarlı girişler için geçerlidir.

Bu hesaplarda, memba su derinliği, eşiğin altındaki su seviyesinden bağımsızdır.



Şekil 4.47: Kayalık eşikteki akış

#### Hesaplama örneği

Bir nehrin potamon kesimindeki barajın yan geçit kanalı, suyun az olduğu dönemde asgari  $Q_{\min} = 0,1 \text{ m}^3/\text{s}$ , çok olduğu dönemde ise  $Q_{\max} = 0,31 \text{ m}^3/\text{s}$ 'lik debiye maruz kalabilmektedir. Bir havuz sistemi oluşturabilmek için kayalık eşikler kanalın içerisine yerleştirilmiştir. Akışın düşük olduğu dönemde, balık geçidinde ihtiyaç duyulan su seviyesi 0,30 ila 0,40 m'dir.

Su kotu farkı  $\Delta h = 0,10 \text{ m}$ , kayalık eşikler arası mesafe ise  $l = 2,5 \text{ m}$  olarak belirlenmiştir. Böylece eğim aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$I = \frac{\Delta h}{l} = \frac{0,1}{2,50} = 1:25 \quad \text{veya } \% 4$$

Azami akış hızı aşağıdaki eşitlikten bulunur:

$$v_{\max} = \sqrt{2g\Delta h} = \sqrt{19,62 \cdot 0,10} = 1,40 \text{ m/s}$$

Bu değer, izin verilen akış hızından daha küçüktür:

$$v_{\text{izin}} = 2,0 \text{ m/s.}$$

Kayalık eşikler, çapı  $d_s = 0,6 \text{ m}$  olan doğal taşlardan oluşmakta olup, düşük su debisini biriktirecek şekilde yerleştirilmelidir. Açık en kesitler, en az  $h_{\text{yük}} = 0,2 \text{ m}$  olan bir düşü havuzu (nap) içerisinde batık hâldeki yassı taşlarla kısmen kapatılmalıdır.

Açık en kesitlerde yaklaşık  $d_s = 0,4 \text{ m}$  olan taşlar, taban üzerinde yaklaşık 20 cm çıkıntı oluşturacak şekilde gömülür. Bu durum aşağıdaki yük değerini ortaya çıkarır:

$$h_{\text{yük}} = 0,4 - 0,2 = 0,2 \text{ m.}$$

$h/h_{\text{yük}} = 0,10/0,20 = 0,5$  olduğundan, Şekil 4.46'ya göre  $\sigma = 1,0$  olan bir serbest debili akış varsayılabilir; böylece dolusavak katsayısı  $\mu = 0,5$  (kenarları çok keskin olan kayalar için) olan açıklık için gerekli

genişlik Eşitlik (4.9)'dan hesaplanabilir:

$$\Sigma bs = \frac{Q_{\min}}{\frac{2}{3} \mu \sigma \sqrt{2g} h_o^{3/2}} = \frac{0,1}{\frac{2}{3} \cdot 0,5 \cdot 1,0 \sqrt{19,62} \cdot 0,2^{3/2}} \approx 0,75 \text{ m}$$

Taşlar arasındaki boşluklar, menderes biçimli havuz akışı sağlamak amacıyla şaşırtmalı (sağlı sollu) olarak düzenlenir. Eni yaklaşık 0,4 m olan iki açıklığa bölmek de mümkündür. Boşluğun yanındaki büyük kayaların, eşik yüksekliği 0,4 m olacak ve düşük akımda havuzlar aynı sürede dolacak şekilde yerleştirilmesi gerekir. Bu sebeple, tabana 20 cm derinliğe kadar gömülen büyük kayaların çapının yaklaşık 60 cm olması gerekir.

Açıklıkların, havuzlarda kısa devre akış oluşmayacak şekilde kademeli olarak birbirine paralel yapıda düzenlenmesine imkân tanımak için kanal tabanının genişliği taşlar arasındaki açıklığın 2,5 katı olmalıdır. Böylece taban genişliği aşağıdaki gibi olur:

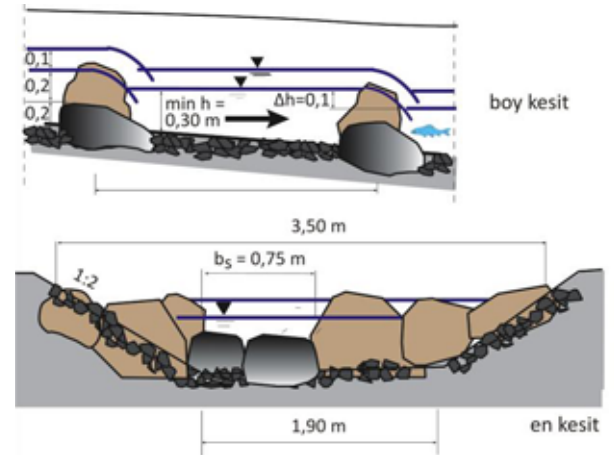
$$b = 2,5 \cdot 0,75 \approx 1,9 \text{ m,}$$

Eğimi 1:2 olan eşiğin toplam genişliği aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$b = 1,9 + 2 \cdot 2 \cdot 0,4 = 3,50 \text{ m.}$$

İnşası tamamlanmış kanalın en kesiti Şekil 4.48'de gösterilmiştir.

Kıyı koruma yüksekliğinin belirlenmesi için azami akış zamanındaki su kotunu bilmek gerekir. Dolusavak profilinin farklı yapıda olması sebebiyle tek bir çözüm önerilemediğinden, oluşan su yükü denemelerle belirlenmelidir.



Şekil. 4.48: Hesaplama örneğine ilişkin çizim

Birkaç denemeden sonra hesaplamalar su seviyesinde yaklaşık 0,10 m'lik bir artış göstermiştir.

$h_{yük}$  değerinin aşağıdaki gibi olduğu varsayıldığında;

$$h_{yük} = 0,2 + 0,1 = 0,30 \text{ m}$$

ve Şekil 4.46'ya göre  $h/h_{yük} = 0,20/0,30 = 0,66$  için batık akıştaki azalma faktörü  $\sigma \approx 1,0$  olarak alındığında, boşluklardaki debi  $Q$ , aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$Q = \frac{2}{3} \mu \sigma b_s \sqrt{2gh_{yük}^{3/2}}$$

$$= \frac{2}{3} 0,5 \cdot 1,0 \cdot 0,75 \sqrt{19,62 \cdot 0,30^{3/2}} = 0,18 \text{ m}^3/\text{s}$$

$h_{yük} = 0,10 \text{ m}$  ve  $\mu = 0,5$  ( $h = 0$  iken su altında akış azalması olmaz) olduğunda,  $b = 3,50 - 0,75 = 2,75 \text{ m}$  olan bent eşiğinin kalan genişliği üzerinden geçen debi;

$$Q = \frac{2}{3} 0,5 \cdot 2,75 \sqrt{19,62 \cdot 0,10^{3/2}} = 0,13 \text{ m}^3/\text{s}$$

olur, böylece toplam debi aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$Q_{top} = 0,182 + 0,128 = 0,31 \text{ m}^3/\text{s}.$$

Düşük debiyle kıyaslandığında, bu örnekteki su seviye farkında değişiklik olmadığından, azami debide bile aynı azami akış hızları  $v_{max} = 1,40 \text{ m/s}$  görülür. Sadece havuzlardaki ortalama akış hızları değişir. Bu hızlar, ortalama su derinliği  $h_m = (0,3 + 0,4)/2 = 0,35 \text{ m}$  olduğunda ve suyun en az olduğu dönemde aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$v_{m,min} = \frac{Q_{min}}{A} = \frac{0,1}{1,9 \cdot 0,35 + 2 \cdot 0,35^2} = 0,11 \text{ m/s}$$

Debinin en yüksek olduğu dönemde aşağıdaki değere ulaşır:

$$v_{m,max} = \frac{Q_{max}}{A} = \frac{0,31}{1,9 \cdot 0,45 + 2 \cdot 0,45^2} = 0,25 \text{ m/s}$$

Havuzlarda ortalama akış hızının düşük olması havuzlardaki akışın çok az türbülanslı olmasına ve en azından akışın az olduğu yerlerde ince taneli malzemenin çökmesine yol açar. Ayrıca, dolusavak bölgesinde daha büyük gerilmelerin oluşması sebebiyle taban koruması zorunludur.

Havuzlardaki türbülans şartları Eşitlik (4.11)'e göre hesaplanır.  $Q_{max} = 0,31 \text{ m}^3/\text{s}$  ve

$$A = b \cdot h_m + m \cdot h_m^2 = 1,90 \cdot 0,45 + 2 \cdot 0,45^2 = 1,26 \text{ m}^2$$

$$\text{ve } l_w = l - d_s = 2,50 - 0,60 = 1,90 \text{ m}$$

olduğunda hacimsel enerji kırılması aşağıdaki gibi olur:

$$E = \frac{\rho g \Delta h Q}{A l_w} = \frac{9810 \cdot 0,31 \cdot 0,1}{1,26 \cdot 1,90} = 127 \text{ W/m}^3$$

$$< E_{izin} = 150 \text{ ila } 200 \text{ W/m}^3$$

#### 4.4.4 Taban rampaları ve meyilli tabanlar üzerindeki kritik debi

Kaya dolgu tipindeki taban rampaları ve meyilli tabanlar için Whittaker ve Jäggi (1986), yapı sağlamlığı (stabilite) kriterini aşağıdaki eşitlikle hesaplamıştır:

$$q_{izin} = 0,257 \sqrt{\frac{\rho_s - \rho_w}{\rho_w} I^{-7/6} d_{65}^{3/2}} \quad (4.16)$$



Şekil 4.49:

Eitorf-Unkelmühle/Sieg balık rampasındaki deneme çalışması

Bu tür düzensiz kayalık eşikler için hassas tasarım hesabı imkânsızdır. Bu yüzden, en uygun kaya düzeni ilk aşamada kum torbaları ile belirlenmelidir. Daha sonra, kayalar kalıcı olarak tabana gömülür. Bu denemeler, inşaatın önemli bir aşaması olarak kabul edilmeli ve bununla ilgili masraflar planlama safhasında dikkate alınmalıdır.

$d_{65} \approx d_s / 1,06$  ve  $\rho_s = 2700 \text{ kg/m}^3$  olduğundan, eşitlik aşağıdaki gibi yazılabilir:

$$q_{\text{izin}} = 0,307 \sqrt{gI}^{-7/6} d_s^{3/2} \quad (4.16a)$$

Eşitlik (4.16)'ya % 20'lik emniyet payı ilave edilmiştir.

Kaya dolgu basamaklı tabanlarla kıyaslandığında blok taşlı rampalar, daha büyük yükleme gerilmelerine maruz kalabilir. Gebler (1990)'e göre geçerliliği kanıtlanmış bilinen bir yapı sağlamlığı kriteri henüz bulunmamaktadır. Whittaker ve Jäggi'nin yaptığı deneylerde, Eşitlik (4.16) ile kıyaslandığında, taraklanmış ve düzene konulmuş kayalar için izin verilen debide 1,7 ila 2,0 kat bir artış olduğu bulunmuştur. Bununla birlikte, özellikle blok taşlı rampalarda izin verilen çarpmaların büyük ölçüde yapının kalitesinden (blokların döşenmesiyle ilgili hatalar gibi) etkilendiğine dikkat edilmeli ve mansap oyulması, eğim erozyonu gibi diğer sebeplerin de yapının sağlamlığını etkilediği unutulmamalıdır.

Açıkta kalan her kayanın (enerji kırıcı kayalar, kayalık eşikler) yerinde sağlam durduğu tek tek doğrulanmalıdır. Bu aşamada hem su kotu farkları  $\Delta h$ 'den kaynaklanan hidrolik basınçlar hem de azami akış hızlarından kaynaklanan kuvvetleri içeren etkin kuvvetlerin dikkate alınması gerekir.

#### 4.4.5 Deneme çalıştırmaları

Doğala benzer yan geçit kanalları ve balık rampalarına ilişkin hidrolik tasarım hesaplamaları genellikle sadece ilk tahminler olarak değerlendirilebilir. Bunun sebebi, öncelikle kullanılan yapı malzemelerinin (kayalar gibi), en kesitlerin, akış şartlarının vb. istenilen (ve hedeflenen) türde olması, ikinci olarak da bugüne kadar yapılan çalışmaların ve elde edilen sonuçla-

rın yetersizliğidir. Bu yüzden, tasarım formüllerinde kullanılacak katsayıların (pürüzlülük, debi katsayıları, girişteki kayıplar gibi) seçiminde belirsizlikler mevcuttur. Ancak, ihtiyaç duyulan kaya büyüklüğü ve en kesitlerin yanı sıra beklenen akış hızları ve debilerin tahmin edilebilmesi için bu hidrolik tasarım hesaplamalarının (ilk yaklaşım) yapılması gerekir. Önceden tahmin edilemeyen etkenler sebebiyle, eşik değerlerin izlendiği, debi, akış hızları ve su derinlikleriyle ilgili planlama hedeflerinin kontrol edildiği ve uygulanabilir olduğunda düzeltildiği deneme çalıştırmalarının her zaman yapılması gerekir. Hem balık geçidinde hem de mansaptaki kılavuz akıntının oluşumunda hidrolik şartların büyük ölçüde değişmesi sebebiyle, deneme çalıştırmaları, farklı debilerde ve farklı tarihlere gerçekleştirilmelidir; özellikle yapıdan kaynaklanan dinamik oluşumlara izin veriliyorsa, kontroller gerçekleştirilmeli ve gerekirse, normal çalışma dönemi gibi daha sonraki aşamalarda da iyileştirmeler yapılmalıdır.

Deneme çalıştırması esnasında özellikle aşağıda verilen planlama hedefleri kontrol edilmelidir:

- Akış desenleri ve su derinlikleri: çok sığ yerler, yüksek türbülanslı alanlar, kısa devre akışlar ve kopuk su jetlerinden uzak durulmalıdır.
- Özellikle kritik yerlerdeki (dar en kesitler, batık hâldeki kayalık eşikler) azami akış hızının 2,0 m/s'yi geçmemesi gerekir.
- Düşü ve eşiklerdeki su seviye farkı:  $\Delta h < 0,2 \text{ m}$  olmalıdır.

## 5 Teknik balık geçitleri

Teknik balık geçitleri aşağıdaki tipleri kapsar:

- Havuzlu geçitler
- Dikey yarıkli geçitler
- Denil geçitleri (ters akışlı geçitler)
- Yılan balığı merdivenleri
- Balık eklüzleri
- Balık asansörleri

Bu bölümde, sadece hidrolik ve biyolojik etkinliği yeterince çalışılmış, yaygın olan teknik balık geçidi tipleri verilmiştir.

### 5.1 Havuzlu geçitler

#### 5.1.1 Prensip

Havuzlu geçidin prensibi, membadan mansaba kadar bütün kanalı, ardışık basamaklı havuzlar oluşturacak

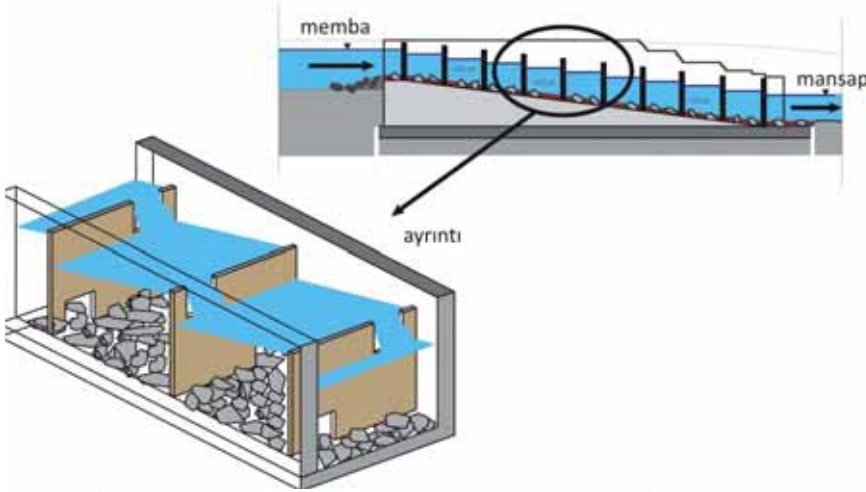
şekilde perde duvarları ile bölümlere ayırmaktır. Su, genellikle perde duvarlarındaki açıklıklardan (orifislerden) geçer ve sudaki potansiyel enerji, havuzlarda kademeli olarak kırılır (Şekil 5.1).

Balıklar, perde duvarlarda tabanda (batık orifisler) veya üstte bulunan (çentikler) açıklıkları kullanarak bir havuzdan diğerine geçer. Göç eden balıklar sadece perde duvarlardan geçişte yüksek akış hızları ile karşılaşırken, hızın düşük olduğu havuzlar sığınma ve dinlenme imkânı sağlar. Havuzlu geçitlerin dip canlıları tarafından aşılabilir olması için tabanın pürüzlü olması şarttır.

#### 5.1.2 Tasarım ve boyutlar

##### 5.1.2.1 Üstten görünüş

Havuzlu geçitlerin tasarımı çoğunlukla membadan mansaba kadar doğrusaldır. Bununla birlikte, eğri geçitler veya yapı uzunluğunu kısaltan, 180° açıyla bir defa ya da daha fazla dönüş yapan katlı geçitler (Şekil 5.2) de kullanılmaktadır. Mümkün olan her



**Şekil 5.1:**

Klasik havuzlu geçit (boy kesit ve havuz yapısı) (Jens, 1982'den değiştirilmiş)



**Şekil 5.2:** Havuzlu geçitler (üstten görünüş) (Larinier, 1992a'dan değiştirilmiş)



verde, ölü açığı ve ölü nokta oluşmayacak şekilde su çıkışının (balık geçidinin mansap girişi<sup>#</sup>) bent veya türbin çıkışının altında olması gerekir. Ana hatları Bölüm 3'te verilene benzer temel prensipler, balık geçidi giriş yeri, bent veya türbin çıkışına göre düzenlenirken burada da kullanılmaktadır.

Havuzlarla ilgili başka bir tasarım ve düzen Şekil 5.3'te gösterilmiştir.

### 5.1.2.2 Boy kesit

Havuzlar arasındaki su kotu farkı, azami akış hızlarını etkiler. Bu yüzden akış hızları, balıkların geçidi kolayca aşabilmelerinin önündeki sınırlandırıcı faktördür. En kötü durumda, su kotu farkının ( $\Delta h$ ) 0,2 m'yi aşmaması gerekir; bununla birlikte rezervuar normal su kotundayken  $\Delta h = 0,15$  m'lik kot farkı daha uygundur. Havuzlu geçit için en uygun eğim, su kotu farkı ve havuzların boyu ( $l_b$ ) kullanılarak hesaplanır:

$$I = \Delta h / l_b \quad (5.1)$$

Burada  $l_b$  Şekil 5.4'te gösterilen boyuttur.

$l_b$  değer aralığı 1,0 m ila 2,25 m olduğunda,  $I = 1:7$  ila  $I = 1:15$  eğim değerleri elde edilir. İzin verilen su kotu farklarına bağlı kalmak kaydıyla, havuz boyları kısaltılarak daha dik eğimler elde edilebilir. Ancak bu durum, havuzlarda ciddi türbülanslara yol açar ve mümkünse, bundan kaçınmak gerekir.

# Editörün notu

Gerekli havuz sayısı ( $n$ ), aşılacak toplam yük ( $h_{top}$ ) ve havuzlar arasında izin verilen su kotu farkı ( $\Delta h$ ) kullanılarak hesaplanır (Şekil 5.4):

$$n = \frac{h_{top}}{\Delta h} - 1 \quad (5.7)$$

Burada toplam yükseklik ( $h_{top}$ ) rezervuardaki azami su kotu (azami yükseklik) ile balık geçidi tasarım hesaplamalarında temel alınacak en düşük mansap su kotu arasındaki farktan bulunur.

### 5.1.2.3 Havuz boyutları

Havuzlu geçit kanalları genellikle betondan veya doğal taşlardan inşa edilir. Bölümlere ayırma elemanları (ayırma duvarları) ahşaptan veya prefabrike betondan yapılmış olabilir.

Havuz boyutları, geçitten yukarı çıkan balıklara yeterince hareket alanı sağlanacak ve sudaki enerji, düşük türbülansla kırılacak şekilde seçilmelidir. Diğer taraftan, akış hızının havuzlarda rüsup birikimin oluşacağı seviyeye kadar düşmemesi gerekir. Havuzlardaki akışın türbülanslı olmaması için  $150 \text{ W/m}^3$  lük hacimsel enerji kırma değeri aşılmamalıdır. Alabalık kuşağında  $200 \text{ W/m}^3$  lük hacimsel enerji kırma değerine izin verilmektedir (Larinier 1992a).

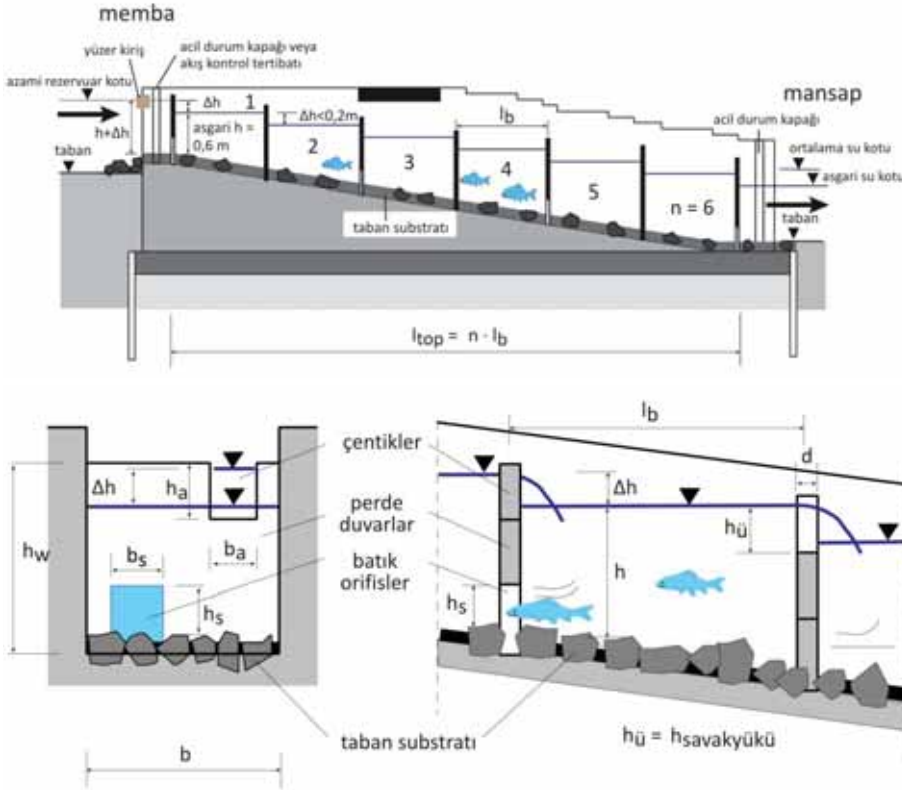
Havuz büyüklüğünün, potansiyel doğal balık faunasının davranış özelliklerine uygun olarak seçilmesi ve göç eden balıkların tahmini büyüklük ve sayısı ile uyumlu olması gerekir. Çizelge 5.1'de literatürdeki farklı kaynaklardan alınmış ve işlevsel



**Şekil 5.3:**

Berne'de (Aşağı Saksonya) Hude Deresi üzerindeki değirmen bendine klinker tuğlalarından inşa edilmiş, şaşırtmalı havuzları olan havuzlu geçit. Bu yapı, tarihi değirmenin genel görünüşüne çok iyi uyum sağlamıştır.





Şekil 5.4:

Bir havuzlu geçidin boy kesiti (şematik)

Şekil 5.5:

Havuzlu geçitlerde kullanılan terimler

balık geçitlerine uygun hidrolik tasarım kriterleri ve ampirik değerlere uyarlanmış, havuz büyüklüğüne ilişkin izin verilen asgari boyutlar ve perde duvarları tasarım bilgileri verilmiştir (teknik terimlerin tarifi için Şekil 5.5'e bakınız). Küçük akarsularda daha küçük havuz boyutları kullanılırken, büyük akarsular için büyük değerler geçerlidir. Tavsiye edilen havuz uzunlukları ve debi değerleri sağlanamazsa, başka balık geçidi tipleri değerlendirilmelidir.

Tabana yakın kesimde akış hızını azaltmak ve dip faunası ile küçük balıkların yukarı çıkışını kolaylaştırmak için havuz tabanının pürüzlü olması gerekir. Beton priz almadan önce içerisine birbirine yakın taşlar gömülerek pürüzlü yüzey elde edilebilir.

#### 5.1.2.4 Perde duvar yapıları

##### 5.1.2.4.1 Klasik havuzlu geçit

Klasik havuzlu geçitler, havuz eksenine dik açılı (Şekil 5.1 ve 5.5) olacak şekilde dayanıklı malzeme (beton veya taşlardan) ya da ahşaptan imal edilen dikey perde duvarları ile karakterize edilir. Ahşap perde duvarları daha sonraki düzenlemelere imkân tanır; ancak birkaç yıl sonra değiştirilmesi gerekir.

Perde duvarların tabanında (Çizelge 5.1'deki boyutlar), içerisinden balıkların yüzerek bir sonraki havuza çıkabildiği, şaşırtmalı biçimde düzenlenmiş

batık açıklıklar bulunmalıdır. Bu açıklıklar havuzun tabanına kadar ulaşır ve substrat ile kesintisiz pürüzlü taban oluşmasına imkân tanır.

Genellikle yukarı çıkan balıklar öncelikle membaya göç etmeyi denediğinden ve nadiren engelden atlayarak geçmeye çalıştığından, yüzey açıklıklarına (çentikler) genellikle gereğinden fazla önem verilmiştir. Yüzey açıklıklarından çıkan kopuk su jetlerinin yol açtığı türbülans, havuzdaki akış şartlarını olumsuz etkiler. Ayrıca, memba su kotundaki değişkenlik nedeniyle, batık perde duvarlar, debi optimizasyonunda sorunlara yol açar. Bununla birlikte, yüzeyde orifis bırakılacaksa, sıçrayarak dökülen akışlara yol açmamak ve balıkların engel üzerinden yüzmesine imkân tanımak için orifislerin alt kenarının mansaptaki havuzun su kotuna göre batık olması gerekir.

Orifis ve çentiklere ilişkin tavsiye edilen boyutlar Çizelge 5.1'de verilmiştir.

Mümkünse, perde duvarlar tamamen su altında kalmamalı, su sadece orifislerden (veya yüzey çentiklerinden) geçmelidir. Su çıkışında (balık geçidi girişi<sup>#</sup>) batık hâlde olan perde duvarları, her zaman kılavuz akıntılar oluşturmadığından özellikle olumsuz etki göstermektedir.

<sup>#</sup> Editörün notu

**Çizelge 5.1** Havuzlu geçitlere ilişkin tavsiye edilen ölçüler

Balık türü	Havuz ölçüleri <sup>1)</sup> (m)			Batık orifislerin ölçüleri (m)		Çentiklerin <sup>3)</sup> ölçüleri (m)		Balık geçidinden geçen debi <sup>4)</sup> m <sup>3</sup> /s	Azami su kotu farkı <sup>6)</sup> Δh (m)
	uzunluk l <sub>b</sub>	genişlik b	su derinliği h	genişlik b <sub>s</sub>	yükseklik h <sub>s</sub> <sup>2)</sup>	genişlik b <sub>a</sub>	yükseklik h <sub>a</sub>		
Mersin balığı <sup>5)</sup>	5 – 6	2,5 – 3	1,5 – 2	1,5	1	-	-	2,5	0,20
Somon, Denizalası, <i>Huchen</i>	2,5 – 3	1,6 – 2	0,8 – 1,0	0,4 – 0,5	0,3 – 0,4	0,3	0,3	0,2 – 0,5	0,20
Gölge balığı, Tatlı su kefali, Çapak balığı vd.	1,4 – 2	1,0 – 1,5	0,6 – 0,8	0,25 – 0,35	0,25 – 0,35	0,25	0,25	0,08 – 0,2	0,20
Üst alabalık kuşağı	> 1,0	> 0,8	> 0,6	0,2	0,2	0,2	0,2	0,05 – 0,1	0,20

**Açıklamalar**

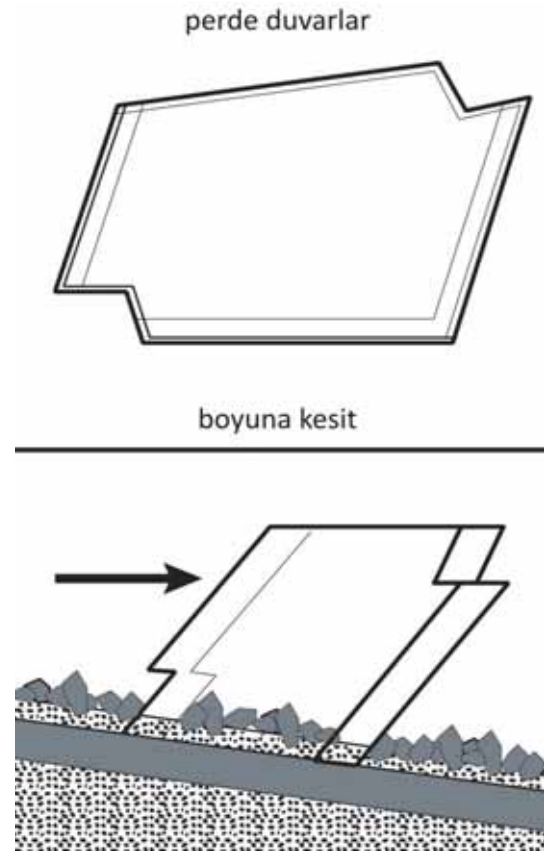
- 1) Havuz ölçüleri büyük olduğunda batık orifisler de büyük olur.
- 2) h<sub>s</sub> taban substratının üzerindeki açık orifis yüksekliğidir.
- 3) Hem üst çentikli hem de batık orifisli balık geçidi planlanıyorsa, daha büyük havuz ölçüleri kullanılmalıdır.
- 4) Debi değerleri, Bölüm 5.1.3'teki eşitlikler kullanılarak Δh=0,2 m için hesaplanmıştır. Daha düşük değerler, üst çentikli olmayan havuzlarda batık orifislere ait küçük ölçülerle ilişkilidir; daha büyük batık orifislerle birlikte üst çentikler (ψ= 0,65) için daha büyük debiler bulunur.
- 5) Mersin balığı ile ilgili başka veriler bulunmadığından, bu türe ait havuz ölçüleri SNiP (1987)'den alınmıştır.
- 6) Su kotu farkı, havuzlar arasındaki seviye farkını gösterir.

**5.1.2.4.2 Paralelkenarlı geçit**

Paralelkenarlı geçitlerin klasik havuzlu geçitten farkı, perde duvarlarının havuz eksenine açılı olarak mansaba doğru düzenlenmiş olmasıdır (Şekil 5.6 ve 5.7). Ardışık perde duvarlar kanal duvarına şaşırtmalı olarak bağlandığından (biri sağdaki duvara, diğeri soldaki duvara bağlanmış hâlde), her havuzda bir uzun kenar bir de kısa kenar bulunmaktadır. Kısa kenarın uzunluğu 0,3 m'den az olmamalı; uzun kenar ise en az 1,8 m olmalıdır. Batık orifisler her zaman perde duvarın memba tarafındaki ucuna yerleştirilirken, yüzey çentikleri daima mansaptaki köşede yer alır (Jens, 1982).

Perde duvarların geçit tabanına göre eğim açısı yaklaşık olarak 60° olup, perde duvarlar ile havuz eksenini arasındaki açı 45° ila 60° dir. Bu durum, perde duvarlara paralelkenar biçiminde çok düzensiz bir şekil verir, bu sebeple "paralelkenarlı geçit" olarak isimlendirilir. Birbirinin ayna görüntüsü olmadığından ve eğimleri zıt yönde olduğundan, sağ ve sol taraftaki perde duvarların inşası için ayrı kalıplara ihtiyaç duyulur.

Bunların dışında, Çizelge 5.1'de klasik havuzlu geçitler için verilen ortalama havuz ve orifis ölçüleri ile su derinliklerine ilişkin tavsiyeler geçerlidir.

**Şekil 5.6:** Paralelkenarlı geçidin perde duvar tasarımı (Jens, 1982)

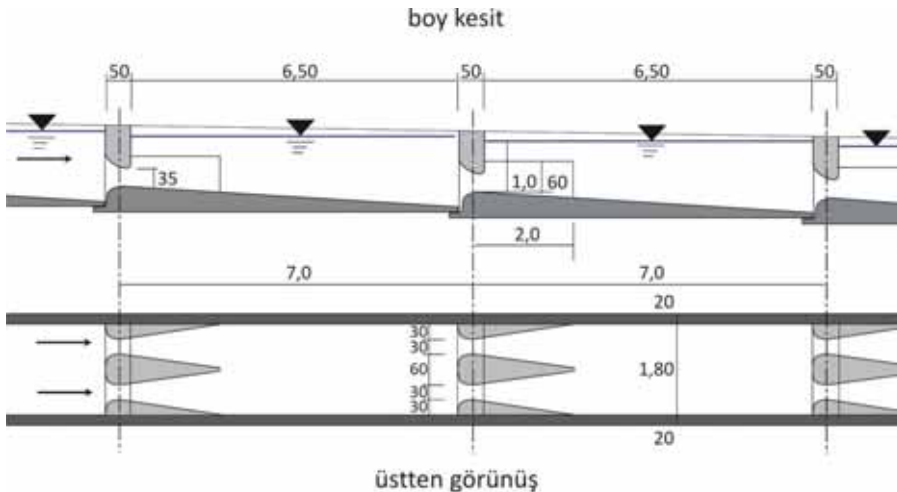


**Şekil 5.7:** Paralelkenarlı geçit örneği (Moselle bendi, Lehmen, mansaptan görünüş)

Bu tasarımın avantajları, daha elverişli akış karakteristikleri ve havuzların kendi kendini daha iyi temizlemesidir. Eğimli perde duvarlar, yukarı çıkan balıkları bir sonraki orifise yönlendirir.

#### 5.1.2.4.3 Hörgüçlü balık geçidi

Schiemenz tarafından geliştirilen hörgüçlü balık geçidi, orifislerin, Şekil 5.8'deki gibi düzenli akışa



**Şekil 5.8:**

Elbe Nehri üzerindeki Geesthacht bendine inşa edilen hörgüçlü balık geçidinin tasarımı ve boyutları (ölçüler cm veya m cinsindedir) (Hensen & Schiemenz, 1960)

Oberaller Nehrinde Gifhorn'da bulunan hörgüçlü balık geçidi daha küçük olup, genişliği 0,75 m ve ortadaki tek batık orifisin ölçüleri ise 25 × 25 cm'dir.

uygun olarak genişleyen kanallar şeklinde olduğu özel bir havuzlu geçit türüdür (Hensen & Schiemenz, 1960). Diğer havuzlu geçitlerin aksine burada orifisler birbirine çapraz konumda olmayıp, aynı hizadadır. Hidrolik model deneylerinde kanalların biçimi, havuzlarda girdap veya dalga oluşmayacak şekilde en uygun hâle getirilmiştir. Ortaya çıkan akış, balıkların geçit içerisinde yolunu her zaman bulabilmesini kolaylaştırarak onları yönlendirilir.

Hörgüçlü balık geçitlerinde uzun havuzlara ihtiyaç duyulur ve havuzlar arasında sadece küçük su kotu farklarına ( $\Delta h = 0,14$  m) izin verilir. Bu yüzden bu tip balık geçitleri sadece aşağıdaki şartlarda uygundur:

- Aşılması gereken su yükü az olduğunda ve
- Böylesine uzun bir yapı için yeterli alan mevcut olduğunda.

Hörgüçlü balık geçitlerinden elde edilen tecrübeler, bunların yavaş yüzen balık türleri için de uygun olduğunu göstermiştir. Tabanın pürüzlü olması durumunda, bu yapı dip canlılarının da geçişine imkân tanıyabilir. Bu balık geçidi tipinin en önemli dezavantajları, çok fazla yere ihtiyaç duyulması ve düzenli akışa uygun kanal orifisleri için teknik ihtiyaçların yüksek olmasıdır.

#### 5.1.3 Hidrolik tasarım

Havuzlu geçitlerin gerektiği gibi çalışması isteniyorsa, aşağıdaki parametrelere mutlaka uyulmalıdır:

- Orifislerdeki akış hızları, eşik değeri olan  $v_{max} = 2,0$  m/s'yi geçmemelidir,
- Balık geçidindeki debi ve
- Hacimsel enerji kırılma değeri, havuzlarda düşük türbülanslı akış temin etmek için genelde  $E = 150$  W/m<sup>3</sup>, alabalık bölgesinde ise  $E = 200$  W/m<sup>3</sup> ü geçmemelidir.

Azami akış hızları orifislerde oluşur ve aşağıdaki eşitlikle hesaplanabilir:

$$v_s = \sqrt{2g\Delta h} \quad (5.3)$$

Üst eşik değeri  $v_{max} = 2,0$  m/s olarak alındığında, Eşitlik 5.3'ten  $\Delta h = 0,2$  m olan perde duvarlarda izin verilen su kotu farkı bulunabilir.

Aşağıdaki eşitlik, orifislerdeki debiyi belirlemek için kullanılmalıdır:

$$Q_s = \psi A_s \sqrt{2g\Delta h} \quad (5.4)$$

Burada  $A_s = h_s b_s$  (terimler için Şekil 5.5'e bakınız) (5.4a)

Debi katsayısı, orifis tasarımı ve taban substratından etkilenir;  $\psi = 0,65$  ila  $0,85$  olarak tahmin edilebilir.

Üst çentiklerdeki debi aşağıdaki eşitlikle hesaplanabilir:

$$Q_a = \frac{2}{3} \mu \sigma b_a \sqrt{2g} h_{savakyükü}^{3/2} \quad (5.5)$$

Burada;

$h_{savakyükü}$  : Memba ve mansap su kotları arasındaki fark (Şekil 5.5),

$\mu$  : Debi katsayısı ( $\mu \approx 0,6$ ) ve

$\sigma$  : Batık akış azalma faktörüdür.

Larinier (1992a)'ya göre, mansabındaki havuzun kuyruk suyunun etkisini gösteren batık akış azalma faktörü aşağıdaki eşitlikten hesaplanabilir:

$$\sigma = \left[ 1 - \left[ 1 - \frac{\Delta h}{h_{savakyükü}} \right]^{1,57} \right]^{0,385} \quad (5.6)$$

Bu eşitlik,  $\Delta h > h_{savakyükü}$ ,  $\sigma = 1$  olduğunda

$0 \leq \frac{\Delta h}{h_{savakyükü}} \leq 1$  aralığı için geçerlidir.

Eşitlik (5.4) ve Eşitlik (5.5)'teki dolusavak ve çıkış akışı katsayıları, orifislerin şekline bağlı olduğundan sadece yaklaşık olarak bulunabilir. İhtiyaç duyulduğunda, daha kesin belirlenmesi gerekir.

Üst çentikten çıkan su jetinin azami hızı Eşitlik (5.3)'teki gibi hesaplanabilir.

Havuzlardaki akışın düşük türbülanslı olmasını ve yeterli enerji dönüşümünü sağlamak için, hacimsel enerji kırılma değeri  $E = 150$  ila  $200$  W/m<sup>3</sup> ü geçmemelidir. Enerji yoğunluğu aşağıdaki eşitlikten hesaplanabilir:

$$E = \frac{\rho g \Delta h Q}{b h_m (l_b - d)} \quad (5.7)$$

Buradaki  $Q$  için toplam debi  $Q = Q_s + Q_a$  olarak girilmelidir.

Hörgüçlü balık geçitlerinin hidrolik tasarım hesaplamalarında bazı özel karakteristiklerin dikkate alınması gerekir. Havuzlardaki yetersiz enerji dönüşümü bu karakteristikleri zorunlu kılar; bunlar için özel kaynaklara bakılması gerekir (Hensen & Schiemenz, 1960).

### Klasik havuzlu geçit için hesaplama örneği

Bir bentteki klasik havuzlu geçit için hesap yapılması gerekir. Tasarımda temel olarak kullanılması gereken debiler için, memba ve mansap su kotu farkları  $h_{top} = 1,6$  m ile  $h_{top} = 1,2$  m arasında değişir (Şekil 5.10). Nehir, potamona özgü balık faunası (tatlısu kefali, çapak balığı vb.) sebebiyle potamon olarak sınıflandırılmaktadır. Burada denizalası veya somon gibi büyük alabalıkların bulunmadığı düşünülmektedir.

Aşağıdaki havuz ölçüleri, Çizelge 5.1'den seçilir:

Havuz genişliği  $b = 1,4$  m,

Asgari su derinliği  $h = 0,6$  m.

Havuz tabanlarının yüzeyi, Şekil 5.9'da gösterilen nehir taşları kullanılarak pürüzlü hâle getirilir.

Perde duvarlarda sadece taban orifisleri bulunacak ve orifis açıklığı  $b_s = h_s = 0,3$  m olacaktır (Şekil 5.9). Üst çentik planlanmamıştır.

Azami su kotu farkı  $\Delta h_{max} = 0,2$  m'yi aşmamalıdır; böylece gerekli havuz sayısı Eşitlik (5.2)'den hesaplanır:

$$n = \frac{h_{top}}{\Delta h} - 1 = \frac{1,6}{0,2} - 1 = 7 \text{ havuz}$$

Mansap su kotu daha yüksek olduğunda kot farkı aşağıdaki değere iner:

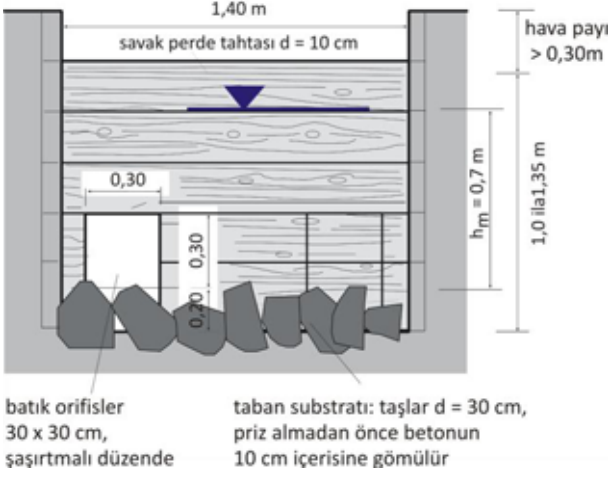
$$\Delta h_{min} = \frac{1,2}{8} = 0,15 \text{ m}$$

Eşitlik (5.3)'e göre, orifislerdeki akış hızı,  $\Delta h = 0,2$  m (asgari su kotunda) için aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$v_s = \sqrt{19,62 \cdot 0,2} = 1,98 \text{ m/s}$$

ve  $\Delta h = 0,15$  m için;

$$v_s = \sqrt{19,62 \cdot 0,15} = 1,71 \text{ m/s}$$



Şekil 5.9: Havuzların en kesiti

Böylece akış hızı her zaman izin verilen azami değer olan  $v_{max} = 2,0$  m/s'den küçük olur.

Katsayı  $\psi = 0,75$  olarak alındığında, Eşitlik (5.4)'e göre debiler aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$Q_{s,max} = \psi A_s \sqrt{2g\Delta h} = 0,75 \cdot 0,3^2 \cdot 1,98 = 0,134 \text{ m}^3/\text{s}$$

suyun az olduğu dönemde, mansap su kotu daha yüksek olduğunda aşağıdaki değere düşer:

$$Q_{s,min} = 0,75 \cdot 0,3^2 \cdot 1,71 = 0,115 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$E = 150 \text{ W/m}^3,$$

Asgari ortalama su derinliği

$$h_m = h + \Delta h/2 = 0,6 + 0,2/2 = 0,7 \text{ m},$$

Savak perde tahtasının kalınlığı  $d = 0,1$  m

olarak alındığında, havuzlarda düşük türbülanslı akış için gerekli havuz uzunluğu Eşitlik (5.7)'ye göre aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$(l_b - d) = \frac{\rho g \Delta h Q}{E b h_m} = \frac{9,81 \cdot 1000 \cdot 0,134 \cdot 0,20}{150 \cdot 1,40 \cdot 0,7}$$

$$\rightarrow l_b = 1,89 \approx 1,90 \text{ m}$$

Havuzun boy kesiti Şekil 5.10'da gösterilmiştir. Su derinliği 1,0 m, taban substratının yüksekliği 20 cm ve  $\Delta h = 0,15$  m olduğunda mansaptaki perde duvarın yüksekliği;

$$h_w = 1,0 + 0,20 + 0,15 = 1,35 \text{ m}$$

membadaki duvarın yüksekliği ise;

$$h_w = 0,80 + 0,20 = 1,0 \text{ m olur.}$$

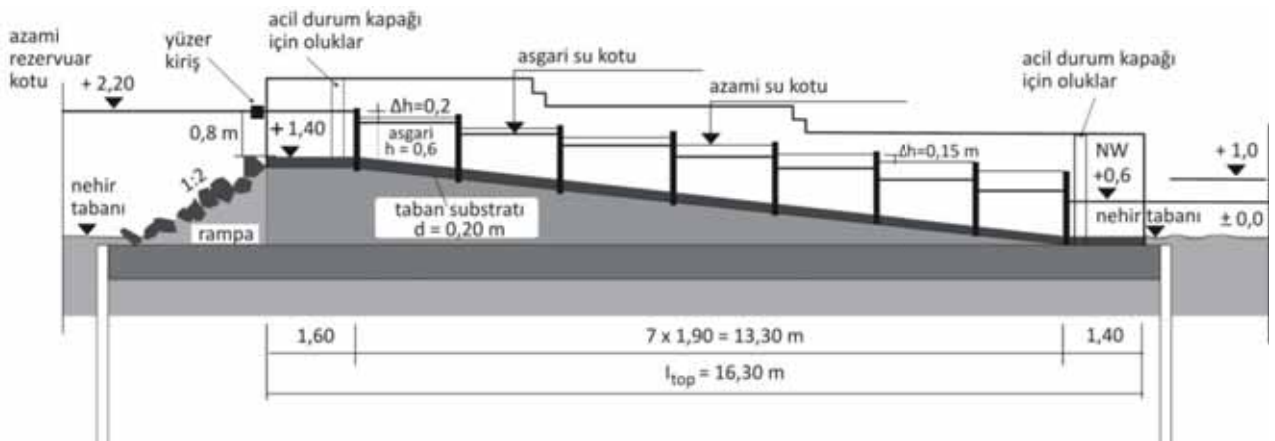
Aradaki her bir perde duvarın yüksekliği 5'er cm azaltılır.

### 5.1.4 Genel değerlendirme

Havuzlu geçitler en eski balık geçidi tiplerinden olup, tasarım, yerleşim ve bakımın uygun olduğu yerlerde işlevsel olduğu kanıtlanmıştır. Havuzlu geçitler, hem hızlı yüzen balıkların hem de tabana yakın yüzen küçük balıkların göçüne imkân tanıyan uygun yapılardır. Havuzlu geçitlerde kesintisiz pürüzlü taban inşa edilebilir; bu taban yapısının içerisindeki boşluklar dip canlılarının membaya çıkışına izin verir.

Normal orifis boyutları ve su kotu farklarında, 0,05 ile 0,5 m<sup>3</sup>/s arasında az miktarda bir debiye ihtiyaç duyulması avantajdır.

Diğer taraftan, orifislerin istenmeyen cisimlerle tıkanma ihtimali yüksek olduğundan, havuzlu geçitlerdeki bakım ihtiyacının fazla olması dezavantajdır. Yaşanan tecrübelerle göre, sadece orifislerin tıkanması sebebiyle havuzlu geçitlerin birçoğunun yılın büyük bir bölümünde çalışmadığı görülmüştür. Bu sebeple, havuzlu geçitlerde en az haftalık olmak üzere düzenli bakım ve temizlik yapılması gerekir.



Şekil 5.10: Havuzlu geçidin boy kesiti (hesaplama örneği ile birlikte)



## 5.1.5 Örnekler

<b>KOBLENZ HAVUZLU GEÇİDİ</b>	
<b>Barajla ilgili bilgiler</b>	<b>Balık geçidi ile ilgili bilgiler</b>
<p>Akarsu: Moselle Nehri, Rhineland-Palatinate</p> <p>Amacı: Hidroelektrik üretimi, ulaşım (taşımacılık)</p> <p>Debiler: <math>NQ_{1971/80} = 20 \text{ m}^3/\text{s}</math>  <math>MQ_{1931/90} = 313 \text{ m}^3/\text{s}</math>  <math>HQ_{1993} = 4165 \text{ m}^3/\text{s}</math></p> <p>Düşü yüksekliği: <math>h_F = 5,30 \text{ m}</math></p> <p>İnşa yılı: 1945–54</p> <p>Sorumlu: Federal Suyolu İdaresi / Moselle Hidroelektrik Şirketi</p>	<p>Havuz genişliği: <math>b = 1,80 \text{ m}</math></p> <p>Havuz uzunluğu: <math>l_b \approx 2,60 \text{ m}</math></p> <p>Havuz sayısı: <math>n = 24</math></p> <p>Su derinliği: <math>h = 1,0 \text{ m}</math></p> <p>Toplam uzunluk: <math>l_{top} = 102 \text{ m}</math></p> <p>Eğim: <math>I \approx 1 : 12</math></p> <p>Perde duvarlar: Üstte çentikler, tabanda orifisleri olan beton duvarlar <math>30 \times 30 \text{ cm}</math></p>



**Şekil 5.11:** Koblenz/Moselle balık geçidi (mansaptan görünüş)

1951 yılında işletmeye alınan bu barajdaki balık geçidi, Moselle nehrinin sağ sahilinde enerji santralının yanında bulunmaktadır. Bu geçidin işlevselliği, Gennerich (1957), Pelz (1985) ve diğerleri tarafından kontrol edilmiştir. Birçok balığın geçitten membaya geçebilmesine rağmen, çok daha fazlası belirgin bir şekilde geçidin girişini bulamadığından türbin çıkışlarının hemen yakınında yakalanmaktadır. Denemeler sonunda, yaklaşık 102 m'lik geçit uzunluğunun fazla oluşunun ve balık geçidi girişi ile türbin çıkışları arasında yaklaşık 45 m mesafe bulunmasının bu duruma yol açtığı belirlenmiştir.

## DAHL BALIK GEÇİDİ

Barajla ilgili bilgiler	Balık geçidi ile ilgili bilgiler
Akarsu: Lippe Nehri, 99. km, NRW	Genişlik: $b = 1,0$ m
Debiler: MNQ = $12,3$ m <sup>3</sup> /s	Toplam uzunluk: $l_{top} = 46,0$ m
MQ = $32,3$ m <sup>3</sup> /s	Eğim: $I = 1 : 11$ ila $1 : 24$
MHQ = $179$ m <sup>3</sup> /s	İnşa özellikleri: Taban orifisleri ve üst çentikleri olan prefabrike beton parçalar
Tip: Blok taşlı rampa	İnşa yılı: 1985
Toplam yükseklik: $h_{top} = 2,6$ m	
Sorumlu: Lippeverband, Dortmund	

### Yapının tanıtımı

Memba ve mansap su giriş-çıkış yerlerinde taban eşiği palyelerle kaba blok taşlı rampa biçimine dönüştürülmüştür. Geçit, su etkisi ile oyulan sol sahil boyunca inşa edilmiş ve rampaya dâhil edilmiştir; havuzlu geçidin inşasında, içerisine perde duvarların yerleştirildiği olukları olan prefabrike beton parçalardan yararlanılmıştır. Perde duvarlarda  $25 \times 25$  cm ölçülerinde şaşırtmalı taban orifisi ve üst çentikler bulunmaktadır.

### İşlevsellikle ilgili veriler

Ruppert ve Späh (1992) tarafından gerçekleştirilen izleme çalışmaları ve balık sayım sonuçları, bu geçitten balıkların geçebildiğini göstermiştir. Bununla birlikte, tabanın pürüzsüz beton olması sebebiyle dip omurgasızlarının geçişi neredeyse imkânsızdır.



**Şekil 5.12:** Dahl havuzlu geçidi  
(işletmeye alınmadan kısa bir süre önce)



**Şekil 5.13:** İşletmedeki Dahl havuzlu geçidi  
(mansaptan görünüş)

## 5.2 Yarıklı geçitler

### 5.2.1 Prensip

Yarıklı geçit veya dikey yarıklı geçit Kuzey Amerika'da geliştirilmiş olup, 1950'li yıllardan bu yana yaygın olarak kullanılmaktadır (Clay, 1961; Bell, 1973; Rajaratnam vd., 1986). Bu yapı türü, son yıllarda Almanya Federal Cumhuriyeti'nde de gittikçe artan bir biçimde kullanılmaktadır.

Yarıklı geçit, havuzlu geçitlerin değişik bir şekli olup, bu tasarımda perde duvarlar, duvar yüksekliğinin tamamı boyunca dikey yarıklarla çentikli hâle getirilmiştir (Şekil 5.14). Perde duvarlarda, akarsuyun büyüklüğüne ve mevcut debiye göre bir veya iki yarık bulunabilir. Tek yarıklı tasarımda, yarıklar (orifislerin şaşırtmalı olarak düzenlendiği klasik havuzlu geçitlerin tersine) her zaman aynı tarafta yer alır.

### 5.2.2 Tasarım ve boyutlar

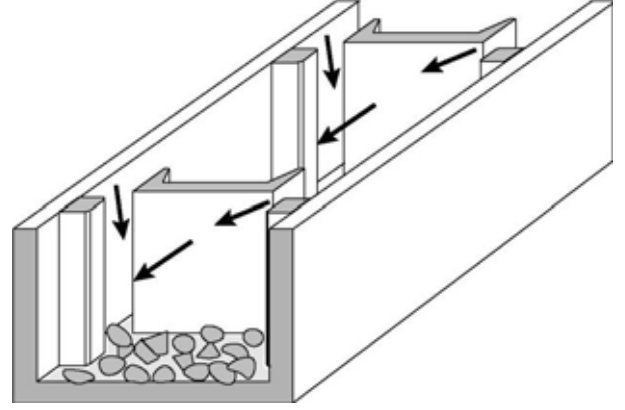
#### 5.2.2.1 Üstten görünüş

Yarıklı geçidin doğru konumlandırılması ve barajdaki giriş yeri ile ilgili prensipler, klasik havuzlu geçitler için verilenlerle aynıdır (Bölüm 5.1).

#### 5.2.2.2 Boy kesit

Yarıklı geçidin boy kesiti, Bölüm 5.1'de açıklanan klasik havuzlu geçidinkine benzemektedir (ayrıca bkz. Şekil 5.18 ve Şekil 5.23).

Balık geçidi giriş ve çıkışındaki taban yüksekliği ve su derinliği ile ilgili olarak Bölüm 5.2.3'te verilen karakteristiklere uyulmalıdır.



Şekil 5.14: Çift yarıklı balık geçidi örneği (şematik)

#### 5.2.2.3 Havuz boyutları

Özellikle yarık genişliği ve yarık sayısı (bir veya iki) ile debi, gerekli havuz ölçülerini belirlemektedir. Havuzlu geçitlerde olduğu gibi, havuzlarda düşük türbülanslı akış, sadece havuz büyüklüğünün hacimsel enerji kırılma değeri olan  $E < 200 \text{ W/m}^3$  ü sağlaması şartıyla mümkün olmaktadır (Larinier, 1992a). Çizelge 5.2'de verilen havuz ölçülerinin, hem laboratuvar deneylerinde hem de uygulamalı çalışmalarda uygun olduğu gösterilmiştir (Katopodis, 1990; Gebler, 1991; Larinier, 1992a). Konuyla ilgili terimler için Şekil 5.16'ya bakılmalıdır. Burada verilen ölçüler tek yarıklı geçitler için geçerlidir. Çift yarıklı geçit planlanırken, havuz genişliği buna bağlı olarak iki katına çıkarılmalıdır; böylece yan duvar simetri eksenine göre yarığa zıt konumda olur.



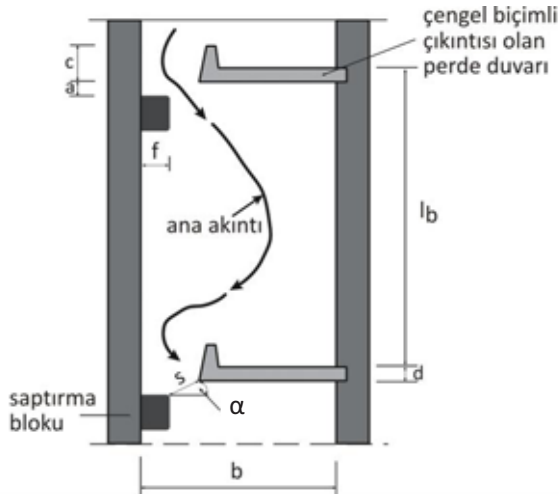
Şekil 5.15:

Dordogne'da (Fransa) Bergerac bendindeki yarıklı geçit

( $h_{\text{top}}=4,0 \text{ m}$ ,  $b=6,0 \text{ m}$ ,  $l_b = 4,5 \text{ m}$ ,  $l_{\text{top}}=73 \text{ m}$ ,  $Q=2,2 \text{ ila } 7 \text{ m}^3/\text{s}$ ,  $0 \text{ ila } 6 \text{ m}^3/\text{s}$  ilave olarak yan geçit kanalından verilmektedir, inşaat yılı 1984).

Bu yapı tipinin hem büyük alabalıklar hem de sazangillerin yanı sıra ekonomik önemi olan tirsi (*Alosa alosa*) için de ideal olduğu kanıtlanmıştır.





**Şekil 5.16:** Sadece tek yarığı olan yarıklı geçitlere ilişkin boyutlar ve terimler (üstten görünüş)

Gebler (1991)'e göre yarık genişliği  $s = 0,15$  ila  $0,17$  m olan yarıklı geçitlerin asgari ölçüleri  $l_b = 1,9$  m ve  $b = 1,2$  m olmalıdır.

#### 5.2.2.4 Yapısal karakteristikler

Yarıklı geçidin en önemli karakteristiği, mevcut balık faunası ve debiye göre seçilmesi gereken yarık genişliğidir ( $s$ ) (Çizelge 5.2). Kahverengi alabalık, gölge balığı, sazangiller ve küçük balıklar için  $s = 0,15$  ila  $0,17$  m'lik yarık genişliği yeterlidir. Büyük alabalıklar (örneğin, somon, denizalası ve *huchen*) için inşa edilecek yarıklı geçitlerde ve yüksek debili büyük nehirlerde,  $s = 0,3$  m ila  $0,6$  m olan daha büyük yarık genişlikleri ve buna göre Çizelge 5.2'de verilen daha büyük havuz ölçüleri tavsiye edilir. Bununla birlikte, bazı özel durumlarda, örneğin

gerekli en yüksek debinin sağlanamaması durumunda  $s = 0,20$  m'lik yarık genişlikleri de yeterli olabilir. Çizelge 5.2'de verilen yarık genişliklerinde değişiklik yapılması hâlinde, bunun havuzlardaki akış rejimi üzerine muhtemel etkileri dikkate alınmalıdır.

Perde duvarların, havuzlarda yarıktan yarığa doğru düz bir hat şeklinde geçen hiçbir kısa devre akıntı oluşmayacak ve bunun yerine bütün havuz hacminin düşük türbülanslı enerji dönüşümü amacıyla kullanılması için kendi üzerinde kıvrımlar oluşturan ana akıntıyı ortaya çıkaracak şekilde tasarlanması gerekir. Bu tür akıntı rejimleri, perde duvarlara, yarık açıklığının ön bölümünde akış saptırma etkisi gösteren çengel biçimli çıkıntı ilave edilerek oluşturulur. Saptırma bloku, yan duvardaki yarık sınırını oluşturmaktadır. Perde duvarının biraz ön kısmında yer alan bu saptırma blokuna ilişkin "a" mesafesi (Şekil 5.16), ana akıntıyı havuzun ortasına doğru yönlendiren  $\alpha$  açısı kadar saptırılmış bir akıntı meydana getirir. Gebler (1991)'e göre "a" mesafesi, küçük balık geçitlerindeki açı en az  $20^\circ$  olacak şekilde seçilmelidir. Yarık genişliği daha büyük olan geçitlerde,  $\alpha = 30^\circ$  ile  $45^\circ$  arasındaki büyük açılar tavsiye edilmektedir (Larinier, 1992a, Rajaratnam, 1986).

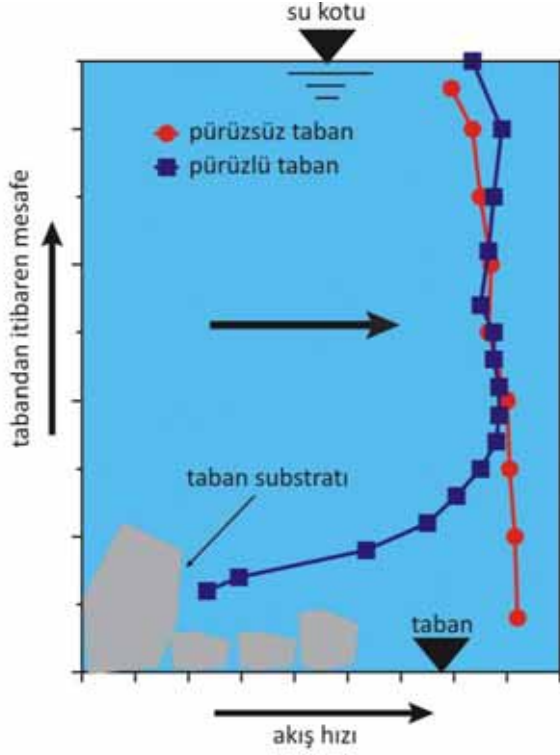
Çizelge 5.2'de perde duvarları tasarımı için tavsiye edilen değerler verilmiştir. Konuyla ilgili terimler Şekil 5.16'da bulunabilir.

Arazide ve modeller üzerinde yapılan deneylerden, tavsiye edilen değerlere uyulmadığı sürece havuzlarda gerekli akıntı rejiminin elde edilemediği sonucuna varılmıştır.

**Çizelge 5.2** Sadece tek yarığı olan geçitlere ilişkin asgari boyutlar (ölçüler m cinsindedir) (Gebler, 1991 ve Larinier, 1992a)

Balık faunası		Gölge balığı, çapak balığı, tatlısu kefali vd.		Mersin balığı
		Kahverengi alabalık	Somon, deniz alası, <i>huchen</i>	
Yarık genişliği	$s$	0,15 - 0,17	0,30	0,60
Havuz genişliği	$b$	1,20	1,80	3,00
Havuz boyu	$l_b$	1,90	2,75 - 3,00	5,00
Çıkıntı uzunluğu	$c$	0,16	0,18	0,40
Blokla perde arasındaki mesafe	$a$	0,06 - 0,10	0,14	0,30
Saptırma blokunun genişliği	$f$	0,16	0,40	0,84
Su kotu farkı	$h$	0,20	0,20	0,20
Asgari su derinliği	$h_{min}$	0,50	0,75	1,30
Gerekli debi <sup>1)</sup>	$Q$ (m <sup>3</sup> /s)	0,14 - 0,16	0,41	1,40

<sup>1)</sup> Değerler,  $\Delta h = 0,20$  m ve  $h_{min}$  için hesaplanmıştır.



**Şekil 5.17:** Yarıktaki akış hızının pürüzlü ve pürüzsüz tabana göre dağılımı (Gebler, 1991).

Prefabrike beton parçalar veya ahşap, perde duvarlar için uygun yapı malzemeleridir. Ahşap perde duvarlar için inşaat sırasında, beton tabana dayanak yeri olarak çerçevelerin veya çelik taşıyıcıların yerleştirilmesi gerekir. Saptırma bloku, kare kesitli bir parça kalas, duvara dikey olarak yerleştirip sabitlenerek kolayca oluşturulabilir. Seçilen inşa yöntemine bağlı olarak perde duvarlar, tam dikey olarak ya da tabana dik olarak yerleştirilebilir.

Perde duvarlar, ortalama debide üzerinden su aşmayacak kadar yüksek olmalıdır.

### 5.2.2.5 Taban substratı

Yarıklı geçit, balık merdiveninin tamamı boyunca taban substratının kesintisiz olarak serilmesini mümkün kılar. Taban için kullanılan malzemenin ortalama tane çapı en az  $d_{50} = 60$  mm olmalıdır. Mümkün olan yerlerde, bu malzeme akarsu tabanındaki doğal malzemedan seçilmelidir. Tabana serilen malzeme tabakasının asgari kalınlığı yaklaşık 0,2 m'dir. Taban betonu dökülürken, destek sağlaması amacıyla birkaç tane büyük taş aralıklı olarak yerleştirilebilir. Daha sonra küçük taneli malzeme gevşek olarak döşenir.

Daha önce de açıklandığı gibi, taban substratı dip canlılarının geçişini kolaylaştırmaya ilave olarak, yarıklarda ve tabana yakın yerlerde akış hızlarını önemli ölçüde azaltır. Şekil 5.17'de akış hızlarındaki azalmanın büyük ölçüde iri taşlardan ileri geldiği görülmektedir. Bu korunaklı alanlar, taş ısırma, dere kaya balığı ve dere iskorbiti gibi yüzme performansı iyi olmayan türlerin geçitten membaya göçünü mümkün kılar.

Balık geçidi taban substratı ile akarsu taban substratının birbirine bağlanması gerekir. Balık geçidinin tabanı nehir tabanından daha yüksekteyse, nehir tabanı kaya dolgu ile bağlanmalıdır.

### 5.2.3 Hidrolik hesaplama

Aşağıda verilenlerin bütün işletme şartlarında izlenmesi gerekir:

- Su derinlikleri,
- Yarıktaki akış hızları (kritik değerler),
- Havuzlardaki hacimsel enerji kırılması için debiler ve enerji yoğunluğu.

Taban substratının ortalama kotundan itibaren ölçülen, perde duvarı altındaki su derinlikleri, yarıktaki ani taşkın debisinin oluşmasını engellemeye yetecek kadar yüksek olmalıdır. Bu husus, aşağıdaki şartlarda sağlanabilir:

$$h_u > h_{gr} \text{ veya} \quad (5.8)$$

$$v_{max} > v_{gr} \quad (5.8a)$$

Burada 
$$h_{gr} = \sqrt[3]{\frac{Q^2}{gS^2}} \quad (5.8b)$$

$$v_{max} = \sqrt{2g\Delta h} \quad (5.8c)$$

$$v_{gr} = \sqrt{gh_{gr}} \quad (5.8d)$$

$\Delta h = 0,20$  m olduğunda asgari su derinliği (yarıklarda ölçülen) yaklaşık  $h_u = h_{min} = 0,5$  m'dir. Bütün işletme şartlarında bu derinliğin sağlanabilmesi için aşağıdakiler tavsiye edilmektedir (Şekil 5.18):

- Su girişindeki (balık geçidi çıkışı<sup>#</sup>) taban seviyesini tespit etmede en düşük memba su kotu belirleyici faktördür. İlk havuzdan (membadan mansaba doğru) önceki taban substratının üst kotu, memba su kotundan ( $h_{min} + \Delta h$ ) çıkarılarak bulunan değerdir.

<sup>#</sup> Editörün notu



- Yılın büyük bir bölümündeki (birkaç gün hariç) en düşük kot olan asgari su kotu (NW), mansap su kotunu belirler. Son havuzun mansabındaki (su çıkışı/balık geçidi girişi) taban substratının üst kotu  $NW - h_{min}$  olmalıdır.

Bu memba ve mansap su kotlarında su derinliği bütün havuzlarda aynı olup, ardışık iki havuz arasındaki su kotu farkı, geçidin tamamında birbirine eşittir. Bu varsayım, azami memba su kotunun sabit olduğu rezervuarlar için en kötü durum senaryosudur. Gerekli havuz sayısı "n" aşağıdaki eşitlikten bulunur:

$$n = \frac{h_{top} - 1}{\Delta h} \quad (5.2)$$

Yine burada su kotu farkı eşik değeri olarak  $\Delta h \leq 0,20$  m kullanılmalıdır.

Azami akış hızı  $v_{max}$  yarıklarda ortaya çıkar ve aşağıda verildiği gibi azami su kotu farkı  $\Delta h$  ile ilişkilidir:

$$v_s = \sqrt{2g\Delta h} \quad (5.3)$$

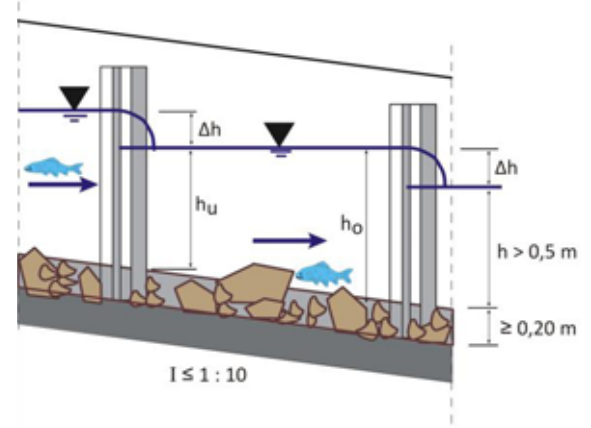
Yarıklı geçitlerdeki debiler, yarıklardaki hidrolik şartlar tarafından belirlenir ve aşağıdaki eşitlikle hesaplanır:

$$Q = \frac{2}{3} \mu_r s \sqrt{2gh_o}^{3/2} \quad (5.9)$$

Burada; Şekil 5.22'de görüldüğü gibi

$$\mu_r = f(h_u / h_o)' \text{ dir.}$$

$\mu_r$  katsayısı, laboratuvar denemeleri (Rajaratnam, 1986 ve Gebler, 1991) ve arazi ölçümlerinden (Krüger 1993) elde edilen sonuçlara göre tespit edilmiştir. Bu katsayı, Şekil 5.22'den alınabilir. Buradaki değerler;  $s = 0,12$  ila  $0,30$  m,  $h_u = 0,35$  ila  $3,0$  m ve  $\Delta h = 0,01$  ila  $0,30$  m aralığını kapsamaktadır. Daha büyük yarık ölçüleri

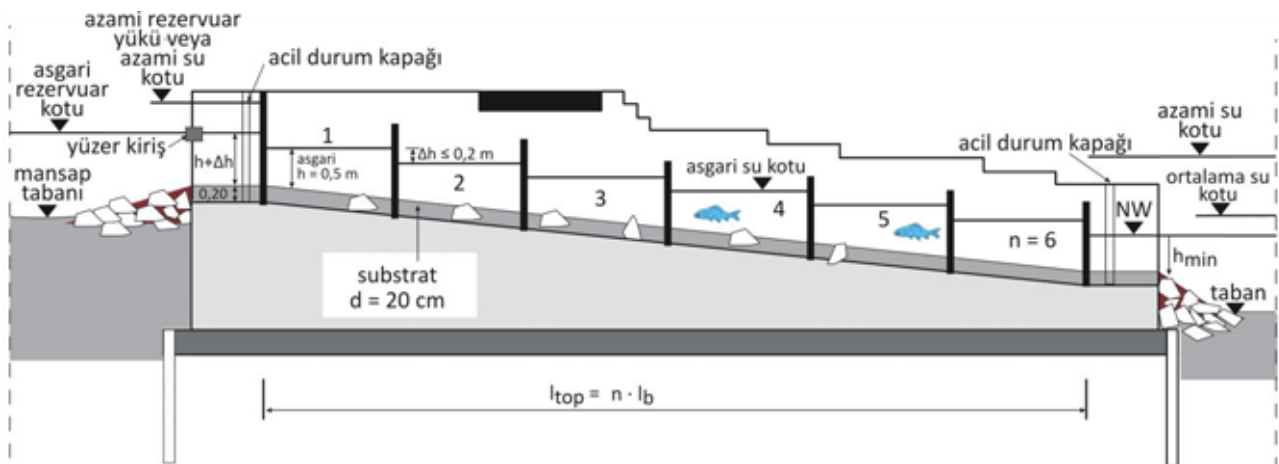


Şekil 5.19: Yarıklı geçidin ayrıntısı (şematik boy kesit)

kullanılacaksa, ölçekli modellerle denemelerin yapılması tavsiye edilir.

Yarık genişliği  $s = 17$  cm,  $\Delta h = 0,20$  m ve  $\Delta h = 0,15$  m için Şekil 5.21'deki grafik oluşturulurken Eşitlik 5.9 kullanılmıştır. Bu sayede, bu değerler için debi doğrudan grafikten okunabilir.

Memba ve mansap su kotlarının farklı olması durumunda, örneğin, mansap şartları nedeniyle (mansaptan kaynaklanan su kabarması etkisi gibi) aşağıdaki havuzlarda su derinliği daha fazla olduğunda ya da memba su kotu farklı olduğunda (sabit bentlerde veya barajlarda görülen) debi hesaplamaları daha karmaşık hâl almaktadır. Böylece perde duvarlarda çok farklı su derinlikleri ortaya çıkar; bu da, rezervuardaki suyun yükselme ve düşme seviyeleri ile kıyaslandığından değişken su seviye farklarına yol açar. Böyle bir durumda, debi hesaplaması aşağıdaki işlemle sadece iterasyon yöntemi kullanılarak gerçekleştirilebilir: Öncelikle, mambadaki ilk perde duvarda ortalama bir su kotu farkı kabul edilerek debinin hesaplanması gerekir.



Şekil 5.18: Yarıklı geçidin boy kesiti (şematik)



**Şekil 5.20:**

Bir yarıklı geçitte yarıktan geçen su akıntısı

Havuzdaki kısa devre su akıntısını önlemek maksadıyla akıntının yarıktan köşegenel olarak çıkması gerekir (Aşağı Puhlstrom / Unterspreewald).

Bu tahmini debi değeri kullanılarak, hesaplama mansaptaki en son perde duvarından başlamak kaydıyla, her bir perde duvar için memba su derinliği  $h_o$  adım adım bulunabilir.  $\mu_r$  katsayısı,  $h_u/h_o$ 'ın bir fonksiyonu olduğundan bu hesaplama sadece iterasyonla çözülebilir. Debiye ait bu tahmin değeri doğruysa, ilk (en üst) perde duvarda hesaplanan  $h_o$  değerinin memba su kotuna karşılık gelmesi gerekir. Aksi durumda, hesaplama farklı bir tahmini debi değeri ile tekrar edilmelidir.

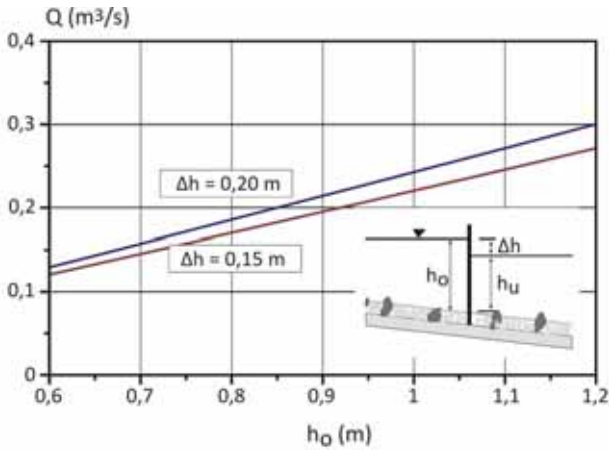
Havuzlarda düşük türbülanslı akıntıyı sağlamak için, havuzlardaki hacimsel enerji kırılmasına ilişkin enerji yoğunluğu, Larinier (1992a)'nın bildirdiği  $E = 200 \text{ W/m}^3$  eşik değerini geçmemelidir. Hacimsel enerji kırılması aşağıdaki eşitlikle bulunur:

$$E = \frac{\rho g \Delta h Q}{b h_m (l_b - d)} \quad (5.7)$$

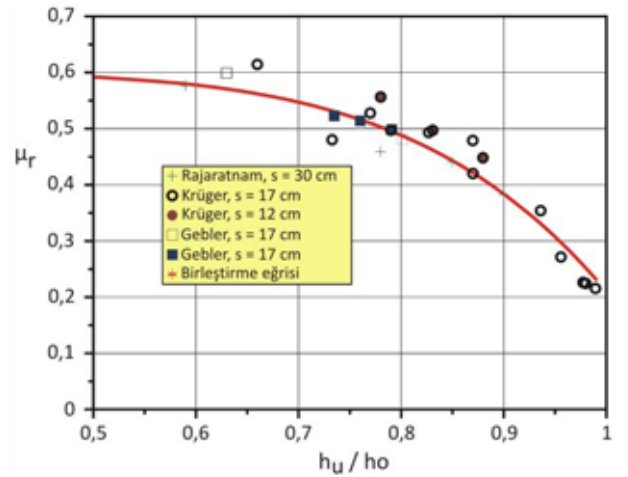
#### Yarıklı geçit için hesaplama örneği:

Bir bende, yarıklı geçit yapılacaktır. Memba su kotu 61,95 m (yaz dönemi) ile 62,10 m (kış dönemi) arasında değişmektedir. Asgari mansap su kotu, 60,00 m olan akarsu tabanına göre 60,60 m'dir; balık geçidinin mansaptaki tabanı, nehir tabanı ile aynı seviyede olmalıdır. Balık geçidi planlanırken büyük alabalıkların hesaba katılması gerekmez.

Geçitteki, debi, akış hızı ve türbülans şartlarının asgari ve azami memba su kotu için belirlenmesi gerekir.



**Şekil 5.21:** Yarıklı genişliği  $s = 17 \text{ cm}$  olan geçitteki su debisi



**Şekil 5.22:** Keskin kenarlı yarıklar için Eşitlik (5.9)'daki debi katsayısı  $\mu_r = f(h_u/h_o)$ .

Ölçüler, Çizelge 5.2'ye uygun olarak aşağıda verildiği gibi seçilir:

- Yarık genişliği:  $s = 0,17$  m,
- Havuz uzunluğu:  $l_b = 1,90$  m,
- Havuz genişliği:  $b = 1,40$  m.

Şekil 5.24'te perde duvarların tasarımına ilişkin örnek verilmiştir.

Memba ile mansap arasındaki azami fark  $h_{top} = 62,1 - 60,6 = 1,50$  m ve izin verilen su kotu farkı  $\Delta h = 0,2$  m (Çizelge 5.2) olduğunda, inşa edilecek havuz sayısı Eşitlik (5.2)'den hesaplanır:

$$n = \frac{h_{top}}{\Delta h} - 1 = \frac{1,5}{0,2} - 1 = 6,5 \approx 7 \text{ havuz}$$

Bununla birlikte sonraki hesaplamalardan, azami memba su kotunda (kış seviyesi) izin verilen su kotu farkını aşmayacak şekilde en az 8 havuza, bir başka deyişle 9 perde duvara ihtiyaç olduğu görülmektedir.

Böylece, ön ve arka hazneler (her biri 1,0 m uzunluğunda) de dâhil geçidin toplam uzunluğu;

$$l_{top} = 8 \cdot 1,90 + 2 \cdot 1,0 = 17,20 \text{ m olur.}$$

Havuzlarda 0,2 m kalınlığında taban substratı bulunmaktadır. Asgari memba su kotlarında aynı akış rejimini elde etmek amacıyla, balık geçidinde asgari su derinliği  $h = 0,60$  m olarak seçilirken, memba ve mansap su kotları arasındaki toplam fark bütün perde duvarlara eşit olarak bölünmüştür.

$$\text{Asgari } h_{top} = 61,95 - 60,6 = 1,35 \text{ m}$$

$$\text{ve } \Delta h = 1,35/9 = 0,15 \text{ m}$$

olduğundan, memba tarafındaki su giriş (balık geçidi çıkışı) kotu, taban substratının üst kenarına göre;

$$z_{e,substrat} = 61,95 - (0,6 + 0,15) = 61,2 \text{ m}$$

ve memba tarafındaki girişte (balık geçidi çıkışı) balık geçidinin ana taban seviyesi;

$$z_{e,taban} = 61,2 - 0,2 = 61,0 \text{ m olur.}$$

Asgari memba su kotlarında, her bir perde duvarda aynı su kotu farkları ortaya çıkar. Bu durumda yarıklardaki azami akış hızı;

$$v_s = \sqrt{2g\Delta h} = \sqrt{19,62 \cdot 0,15} = 1,72 \text{ m/s olup,}$$

izin verilen  $v_s = 2,0$  m/s'den küçüktür.

Şekil 5.21'den  $h_o = 0,75$  m ve  $\Delta h = 0,15$  m için yaklaşık debi değeri  $Q = 0,16 \text{ m}^3/\text{s}$  okunabilir ve ayrıntılı hesaplama ile doğrulanabilir.

$$h_o = 0,75 \text{ m, } h_u = 0,6 \text{ m,}$$

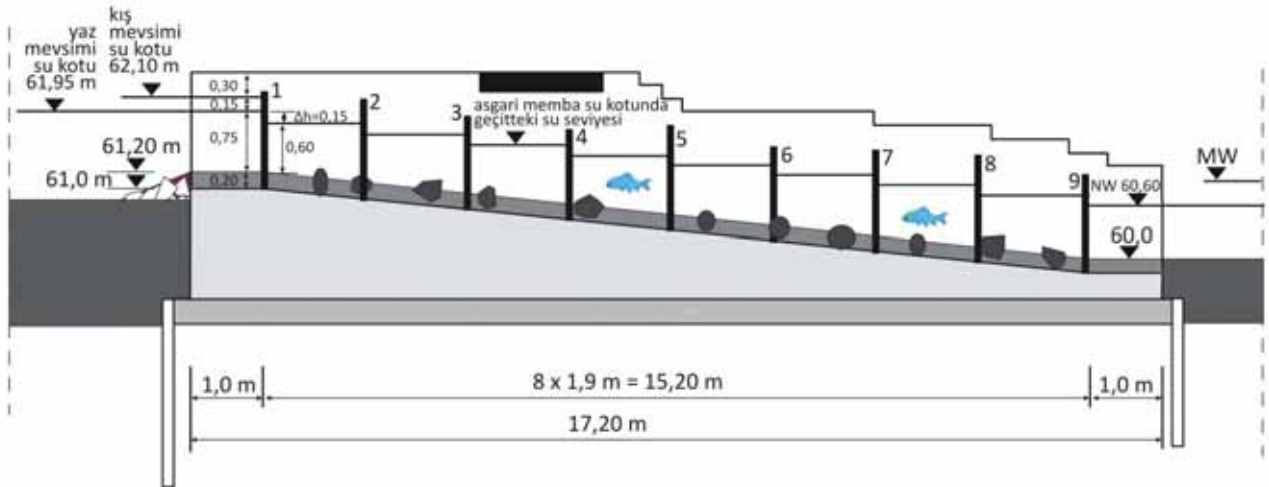
$$h_u/h_o = 0,6/0,75 = 0,80$$

Şekil 5.22'den  $\mu_r = 0,49$  alındığında;

$$Q = \frac{2}{3} \mu_r s \sqrt{2gh_o}^{3/2}$$

$$= \frac{2}{3} 0,49 \cdot 0,17 \sqrt{19,62 \cdot 0,75}^{3/2} = 0,16 \text{ m}^3/\text{s olur.}$$

Kırılan hacimsel enerji değeri hesaplanarak, havuzlardaki türbülans şartları belirlenir. Yapılan hesaplamalardan  $h_m = h_u + \Delta h/2 = 0,6 + 0,15/2 = 0,675$  değeri ile  $E = 200 \text{ W/m}^3$  eşik değerinin aşılmadığı görülecektir:



Şekil 5.23: Hesaplanan örnek değerlerle birlikte şematik gösterim (yarıklı geçidin boy kesiti)

**Çizelge 5.3:** Azami memba su seviyesinde su kotları ve akış hızları

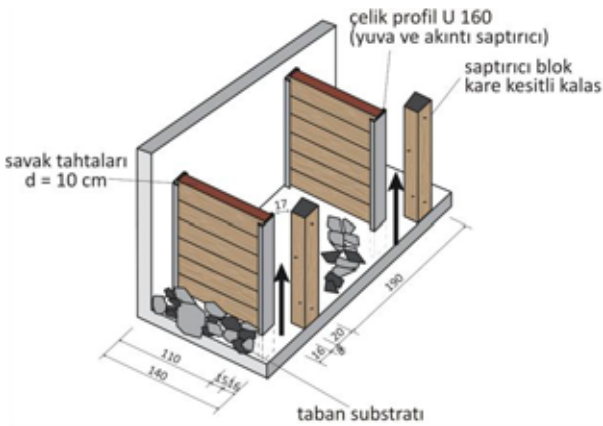
Perde duvar no.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
Deniz seviyesine göre taban kotu	61,20	61,05	60,90	60,75	60,60	60,45	60,30	60,15	60,00	
$h_u$ (m)	0,75	0,75	0,75	0,75	0,73	0,72	0,70	0,66	0,60	
$h_o$ (m)	0,90	0,90	0,90	0,90	0,89	0,88	0,87	0,85	0,81	
$\Delta h$ (m)	0,15	0,15	0,15	0,16	0,16	0,16	0,17	0,19	0,21	
$v_s$ (m/s)	1,72	1,72	1,72	1,77	1,77	1,77	1,83	1,93	<b>2,03</b> <b>kritik !!</b>	
Havuzdaki su kotu	HW = 62,10	61,95	61,80	61,65	61,49	61,33	61,17	61,00	60,81	TW = 60,60

$$E_{\text{vorh}} = \frac{\rho g \Delta h Q}{b h_m (l_b - d)}$$

$$= \frac{1000 \cdot 9,81 \cdot 0,160 \cdot 0,15}{1,40 \cdot 0,675 \cdot (1,90 - 0,7)} = 138 \text{ W/m}^3$$

Azami memba su kotunda akış hesaplaması, aşağıda verilen algoritmaya göre iterasyonla yapılmalıdır:

Denemeye ilgili hesaplama, azami memba su kotlarında ilk perde duvarda  $\Delta h_1 = 0,15$  m olduğunu göstermiştir;

**Şekil 5.24:** Yarıklı geçidin perde duvarları için önerilen tasarım

Savak tahtaları, her iki yandaki U profile geçirilir; ortadaki çelik profilin aynı zamanda akıntıyı saptıran çengel biçimli çıkıntı işlevi gördüğü varsayılır. Bu sebeple, ortadaki çelik profilin genişliği daha fazla ( $b = 16$  cm) olmalıdır (Krüger vd., 1994b).

$$h_{o,1} = 0,90 \text{ m ve } h_{u,1} = 0,75 \text{ m}$$

$$h_{u,1}/h_{o,1} = 0,75/0,9 = 0,833 \text{ değeri } \mu_r = 0,46' \text{ yı verir;}$$

böylece debi aşağıdaki gibi hesaplanabilir:

$$Q = \frac{2}{3} \cdot 0,46 \cdot 0,17 \cdot \sqrt{19,62 \cdot 0,9^3} = 0,197 \text{ m}^3/\text{s}$$

Debi,  $h_o$ 'a,  $\mu_r$  katsayısı da  $h_u/h_o$ 'a bağlı olduğundan, bunun kesin bir çözümü mümkün değildir; havuzlarda bu debiye karşılık memba su kotları sadece iterasyonla bulunabilir. Sonuç elde edilinceye kadar, her perde duvarda  $\Delta h$  hesaplanır, böylece  $\mu_r$  belirlenir; ardından,  $Q$  debisi için  $h_o$  memba su derinliğini hesaplamak maksadıyla Eşitlik (5.9) kullanılır. İterasyon sonucu Çizelge 5.3'te gösterilmiştir.

Türbülans şartları, sadece en yüksek su kotu farkının olduğu mansaptaki en uç havuz için belirlenir.  $h_m = (0,81 + 0,66)/2 = 0,735$  olduğunda, sekizinci havuzdaki hacimsel enerji kırılması aşağıdaki gibidir:

$$E_{\text{vorh}} = \frac{\rho g Q \Delta h_g}{b h_m (l_b - d)} = \frac{1000 \cdot 9,81 \cdot 0,197 \cdot 0,19}{1,40 \cdot 0,735 \cdot (1,90 - 0,1)}$$

$$= 198 \text{ W/m}^3 < E_{\text{izin}} = 200 \text{ W/m}^3$$

Hesaplanan değer, izin verilen  $E = 200 \text{ W/m}^3$  değerinden biraz küçüktür.

Hesaplamalar, azami memba su kotları için en alttaki perde duvarda kritik akış hızlarının  $v \approx 2 \text{ m/s}$  olduğunu göstermektedir; bu sebeple havuz sayısı yedi yerine sekiz olarak belirlenmiştir. Sadece yedi havuz olsaydı, en alttaki perde duvarda azami akış hızı  $v_s = 2,17 \text{ m/s}$  olacaktı. Bu örnek; özellikle memba su kotlarının değişken olduğu durumda yarıklı

geçidin yanlış boyutlandırılmasını önlemek amacıyla geçitteki hidrolik şartların dikkatli bir biçimde sınanması gerektiğini göstermektedir.

#### 5.2.4 Genel değerlendirme

Yarıklı geçitler (dikey yarıklı geçitler), yavaş yüzen balıkların ve küçük balıkların membaya geçişini sağlamaya çok uygun yapılardır.

Diğer avantajları aşağıda verilmiştir:

- Perde duvarların bütün yüksekliği boyunca uzanan dikey açıklıklar, tabanda ve açık suda yaşayan balıkların yüzme davranışına uygundur.
- Yarıkların tabanına yakın yerde akış hızlarında görülen azalma, düşük performanslı balıkların membaya çıkmasına imkân tanımaktadır. Bunun için gerekli olan, enerji kırma amaçlı birkaç büyük taşla birlikte tabana malzeme serilmesidir.
- Memba su kotlarının değişken olduğu durumda bile kullanıma uygundur.

- Mansap su kotlarındaki değişime hassas değildir.
- Taban substratındaki ara boşluklar sürekli olduğunda dipte yaşayan omurgasızlar da göç edebilmektedir.
- Orifisler perde duvarın uzunluğunun tamamı boyunca dikey olarak yer aldığından, yarıklı geçitler klasik balık geçidi tasarımlarına göre tıkanmaya karşı daha az hassastır. Debi en kesitindeki kısmi tıkanma, tamamen işlev kaybına sebep olmaz.
- Bu yapı tipi, hem düşük debili küçük akarsularda hem de büyük nehirlerde kullanıma uygundur.
- Yarıklı geçitlerden 100 L/s'den birkaç m<sup>3</sup>/s'ye kadar değişen debiler geçebilmektedir.

Bu avantajlar göz önüne alınarak yarıklı geçitler, klasik havuzlu geçitlere göre daha çok tercih edilmelidir. Hâlihazırdaki bilgi birikimi, diğer teknik balık geçitlerine göre yarıklı geçitlere öncelik verilmesi gerektiğini göstermektedir.



## 5.2.5 Örnek

NEU LÜBBENAU YARIKLI GEÇİDİ			
Basamaklı taban ile ilgili ayrıntılar		Balık geçidi ile ilgili bilgiler	
Akarsu:	Spree (165,3 km) Unterspreewald, Brandenburg	Sedde yüksekliği:	$h_{top} = 1,2$ ila $1,4$ m
Debiler:	$MQ = 5,5 \text{ m}^3/\text{s}$ $MNQ = 1,5 \text{ m}^3/\text{s}$	Yarık genişliği:	$s = 0,17$ m
İnşa yılı:	1992	Havuz sayısı:	$n = 9$
İşlevi:	Bent	Havuz genişliği:	$b = 1,0$ ve $1,4$ m
		Havuz uzunluğu:	$l_b = 1,6$ ila $1,9$ m
		Toplam uzunluğu:	$l_{top} = 19,2$ m

**Tasarım**

İnşaatla ilgili kısıtlardan dolayı genişliği daha az olan ( $b = 1,0$  m) üstteki üç havuz dışında, havuz boyutları  $b = 1,4$  m ve  $l_b = 1,9$  m olmak üzere oldukça büyüktür. Şekil 5.24'te gösterildiği gibi perde duvarlar, her iki yan duvara sabitlenmiş düşey çelik yuvalara (U profiller) yerleştirilen 10 cm kalınlığındaki tahtalardan oluşmaktadır. Saptırma blokları, yan duvara sabitleme pimleriyle düşey olarak bağlanmış kare kesitli kereste parçasıdır.

Balık geçidi, yaklaşık olarak nehrin ortasında, bent ile gemi eklüzü arasında yer almakta olup, bu durum genelde dezavantaj olarak değerlendirilir. İlk dönemlerdeki balıkların geçit girişini bulmakta güçlük çekebileceği endişesi, Spree Nehrinin dar yapısının (15 m) belirleyici faktör olmasına karşın gerçekleşmemiştir. Aslında, geçidin nehrin sol sahiline konumlandırılması çok daha iyi olurdu. Ayrıca, geçidin tabanına yerleştirilen



ve sayıları sadece birkaç adet olan büyük enerji kırma kayaları, kesintisiz pürüzlü taban substratı yerine geçmemektedir.

Balık sayımları balık geçidinin etkin çalıştığını doğrulamaktadır. Membaya çıkan balık sayısı kayda değer miktarlarda belirlenmiştir. Nisan-Mayıs 1993 ve 1994 dönemlerinde 10 000'den fazla balık geçişi, bir günde en fazla 1 800 balık geçişi kaydedilmiştir (Krüger vd., 1994b).

**Şekil 5.25:**

Neu Lübbenau/ Unterspreewald'da Spree bendindeki yarıklı geçit (mansaptan görünüş)

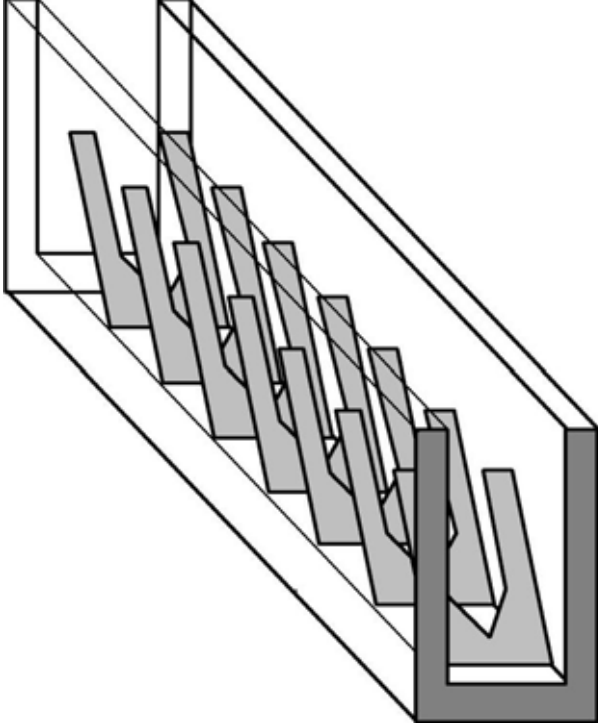
### 5.3 Denil geçidi

#### 5.3.1 Prensip

On dokuzuncu yüzyıl başında Belçikalı mühendis G. Denil, çalışma tarzından dolayı “ters akışlı geçit” olarak adlandırılan bir balık geçidi geliştirmiştir; günümüzde bu geçit bulan kişiye atfen “Denil geçidi” olarak adlandırılmaktadır (Denil, 1909).

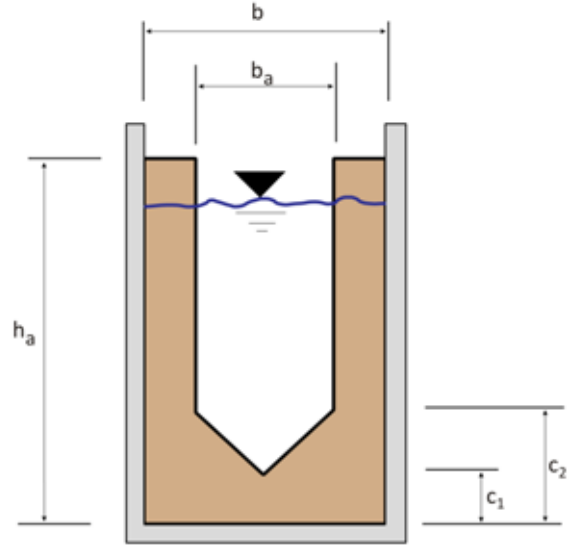
Bu balık geçidi, içerisindeki saptırıcıların düzenli bir biçimde çok kısa aralıklarla, akış yönüne karşı açılı olarak yerleştirildiği doğrusal bir kanaldan oluşmaktadır (Şekil 5.26). Bu saptırıcıların etkileşiminden dolayı bunlar arasında oluşan su kabarması, çok miktarda enerjiyi kırar ve saptırıcı bölmelerin alt kısmında çok düşük akışların oluşmasını sağlar (Şekil 5.28). Bu durum, Denil geçidinin diğer tipteki balık geçitleri ile kıyaslandığında daha dik eğimli olmasını ve çok kısa mesafelerde küçükten ortaya kadar yükseklik farklarının aşılmasını sağlar.

Denil geçidinin derli toplu yapısı, kuru şartlarda prefabrike olarak imal edilebilmesi ve bir defada tamamen monte edilebilmesi; özellikle balık geçidi olmayan mevcut bentlerin uyarlanmasına ve çok fazla alanın bulunmadığı yerlerde bu yapı türünün kullanımına izin verir.

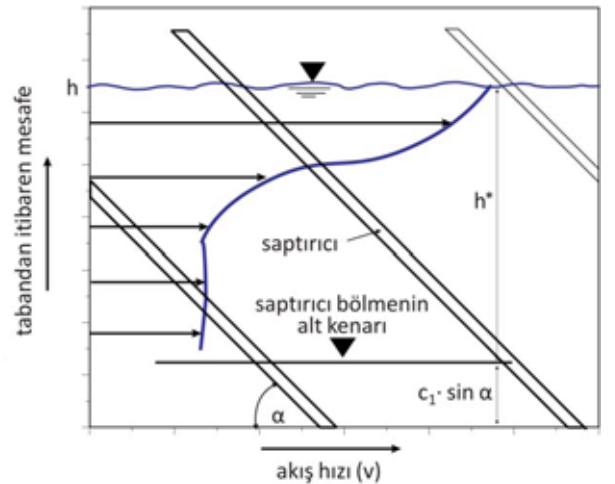


Şekil 5.26: Denil geçidi (şematik)  
(Lonnebjerg, 1980'den değiştirilmiş)

Denil tarafından geliştirilen bu balık geçidinin ilk tasarımında içbükey saptırıcılar vardı. Bu prototipten sonra, çok sayıda değişiklik yapıldı (kıyaslama için Larinier 1992b'ye bakınız). Bunlardan, Şekil 5.27'de gösterildiği gibi saptırıcıları U kesitli olan “standart Denil geçidi” şeklinde adlandırılan tipin en işlevsel olduğu kanıtlanmıştır. Günümüzde, Denil geçidi denilince sadece bu tip anlaşılmakta olup, aşağıda verilen açıklamalar sadece standart Denil geçidi için geçerlidir.



Şekil 5.27: Denil geçidindeki saptırıcılar (standart Denil, terimler) (Lonnebjerg, 1980'den değiştirilmiş).



Şekil 5.28: Bir Denil geçidindeki karakteristik hız dağılımı (Krüger, 1994a'dan değiştirilmiş).



**Şekil 5.29:**  
Ara dinlenme havuzları olan Denil geçidi. Membadan görünüş, Prenzlau'daki Gollmitzer değirmeni/Strom (Brandenburg)



**Şekil 5.30:**  
Gifhorn/Ise'de ahşaptan yapılmış Denil geçidi (Aşağı Saksonya)

### 5.3.2 Tasarım ve boyutlar

#### 5.3.2.1 Üstten görünüş

Kanal üstten daima düz olarak görünür. Akım karakteristikleri üzerinde olumsuz etki göstereceğinden kavislere izin verilmez. Yön değişimleri sadece ara havuzlarla yapılabilir.

Balıklar, saptırıcılar arasında dinlenemediğinden geçidi durmaksızın bir seferde yüzerek geçmesi gerekir. Bu sebeple, daha büyük ve güçlü türler için daha uzun geçit boyu seçilir. Sonuçta kanal uzunluğu, dayanımı en az olan balık türünün yüzme performansına göre seçilmelidir. Sazangiller için her 6-8 m'de, alabalıklar içinse her 10-12 m'de bir dinlenme havuzu (Şekil 5.29) inşa edilmelidir. Bu havuzların ölçüleri, aktarılan enerji düşük türbülanslı

akışa dönüşecek ve yeterli dinlenme alanı oluşacak şekilde seçilmelidir. Dinlenme havuzları için küçük, doğal bitki örtülü su kütlesini örnek alan doğala benzer tasarımlar kullanılabilir. Bu havuzlarda hacimsel enerji kırılması (hidrolik enerji dönüşümü için enerji)  $E = 25-50 \text{ W/m}^3$  ten az olmalıdır.

Denil geçidi çıkış yerinin tespitinde havuzlu geçitler için verilen prensipler geçerlidir.

#### 5.3.2.2 Boy kesit

Kanallar için yaygın olarak kullanılan eğimler  $I = 1:5$  (% 20) ile  $1:10$  (% 10) arasındadır. Balıkların membaya geçişine uygun hidrolik şartların sağlanması durumunda, kanal genişliği ile izin verilen eğim birbiriyle bağlantılıdır. Larinier (1983)'e göre, Çizelge 5.4'teki kılavuz değerler tavsiye edilir.

**Çizelge 5.4:** Denil geçitlerinde kanal genişliği ve eğim için kılavuz değerler (Larinier, 1983)

Balık faunası	Kanal genişliği (b) (m)	Tavsiye edilen eğim (I)		Su debisi <sup>1)</sup> Q (m <sup>3</sup> /s) h*/b <sub>a</sub> = 1,5 için
		%	1 : n	
Kahverengi alabalık	0,6	20,0	1 : 5	0,26
Sazangiller	0,7	17,0	1 : 5,88	0,35
Diğerleri	0,8	15,0	1 : 6,67	0,46
	0,9	13,5	1 : 7,4	0,58
Somon	0,8	20,0	1 : 5	0,53
Deniz alası	0,9	17,5	1 : 5,7	0,66
<i>Huchen</i>	1,0	16,0	1 : 6,25	0,82
	1,2	13,0	1 : 7,7	1,17

<sup>1)</sup> Çizelge 5.5'e göre tavsiye edilen perde duvar ölçüleriyle Eşitlik (5.10)'a uygun olarak hesaplanmıştır

**Çizelge 5.5:** Denil geçidinde, seçilen kanal genişliğine bağlı olarak saptırcıların tasarımı için kılavuz değerler (Lonnebjerg, 1980 ve Larinier, 1992b)

		Tolerans aralığı	Tavsiye edilen kılavuz değer
Saptırcı genişliği	b <sub>a</sub> /b	0,5 – 0,6	0,58
Saptırcı aralığı	a/b	0,5 – 0,9	0,66
Bölmenin en alt noktası ile taban arasındaki mesafe	c <sub>1</sub> /b	0,23 – 0,32	0,25
Üçgen kesitin derinliği	c <sub>2</sub> /c <sub>1</sub>	2	2

### 5.3.2.3 Kanal

Denil geçidin kanalı, betondan veya ahşaptan yapılabilir (Şekil 5.30). Açık genişliğin, mevcut debi ve dikkate alınan balık türünün bir fonksiyonu olarak tayin edilmesi gerekir.

Potansiyel doğal balık faunası içerisinde büyük alabalıklar yer alıyorsa, kanal genişliği b = 0,8 m ile 1,2 m arasında olmalıdır. Sadece kahverengi alabalık ve sazangiller dikkate alındığında, b = 0,6 ile 0,9 m arasındaki kanal genişliği yeterlidir. Ayrıca yeterli debi olması durumunda, iki veya daha fazla kanal birbirine paralel olarak yan yana yerleştirilebilir.

### 5.3.2.4 Kanal en kesitindeki yapılar

Saptırcılar tercihen ahşaptan, nadiren metalden yapılır. Geçidi kullanan balıkların zarar görmemesi için bütün kenarlar yuvarlatılmalıdır.

Saptırcılar, kanal tabanına göre  $\alpha = 45^\circ$  açıyla membaya doğru eğimli olup, alt kısmı üçgen şeklinde olan U biçimli kesite sahiptir. Saptırcı bölmeleri tarif eden b<sub>a</sub>, c<sub>1</sub> ve c<sub>2</sub> boyutları ile saptırcılar arasındaki

“a” mesafesi, kanal genişliğine bağlı olup, akıntı şartları üzerinde önemli bir etki gösterdiğinden çok düşük tolerans aralığında değişim gösterir. Denil geçitleri, bu boyut değişikliklerine karşı çok hassastır; önerilen geometriye sadık kalınması tavsiye edilir. Bölüm 5.3.3'te verilen model hesaplamalarının geçerliliği, sadece burada açıklanan standart Denil geçidi boyutları ile sınırlıdır. Çizelge 5.5'teki değerler, saptırcı tasarımında kılavuz olarak kullanılabilir.

### 5.3.2.5 Geçitteki su giriş<sup>#</sup> ve çıkış<sup>##</sup> yapısı

Su akışı her zaman, kanal ekseninin membaya doğru uzandığı yönde girişe (balık geçidi çıkışı) kadar ulaşmalıdır. Girişten önceki dar kesitler ve kavisler akış şartları üzerinde olumsuz etki gösterir. Kanaldaki bakım işlerini kolaylaştırmak amacıyla su girişinde kanalı tamamen kapatma vasıtaları bulunmalıdır.

<sup>#</sup> balık geçidi çıkışı (editörün notu)

<sup>##</sup> balık geçidi girişi (editörün notu)



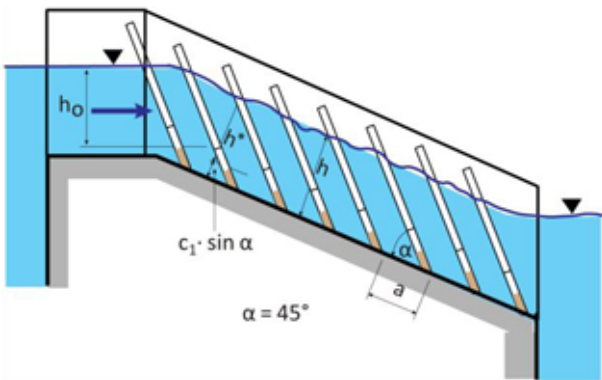
Denil kanalının, mansapta yeterince içeri doğru uzanması ve çıkış yerinin (balık geçidi girişi) asgari su kotunda bile en azından kanaldaki su kotunda olması gerekir. Mansap su kotunun azami olduğu dönemde, kabaran su geçit kanalına doğru girer ve balık geçidindeki akım desenleri üzerinde önemli bir etki göstermez.

Balık türlerinin, geçit girişini daha kolay bulması için tabandan göç etmesine yardımcı olmak üzere, mümkün olan yerlerde, Denil balık geçidinin su çıkışı akarsu tabanına bağlanmalıdır. Sığ akarsularda, tabanın çakıl veya blokaj taşları ile sağlamlaştırılması gerekir; bunun için dinlendirme havuzları veya mansapta sağlamlaştırılmış taban bölgeleri inşa edilmelidir.

### 5.3.3 Hidrolik hesaplamalar

Denil geçitlerine ilişkin hidrolik hesaplamalar, sadece ampirik yaklaşımlarla yapılabilir. Münferit deneylerden, sonuçlara ait geçerlilik aralığının çok dar olduğu ve bu değerlerin diğer geometrik veya eğim şartlarına uygulanmasının mümkün olmadığı sonucuna varılmıştır. Bu nedenle, aşağıda verilen hesaplamaların sadece boyutları verilen standart Denil geçidine için uygulanabileceğine dikkat edilmelidir.

Denil geçidindeki su derinliği, girişteki su kotundan ve girişteki kayıplardan etkilenmektedir. Uygulamada Lonnebjerg (1980) tarafından verilen diyagramdaki (Şekil 5.32) bilgiler yeterlidir. Burada  $h_0$  ilk saptırıcı kesitinin (membadaki ilk saptırıcı) alt kenar seviyesini temsil ederken,  $h^*$  su yüzeyinden saptırıcı kesitinin alt kenarına kadar ölçülen, kanal tabanına



Şekil 5.31: Denil geçidi (boy kesit, yapım prensibini ve terimleri gösteren çizim) (Larinier, 1992b'den değiştirilmiş)

dik su derinliğini gösterir (Şekil 5.31).  $h^*$  değeri, 0,35 m'den az olmamalı ve Şekil 5.28'e göre artan su derinliklerinde hız deseni garanti edilemediğinden azami debi için  $h^*/b_a = 1,5$  ila 1,8 değerini sağlamalıdır.

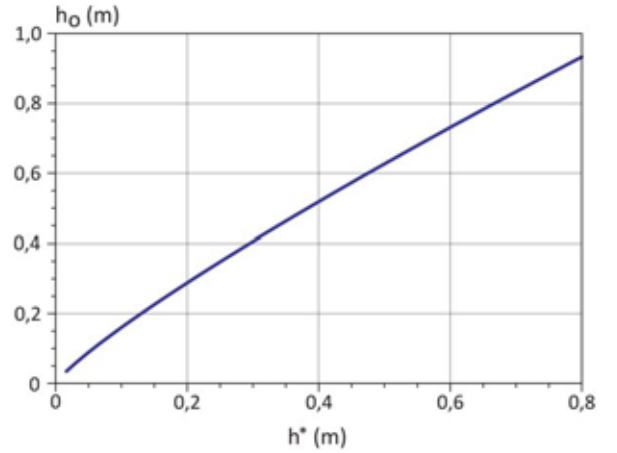
Denil geçitlerindeki akış karakteristikleri, Larinier (1978), Lonnebjerg (1980), Rajaratnam (1984) ve Krüger (1994) tarafından incelenmiştir. Sonuçlar yine, Denil geçitlerinin geometrideki değişikliklere karşı hassasiyetini ortaya koymuştur (ayrıca bkz. Katopodis, 1990). Çizelge 5.4 ve Çizelge 5.5'teki önerilen kanal ve saptırıcı boyutlarına uygun standart bir Denil geçidinden geçen debi, Krüger (1994) eşitliği kullanılarak hesaplanır:

$$Q = 1,35b_a^{2,5} \sqrt{gI} \left( \frac{h^*}{b_a} \right)^{1,584} \quad (5.10)$$

Kanal genişliği ve eğiminin bir fonksiyonu olarak Denil geçitlerinde ihtiyaç duyulan debi Çizelge 5.4'te verilmiştir.

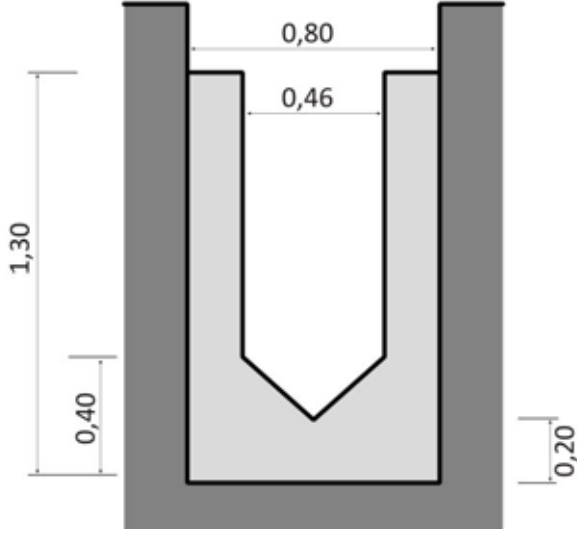
Kullanılacak geometrik karakteristiklerin standart Denil geçidinden farklı olduğu en uygun tasarımı belirlemek için hidrolik model deneyleri yapılması tavsiye edilir.

Daha önce de belirtildiği gibi, büyük kot farklarının aşılabilmesi için kanal boyunca her 6 m ila 8 m'de (alabalıkgiller için yaklaşık olarak her 10 m'de) bir dinlenme havuzu inşa edilmelidir. Havuz hacmi, alınan akış enerjisinin kırılarak düşük türbülanslı olmasına imkân sağlayacak kadar fazla olmalıdır. Bu sebeple, havuz büyüklüğü aşağıdaki şart sağlanacak şekilde seçilmelidir:



Şekil 5.32:  $h^* = f(h_0)$  ilişkisi (Lonnebjerg, 1980'den değiştirilmiş)





Şekil 5.33: Saptırıcıların ölçüleri

$$E = \frac{\rho}{2} Q v^2 < 25 \text{ ila } 50 \text{ W/m}^3 \quad (5.11)$$

Burada,  $b_m$ ,  $h_m$ ,  $l_b$  dinlenme havuzlarının ortalama genişliği, su derinliği ve uzunluğu olup,  $v = Q/(h^* \cdot b_a)$ 'dir.

Denil geçidinde izin verilen akış hızını ispatlamak zordur. Şekil 5.28'de verilen hız dağılımının, doğru saptırıcı tasarımı ile sağlanması gerekir.

### Hesaplama örneği

Memba ile mansap kotları arasındaki azami farkın 3,0 m olduğu bir bende Denil geçidi yapılacaktır. Balık geçidi hem sazangiller hem de *huchen*'e uygun olacak şekilde uyarlanmalıdır.

Muhtemel bütün işletme şartlarında memba su kotu + 63,0 m'de tutulabilmektedir. En düşük mansap su kotu ise + 60,0'dir.

Kanal genişliği  $b = 0,8$  m Çizelge 5.4'ten alınmış olup, kanal eğimi aşağıda verilmiştir:

$$I = \% 15 = 1 : 6,66$$

İki saptırıcı arasındaki mesafe ( $a$ ) şöyle hesaplanır:

$$a = 0,66 \cdot b = 0,66 \cdot 0,8 = 0,53 \text{ m}$$

3 m'lik yükseklik farkını aşmak için iki ara havuza ihtiyaç duyulur; böylece toplam kanal uzunluğu, her birinin boyu  $l = 6,75$  m olan üç bölüme bölünmüş olur (Şekil 5.34). Her iki ara havuzun ortalama derinliği yaklaşık  $h_m = 1,20$  m olmalıdır.

Saptırıcıların ölçüleri Çizelge 5.5'e göre seçilmiş olup, Şekil 5.33'te gösterilmiştir:

$h^*$  değeri aşağıdaki gibi bulunur:

$$h^* = 1,5 \cdot b_a = 1,5 \cdot 0,46 = 0,7 \text{ m.}$$

Buradan, saptırıcıların yüksekliği

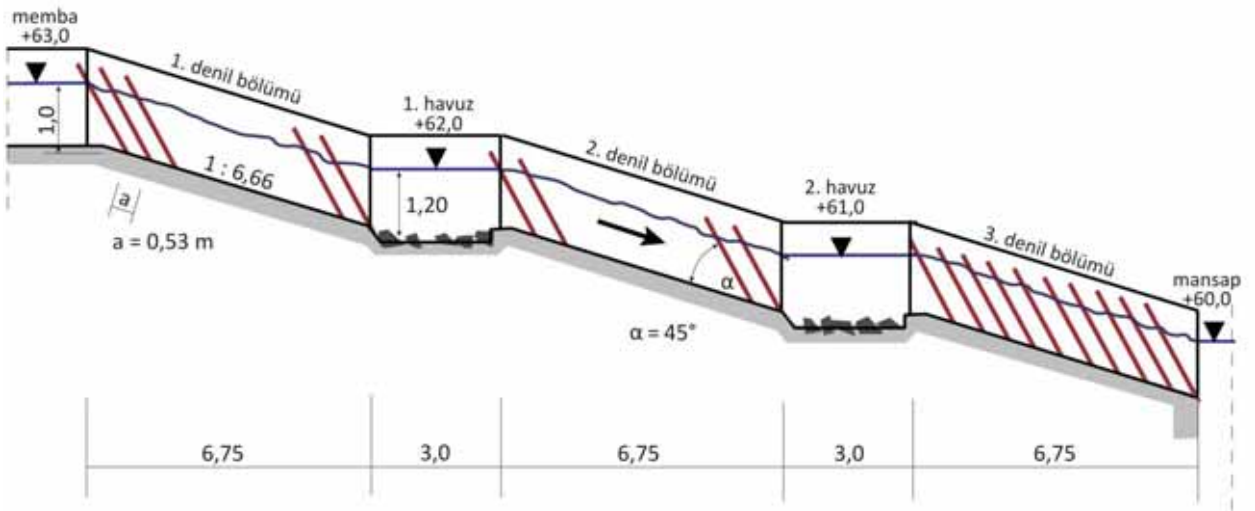
$$h_a = 0,7/\sin 45^\circ + 0,2 + 0,1 \text{ (hava payı)} \\ = 1,29 \approx 1,3 \text{ m olur.}$$

Şekil 5.32'den giriş su kotu  $h_o = 0,83$  m olarak alındığında,

ilk saptırıcının taban yüksekliği aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$h_1 = h_o + c_1 \cdot \sin(\alpha + \arctan I) \quad (5.12)$$

$$h_1 = 0,83 + 0,2 \cdot \sin(45^\circ + 8,53^\circ) \\ = 0,99 \approx 1,0 \text{ m}$$



Şekil 5.34: Balık geçidinin boy kesiti

Debi, Eşitlik 5.10 kullanılarak hesaplanır:

$$Q = 1,35b_a^{2,5} \sqrt{gI} \left[ \frac{h^*}{b_a} \right]^{1,584}$$

$$Q = 1,35 \cdot 0,46^{2,5} \sqrt{9,81 \cdot 0,15} \left[ \frac{0,7}{0,46} \right]^{1,584}$$

$$Q = 0,457 \text{ m}^3/\text{s}$$

Dinlenme havuzlarının ölçüleri Eşitlik (5.11) kullanılarak bulunabilir.  $E = 35 \text{ W/m}^3$  ve akış hızı aşağıdaki gibi alındığında;

$$v = \frac{Q}{A} \approx \frac{Q}{b_a \cdot h^*} = 1,42 \text{ m/s}$$

Dinlenme havuzu için gerekli alan " $A_{\text{gerekli}}$ " bulunur:

$$A_{\text{gerekli}} = l_b \cdot b_m = \frac{\rho}{2} \frac{Qv^2}{h_m \cdot E} = \frac{1000}{2} \cdot \frac{0,457 \cdot 1,42^2}{35 \cdot 1,20} = 10,97 \text{ m}^2$$

Havuz genişliği  $b_m = 4,0 \text{ m}$  ve havuz uzunluğu  $l_b = 3,0 \text{ m}$  alındığında temel alan  $12,0 \text{ m}^2$  olarak bulunur. Şekil 5.34'te balık geçidinin boy kesiti şematik olarak gösterilmiştir.

### 5.3.4 Genel değerlendirme

Denil geçidinin avantajları aşağıda verilmiştir:

- Dik eğimli olabilir; böylece daha az yer gerektirir.
- Kanal elemanlarının prefabrike olarak imal edilmesi mümkündür.
- Uygun hâle getirilmiş mevcut bentlerde kolayca kullanılabilir.

- Mansap su kotu değişimlerine hassas değildir.
- Genellikle mansapta iyi bir çağırma akıntısı oluşturur.

Bu tip inşaatın dezavantajları ise şunlardır:

- Memba su kotlarındaki değişimlere çok hassastır. Azami 20 cm olmak kaydıyla, sadece birkaç santimetrelilik değişimlere izin verilmektedir.
- Diğer balık geçidi tipleri ile karşılaştırıldığında daha yüksek debiye ihtiyaç duyulur.
- İstenmeyen cisimlerle tıkanma, tesisin çalışmasını kolayca altüst edebilir. Denil geçitlerinde düzenli muayene ve bakım yapılması gerekir.

Denil geçitlerinin başarısı, özellikle alabalıklar ve yüzme performansı zayıf bıyıklı balık gibi sazangil türler için membaya geçen balıkların sayılması suretiyle kanıtlanmıştır. Diğer taraftan, bugüne kadar gerçekleştirilen izleme çalışmaları sonunda özellikle yapı uzunluğu çok fazla olduğunda küçük balıklar ve yüzme performansı düşük olan türlerin geçiş ihtimalinin sınırlı olduğu görülmüştür. Bu sebeple bu geçit tipi, yüzme kabiliyeti güçlü ve daha büyük olan tür ve bireyler için uygundur.

Aynı şekilde, mikroorganizmalar ve omurgasız dip canlılarının da membaya çıkışı imkânsız olarak değerlendirilmektedir.

Bütün bu sebeplerden dolayı, Denil geçitleri sadece yer yokluğu sebebiyle başka yapıların inşa edilmediği durumlarda kullanılmalıdır.

## 5.3.5 Örnek

<b>UNKELMÜHLE DENİL GEÇİDİ</b>	
<b>Bentle ilgili ayrıntılar</b>	<b>Balık geçidi ile ilgili bilgiler</b>
<p>Akarsu: Sieg Nehri, NRW,            Debiler: MNQ = 1,5 m<sup>3</sup>/s            MQ = 22 m<sup>3</sup>/s            HHQ = 700 m<sup>3</sup>/s            Amacı: Hidroelektrik            İnşa yılı: 1930            İşletmeci: RWE-Energie AG</p>	<p>Genişlik: b = 0,64 ve 0,74 m            Uzunluk: l = 6,60 ve 9,50 m            Eğim: I = 1 : 4,5            Düşü: h<sub>F</sub> = 3,2 m            Debi: Q = 0,3 ila 0,38 m<sup>3</sup>/s            Sorumlu: StAWA Bonn</p>
<p><b>Tasarım</b></p> <p>Unkelmühle’de 1930 yılında inşa edilen hidroelektrik santralin yanındaki mevcut klasik havuzlu geçit, havuz boyutlarının küçük ve eğimin çok dik olması sebebiyle maksadına uygun çalışmadığından, StAWA Bonn’un kontrolünde Denil geçidi ile değiştirilmiştir. Yeni geçit, birbirine dinlenme havuzuyla bağlanmış iki Denil kanalından meydana gelmektedir; bu havuz, dış yüzeyi taşla kaplanmış, geçirimsiz betonarme kanal biçiminde olup, içerisine su bitkileri dikilmiştir. Üstteki kanalın boyu 6,60 m, alttakinin ise 9,50 m olup, her ikisinin eğimi 1 : 4,5’tir. Kanallar, üzerine ahşap saptırıcıların sabitlenebildiği ahşap kaplamalı betonarmeden yapılmıştır. Balık geçidini besleyen debi 300 ila 380 L/s’dir.</p> <p>Dinlenme havuzunun yanındaki gözlem odasında yer alan su altı izleme penceresinden membaya çıkan balıklar gözlemlenebilmektedir. Üstteki kanalın su girişine (balık geçidi çıkışı<sup>#</sup>) izleme amaçlı bir balık yakalama tuzağı eklenmiştir.</p>	
<p><b>Şekil 5.35:</b> Unkelmühle/Sieg (NRW)'deki hidroelektrik santralinin balık geçidi</p>	
<p># Editörün notu</p>	

## Örnek (devamı)

**Şekil 5.36:**

Yukarıda dinlenme havuzu ve alt Denil kanalının görünüşü.

Mansapta büyük bir alanı etkileyen çağırma akıntısı belirgin olarak görülmektedir; bu akıntı, geçit girişinin balık tarafından bulunmasını kolaylaştırır.

**Şekil 5.37:**

Alt Denil kanalının görünüşü.

Beton kanal, üzerine U şekilli saptırıcı bölmelerin sabitlendiği ahşap malzeme ile kaplanmıştır. Yüzeydeki yüksek türbülanslı su-hava karışımı, kanalın taban bölgesinde çok daha düşük akış hızları olduğundan bakan kişiyi yanıltmaktadır.

**Şekil 5.38:**

Sieg'deki deniz lampreyi (*Petromyzon marinus*).

**Etkinlikle ilgili veriler**

Lubieniecki vd. (1993), Mayıs 1991 - Mayıs 1992 döneminde balık göçünü izlemek üzere balık yakalama tuzağını kullanarak balık geçidi etkinliğini belirlemiştir. Membaya çıkan balık sayısı oldukça şaşırtıcı düzeyde bulunmuştur.

Yaklaşık 200 günde membaya 1000 adet bıyıklı balığın çıktığı tespit edilmiştir. İzleme çalışması ayrıca, çok az sayıdaki diğer balık türlerinin geçitten membaya geçtiğini de göstermiştir. 1993 yılındaki en önemli bulgu, deniz lampreylerinin geçitten membaya çıkışı olmuştur. Bu tür en son 40 yıl önce Sieg Nehri'nde görülmüş olup, yeni balık geçitleri sayesinde bu nehirde yeniden çoğalması mümkün hâle gelmiştir.



## 5.4 Yılan balığı merdivenleri

### 5.4.1 Yılan balığı göçünün özellikleri

Katadrom göçmen bir tür olan yılan balığı, hayatını denizle bağlantılı bütün akar ve durgun sularda geçirir. Cinsel olgunluğa ulaşıncaya kadar tatlısuda büyür, ardından gümüşü yılan balığı evresinde Saragosa Denizi'nde yumurtlamak üzere nehirden denize göçer.

Yılan balığı postlarvaları (cam yılan balığı olarak adlandırılır) 2-3 yılda Avrupa kıyılarına ulaşır ve buradan içsulara girer. Boyları 7-25 cm olan ve membaya doğru yol alan yılan balıklarının, yüzeyi pürüzlü, küçük yarıkları olan engelleri aşması gerekir. Bununla birlikte, genç yılan balıklarının tırmanma kabiliyetinin çok fazla olduğu düşünüldüğünden, düşey konumlandırılmış çalı demetleri vb. gibi tırmanmaya yardımcı araçların işe yaramadığı

sonucuna varılmıştır. Bu sebeple, özellikle membaya giden yılan balığı sayısının çok az olduğu nehir ağzlarında mevcut balık geçitlerine ilaveten özel olarak cam yılan balıklarının performansına uygun hâle getirilmiş etki azaltma tedbirlerinin uygulanması yararlı olabilmektedir. Daha uzun boylu yılan balıkları, yaygın balık geçidi tiplerini de kullanabilmektedir; bu sebeple bu yapılarda ayrıca yılan balığı merdivenlerine ihtiyaç duyulmamaktadır.

### 5.4.2 Tasarım

İki temel tasarım tipi aşağıda verilmiştir:

1. Bendin gövdesinden nehir tabanına kadar borular geçirilir; akış hızını düşürmek için boruların içerisine çalı demetleri veya başka saptırıcılar yerleştirilir. Saptırıcılar genellikle bir zincire tutturulur, böylece bunları çekmek ve yerini değiştirmek mümkün olabilmektedir. Yılan balığı,



**Şekil 5.39:**  
Yılan balığı (*Anguilla anguilla*)



**Şekil 5.40:**  
Rosport'taki (Rhineland-Palatinate) Sauer barajına inşa edilmiş paralelkenarlı geçit ve yılan balığı merdiveni.

Membadan görünüşü.

İçerisine çalı demetlerinin yerleştirildiği yılan balığı merdiveni, paralelkenarlı geçidin yan duvarı boyunca uzanmaktadır.

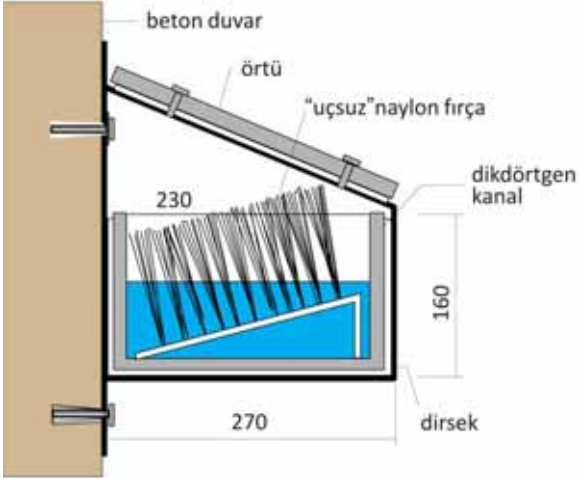


göç yolu üzerindeki engeli aşmak için içeriye yerleştirilen düzenekten kıvrılarak yol almak zorundadır. Bu tip düzenek, borular istenmeyen cisimlerle çabuk tıkanığundan uygulamada elverişli bulunmamıştır; boruların yerini tespit etmek (tamamen su altında olduğundan) ve gerekli onarımları yapmak çok zordur.

2. Mansaptan membaya geçiş sağlayan, beton, çelik veya plastikten mamul, içerisinde yılan balığının membaya doğru kıvrılarak yol almasına yardımcı düzenekler içeren nispeten küçük ve düz açık kanallar. Jens (1982)'e göre bu amaca en uygun tesisin fırça tipli yapılar olduğu kanıtlanmıştır. Bununla birlikte, kanal içi düzenekler olarak çalı, çakıl ve ızgaralar da kullanılmaktadır. Fare ve martı gibi yırtıcılara karşı koruma amacıyla bu kanalların üzeri örtülü olmalıdır.

Yılan balığı merdivenlerinin konumu, kanalların nemli kalmasını sağlamak için suyun kanal içerisinde azar azar akmasına imkân tanınmalıdır. Buradan bu kanalları diğer balık türlerinin kullanamayacağı, zaten böyle bir amacın olmadığı sonucu da çıkarılabilir.

Yılan balığı merdiven çıkışının her zaman kıyıda olması gerekir. Cam yılan balıkları su yüzeyinden göç ettiği için tabanla bağlantı sağlanması gerekmez.



**Şekil 5.41:** Moselle'deki (Rhineland-Palatinate) Zeltingen bendinde bulunan yılan balığı merdiveni, bu türe özgü göç davranışına uygun hâle getirilmiştir. Bu geçit, yılan balığının mansaba kıvrılarak fırça benzeri yapı içerisinden çıkmasına yardımcı olmak üzere içerisine uçsuz plastik fırçaların yerleştirildiği bir kanaldan oluşmaktadır. Bu merdiven klasik balık geçidi ile birlikte inşa edilmiş olup, balık geçidinin kenarı boyunca uzanır (Jens, 1982).

Yılan balığı merdivenlerinden bırakılan az miktardaki debi, gerekli kılavuz akıntı için yeterlidir; ancak, ihtiyaç olduğunda, yeterli çağırma etkisi oluşturmak için ilave su temin (örneğin bir yan bağlantıyla) edilmesi gerekir.

Genç yılan balıklarının yüzme performansı zayıf olduğundan, geçidin membaya çıkışının her durumda akıntının hafif olduğu alana yerleştirilmesi zorunludur; çıkış yapısı hiçbir zaman türbin su alma yapısına yakın bir yerde olmamalıdır.

### 5.4.3 Genel değerlendirme

Yılan balığı merdivenleri, sadece memba göçüne imkân sağlar. Engeli aşması gereken diğer balık türleri yılan balığı merdivenini kullanmadığından ve bu tür geçit seçici olduğundan, yılan balığı merdiveni tek başına etki azaltma tedbiri olarak yeterli değildir. Bu tür geçitlerin, özellikle genç yılan balıklarının memba göçü için diğer teknik balık geçitlerine (havuzlu geçitler, Denil geçitleri vb.) ilave olarak nehir ağızlarına inşa edilmesi tavsiye edilir.

### 5.5 Balık eklüzü

Balık eklüzlerinin, özellikle Hollanda, İskoçya, İrlanda ve Rusya'da uzunca bir süredir etki azaltma tedbiri olarak kullanıldığı bilinmektedir (van Drimmelen, 1966; Jens, 1982). Almanya'daki Saar ve Sieg Nehirlerinde de balık eklüzü bulunmaktadır.

Balık eklüzünün yapısı gemi eklüzüne benzerdir (Şekil 5.42 ve Şekil 5.43). Her ikisi de temel olarak kapatma tertibatlı alt giriş ve üst çıkış yapısı olan bir eklüz odasından meydana gelir. Bununla birlikte, gemi eklüzü ile kıyaslandığında işleyişle ilgili bazı farklar bulunmaktadır; gemi eklüzü, gerçek amacının dışında normalde balık göçü için yeterli olmayıp, bir balık geçidi yerine de kullanılamaz. Özellikle sürekli kılavuz akıntının bulunmayışı, bent kapaklarının kısa süreli açık kalması, doldurma işlemi sırasında odadaki yüksek su türbülansı ve eklüzün bende göre konumu; balıkların bir gemi eklüzünden geçişini son derece sınırlandırmaktadır.

Ancak, istisnai durumlarda, gemi eklüzünün işletme şeklinin balıkların membaya geçişini kolaylaştıracak şekilde geçici olarak (cam yılan balıkları ve alabalıkların yoğun olarak göç ettikleri dönem gibi) değiştirilmesi hususu değerlendirilebilir.

#### 5.5.1 Prensipten

Bir balık eklüzünün çalışma prensibi Şekil 5.42'de verilmiştir. Çalışma süreci dört evreden oluşur:

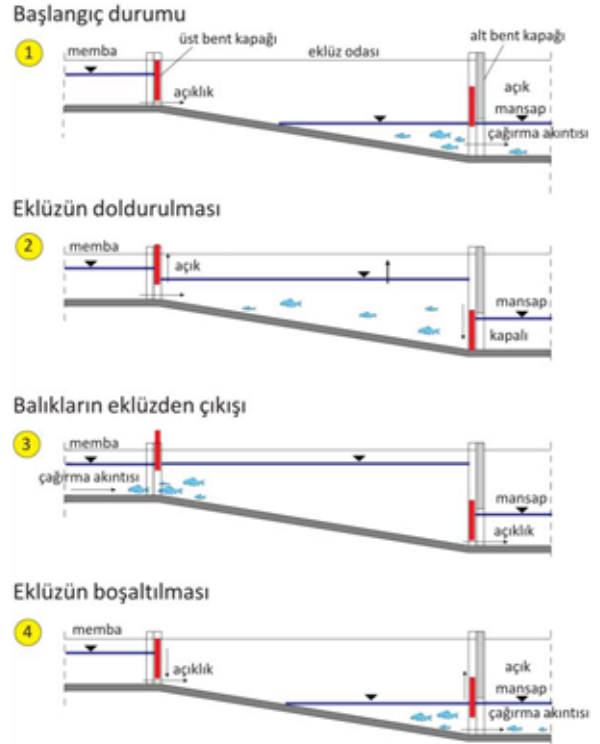
1. Eklüz boş durumdadır. Alt kapak açık olup, odadaki su kotu ile mansap su kotu aynıdır. Bu aşamada bir kılavuz akıntı ile balıkların, mansaptan eklüz odasına doğru yönlendirilmesi gerekir. Bu maksatla ya üst bent kapağı yavaşça açılır ya da eklüz odası girişinde yer alan bir yan bağlantıyla (boru hattı) su sağlanarak kılavuz akıntı oluşturulur. Balıklar odada toplanır.
2. Eklüz odası doldurulur. Alt bent kapağı kapatılır; üstteki yavaşça tamamen açılır. Membadan gelen akış odadaki balıkları üst çıkışa doğru yönlendirir.
3. Odadaki su kotu ile memba su kotu eşittir. Su, alt bent kapağındaki açıklıktan veya özel bir borudan mansaba geçer; böylece membaya çıkışta bir çağırma akıntısı oluşur. Bu sayede balıklar odadan çıkış yolunu bulur.
4. Üst kapak kapatılıp alt kapak açıldıktan sonra eklüz odası boşalır. Eklüz tekrar boş duruma döner.

Çalışma evrelerinin zamanlaması otomatik olarak yapılır. Genellikle çalışma aralığı yarım saatle bir saat arasındadır. En etkin çalışma düzeni ve gerekli mevsimsel ayarlamalar (uygulanabilir olduğunda) sadece izleme çalışmaları ile belirlenebilir.

### 5.5.2 Tasarım

Odaların ve kapatma tertibatlarının tasarımı değişken olup, büyük ölçüde yerel şartlara bağlıdır. Oda tabanı tasarlanırken, suyun tamamen çekildiği alanlarda balıkların kalmamasını sağlayıcı tedbirler alınmalıdır. Bu maksatla oda tabanının tasarımı basamaklı (Şekil 5.43) veya sadece eğimli (Şekil 5.42) olabilir. Odanın boyutları, içerisinde çok daha fazla balık bulunacağından klasik balık geçitlerine göre daha büyük olmalıdır. Prensip olarak pürüzlü taban inşası mümkündür. Odaların üstünün açık olması tercih edilir.

Bir yan bağlantıyla su alınarak kılavuz akıntı oluşturulabilir veya artırılabilir (Şekil 5.43). Odanın mansap tarafındaki su çıkış yapısının en kesiti,  $v = 0,9$  ile azami  $2,0$  m/s (ortalama  $v = 1,2$  m/s) aralığında etkin bir kılavuz akıntı sağlayabilecek şekilde boyutlandırılmalıdır. Eklüz odasının doldurma ve boşaltma evrelerindeki giriş ve çıkış akımları planlanırken, oda içerisindeki hiçbir noktada ortalama akış hızının  $1,5$  m/s'yi geçmemesine ve odadaki su seviye yükselme ve alçalma hızının en çok  $2,5$  m/min olmasına dikkat edilmelidir (SNiP, 1987).



Şekil 5.42: Balık eklüzünün çalışma prensibi (şematik boy kesit)

Balık eklüzünün bentteki konumu, giriş ve çıkış yerleri ile ilgili olarak diğer balık geçitlerindeki kriterlerin aynısı geçerlidir. Derli toplu yapısından dolayı balık eklüzü, regülatörün orta ayağına yerleştirilebilir.

### 5.5.3 Genel değerlendirme

Balık eklüzlerinin klasik teknik balık geçitlerine olan üstünlüğü aşağıdaki şartlarda söz konusudur:

- Çok fazla yer olmaması ve
- Aşılması gereken yükseklik farkının çok fazla olması.

Çok büyük balıklar (mersin balığı gibi) veya yüzme performansı düşük balık türlerinin dikkate alınması gerektiği durumda balık eklüzü aynı ölçüde yapısal avantaj sunar.

Omurgasızlar, dipte yaşayan balıklar ve küçük balıklar tarafından geçilme kolaylığı yönünden seçici bir etkisinin olduğunu söylemek hâlihazırda mümkün değildir.

Klasik balık geçitleriyle kıyaslandığında, hareketli parçalar, tahrik ve kumanda sistemlerinin bakım ihtiyacı daha yüksektir.

## 5.5.4 Örnek

<b>SCHODEN BALIK EKLÜZÜ</b>			
<b>Barajla ilgili bilgiler</b>		<b>Balık eklüzü ile ilgili bilgiler</b>	
Akarsu:	Saar Nehri, Rhineland-Palatinate	Düşü yüksekliği:	$h_F = 5,70$ m
Debiler:	MNQ = $19 \text{ m}^3/\text{s}$	Oda genişliği:	$b = 1,0$ m
(1946-93	MQ = $80 \text{ m}^3/\text{s}$	Uzun:	$l = 34$ m
veri serisinden)	HHQ = $1230 \text{ m}^3/\text{s}$	İnşa yılı:	1981
Amacı:	Hidroelektrik enerji, gemi taşımacılığı	İşletmeci:	WSA Saarbrücken
Kontrol debisi:	$Q = 2 \times 30 \text{ m}^3/\text{s}$	Sorumlu:	RWE Energie AG

**Yapı tasarımı**

Saar Nehri'nin taşımacılık amaçlı su yolu olarak geliştirilmesi sırasında Schoden bendine bir balık eklüzü inşa edilmiştir. Bu yapı, enerji santrali ile bent arasındaki orta ayağın içerisine yerleştirilmiştir. Eklüz girişi, türbin çıkış yapısına yakın bir yere konumlandırılmıştır. Balık eklüzü girişin en kesiti  $0,65 \times 0,80$  m olup, batık durumdadır. Balıklar memba tarafındaki çıkıştan rezervuara geçmektedir.

Hidrolik olarak çalıştırılan kayar düz kapak, mansap tarafından eklüzü tamamen kapatmaya yardım ederken, memba tarafında eklüz odası bent kapağı ile kapatılmaktadır. İzleme amaçlı olarak kapak ile çıkış arasında bir balık tuzağı yerleştirilebilir.

Şekil 5.43, Schoden balık eklüzünün (Saar) boy kesiti ve üstten görünüşünü göstermektedir. Üstteki A-A en kesiti, eklüzün boyutlarını ve yüksekliklerini detaylı olarak göstermektedir. Kesit, 1,0 m genişliğinde bir girişle başlar, ardından 4,56 m uzunluğunda bir ızgara bölümü, 11,26 m uzunluğunda bir köprü bölümü ve 17,47 m uzunluğunda bir çıkış bölümü içerir. Kesit, HW 142,00 yüksekliğinde bir mansap seviyesiyle başlar, 141,00 m yüksekliğinde bir memba kapağı ve 136,31 m yüksekliğinde bir mansap seviyesiyle devam eder. Kesit, 134,95 m yüksekliğinde bir kayar düz kapak ve 136,31 m yüksekliğinde bir kumanda panosu ile tamamlanır. Kesit, yan bağlantı 2 x DN 100 ve balık eklüzü gibi diğer bileşenleri de göstermektedir.

Altteki Saar Nehri boy kesiti ve üstten görünüşü, eklüzün genel konumunu ve diğer yapıları göstermektedir. Saar Nehri, balık tuzağı, bent, orta ayak ve emme borusu çıkışı gibi bileşenleri içerir. Eklüz, orta ayakta yerleştirilmiştir. Kesit, balık eklüzü girişi, kapak yuvası ve emme borusu çıkışı gibi diğer bileşenleri de göstermektedir.

Şekil 5.43: Schoden balık eklüzünün (Saar) boy kesiti ve üstten görünüşü

Örnek (devamı)

## SCHODEN BALIK EKLÜZÜ

### Elverişlilikle ilgili veriler

Treves'deki bölge yönetimi tarafından gerçekleştirilen izleme çalışmaları sonucunda balık eklüzünün elverişliliği doğrulanmıştır. 15.4.1992 ile 18.7.1992 tarihleri arasındaki dönemde eklüzden 50 000'den fazla balık geçmiştir (Kroll, 1992; 16-17 Kasım 1992'de Koblenz'de gerçekleştirilen "akışı barajlarla düzenlenen nehirlerdeki uzun mesafeli göç yapan balıklar" adlı sempozyumda sözlü olarak sunulan tebliğden). Farklı türbin işletme şekillerinin balık eklüzü elverişliliğine etkileriyle ilgili denemelerde, türbinlerden sadece birinin ya da her ikisinin birlikte çalışması durumunun eklüze giren balık sayısında önemli bir farka sebep olmadığı sonucuna varılmıştır.



**Şekil 5.44:** Schoden/Saar balık eklüzü (önden görünüş)

Eklüz, bent ile enerji santrali arasındaki orta ayağa (okla gösterilen) inşa edilmiştir.

## 5.6 Balık asansörü

### 5.6.1 Prensip

Yükseklik farklarının önemli (6 ila 10 m) ve mevcut suyun az olduğu yerlerde, inşaat masrafları, alan ihtiyacı ve en azından balıkların fizyolojik kabiliyetleri ve performansı yönünden klasik balık geçitlerinin uygulanabilirliğine ilişkin kısıtlamalar vardır. Aşılacak engellerin çok yüksek olduğu durumda, balıkları mansaptan membaya bir asansör yardımıyla taşımak için bazı çözümler geliştirilmiştir.

Taşıma vasıtası olarak bir tekne kullanılır; bu tekneye açılıp kapanabilen bir boşaltma kapağı takılabilir veya tekne eğilerek boşaltılabilir. Tekne aşağı konumdayken, tabanın içerisine gömülür. Balıkların bir kılavuz akıntı ile balık asansörüne doğru çağırılması gerekir. Ayrıca asansörün önüne yerleştirilen katlanabilir sürgülü ızgara kapak, balıkları asansöre, oradan da taşıma teknesine doğru yönlendirmeye yardımcı olur. Asansörün alttaki kapağı düzenli aralıklarla kapanır. Tekneye toplanan balıklar buradan hiçbir yere gidemez ve yukarı çıkan tekne ile membaya taşınır. Tekne ile üst su kotu arasında su sızdırmaz bir bağlantı yapılabilir ya da tekne, membadaki giriş ağzına doğrudan boşaltılır. Teknedeki su ile balıklar üst kanala ulaşır; yine burada da belirgin bir çağırma akıntısının olması gerekir.

Asansörün çalışma düzeni, göç zamanlarına göre belirlenir. Genellikle otomatik olarak çalışır.

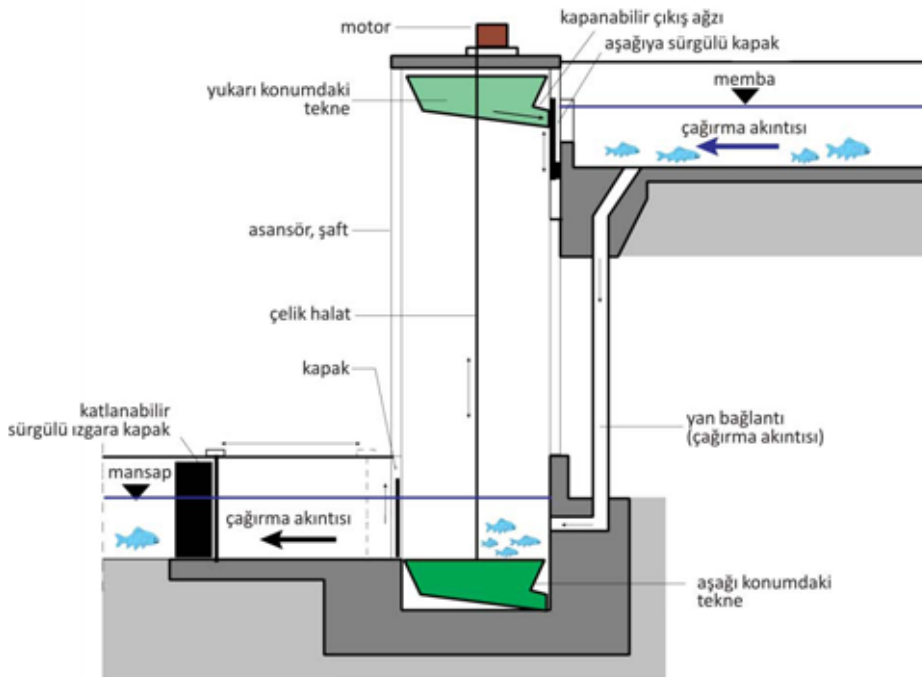
### 5.6.2 Yapı

Şekil 5.45'te ABD'nin doğu kıyısında ve Fransa'da inşa edilen balık asansörlerinin yapısına ilişkin bir şematik gösterim yer almaktadır (Larinier, 1992c).

Balık asansörünün yerinin belirlenmesi ile ilgili prensipler, klasik balık geçitleri ile aynıdır.

### 5.6.3 Genel değerlendirme

- Çok az alana gerek duyulur; yüksek barajlarda bile aşırı yükseklik farkları bu tür balık asansörleri ile aşılabılır. Bununla birlikte inşaat masrafı oldukça fazladır.
- Balıklar membaya pasif olarak taşındığından, balık asansörleri, büyük balıkların ve yüzme performansı zayıf olan türlerin taşınmasına uygundur.
- Balık asansörleri omurgasızların memba göçü ve balıkların mansap göçü için uygun değildir.
- Mansaptaki büyük kot değişimleri, yeterli kılavuz akıntısının temininde tasarım sorunlarına yol açar.
- Balık asansörlerinin bakım harcamaları klasik balık geçitlerine göre daha fazladır.



**Şekil 5.45:**

Balık asansörü yapısının şematik gösterilişi ve çalışma prensibi (Larinier, 1992c'den değiştirilmiş).



## 5.6.4 Örnek

<b>TUİLİÈRES BALIK ASANSÖRÜ</b>	
<b>Barajla ilgili bilgiler</b>	<b>Balık asansörü ile ilgili bilgiler</b>
Akarsu: Dordogne Nehri, Fransa	Asansör yüksekliği: $h = 10$ m
Amacı: Hidroelektrik enerji	Taşıma teknesinin hacmi: $V = 3,5$ m <sup>3</sup>
Debi: $Q = 285$ m <sup>3</sup> /s	Kılavuz akıntı: $Q = 4$ m <sup>3</sup> /s
Düşü yüksekliği: $h_F = 12$ m	Memba bağlantısı: Yarıklı geçit, $l_{top} = 70$ m
İşletmeci: EDF	$h = 2,0$ m, $Q = 1,0$ m <sup>3</sup> /s
	İnşa yılı: 1990

**Çalışmayla ilgili veriler**

11 Mayıs- 28 Haziran 1989 döneminde 100.000'den fazla balığın balık asansörünü kullandığı video izleme yöntemi ile belirlenmiştir. Bu asansör, büyük alabalıklar ve tirsinin yanı sıra sazangiller, deniz ve nehir lampreyi vb. türler tarafından da kabul görmüştür. Membaya bağlantı sağlayan yarıklı geçide, balıkların membaya geçişini gözlemlemeyi kolaylaştıran bir gözlem penceresi takılmıştır.



**Şekil 5.46:** Tuilières balık asansörü. Asansör, türbin çıkışların hemen yanında sağ tarafta bulunmakta olup, balıkları 10 m yükseklikteki ara havuza taşımaktadır; geriye kalan 2 m'lik yükseklik farkı ise yarıklı geçitle aşılmaktadır.



**Şekil 5.47:** Tuilières balık asansörünün alt girişi

Katlanabilir ızgara kapı kapatılır, odanın ön bölümünde toplanan balıklar, henüz yükseltilmemiş konumdayken taşıma teknesine doğru yönlendirilir. Bu kapak, tesisin etkinliğini önemli ölçüde artırır.

Fotoğrafın sağ üst bölümünde, içerisinden yarıklı geçidin çalışması için gerekli suyun ( $Q=1$  m<sup>3</sup>/s) tahliye edildiği kanal ağzı görülebilmektedir. Bu ilave su, balıkları asansöre doğru yönlendirmeye de yardımcı olmaktadır.



## 6 Balık geçitlerinin izlenmesi

Su ile ilgili yasal mevzuata uygun olması gereken bütün yeni tesisler için, balık geçitlerinin çalışma durumunu izlemeye yönelik yapısal tedbirler alınmalıdır. Özellikle bu kitapta verilen kılavuz bilgilere göre önemli ölçüde görüş ayrılığının olduğu yerlerde, onay makamlarının işleyiş kontrolü ile ilgili düzenleme imkânı olmalıdır. Aşağıda verilen bilgiler sadece memba göçlerinin izleme ve değerlendirmesine ilişkin yöntem içermekte olup, mansap göçü kapsam dışında tutulmuştur.

### 6.1 İzleme amacı

İzleme işleminin amacı, balık geçidi girişinin balık tarafından bulunup bulunmadığını ve balığın geçidi aşip aşmadığını açıkça ortaya koymaktır. İzleme, daha ziyade doğal görünümü yapılar için özellikle gerekli olan mecburi deneme çalıştırmasından (Bölüm 4.4.5) ve inşaatın planlama kriterleri ve inşaat ruhsatına göre denetlenmesinden önceki aşamalara kadar uzanır. Hatta rutin bakım aşamasından da öncesine kadar gider (Bölüm 3.8). Bu kitapta verilen bilgilere göre inşa edilmiş yeni balık geçitlerinin prensip olarak gereği gibi çalıştığı varsayılır.

Ortaya çıkan yapıların, yerel şartlar sebebiyle bu kitapta verilen bilgilerden farklı olduğu belirlenmiştir. Bu sebeple, muhtemel işlev azalmasının etkilerini tam olarak değerlendirmek genellikle zordur. Böyle durumlarda, mümkün olduğunca erken dönemde (örneğin, onay aşaması) izleme imkânlarının ve geçitle ilgili yapısal iyileştirmelerin projeye dâhil edilmesi gerekir. Seçilen (yeni) yapı tipinin çalışması ile ilgili tecrübenin olmadığı ya da yetersiz olduğu durumda veya boyutları (çok yüksek debi veya düşü yüksekliği gibi) bakımından geçidin başka bir örneğinin olmadığı durumda da yeni inşa edilmiş balık geçitleri için izleme çalışması tavsiye edilir. Bu bölümde verilen yöntemler mevcut balık geçitlerinin izlenmesi için de uygulanabilir.

Balıkların memba göçünün izlenmesine ilişkin yeterince denenmiş yöntemler bulunmakla birlikte, balık geçitlerindeki dip omurgasızlarının memba göçünün etkinliğini ortaya koymak genellikle çok zordur. Omurgasızların koloni oluşturma stratejilerindeki farklılık, bunların göç ettiğine ilişkin delilin çoğunlukla balık geçidi içerisinde koloni oluşturma kayıtları ile sınırlı olacağı fikrini vermektedir. Mevcut bilgi birikiminden, kesintisiz taban substratı varlığının tek

başına omurgasızların memba göçüne ilişkin gösterge olarak alınabileceği sonucu çıkarılabilmektedir.

Su ürünleri kanununa göre balık geçitlerindeki balıkların avlanması yasaklanmıştır. Araştırma amacıyla bir geçitten balık yakalanması gerekiyorsa, avcılık öncesinde gerekli izinlerin alınması zorunludur. Bu izin sadece, avcılığı yapacak kişinin kurallara uyacağını taahhüt etmesi durumunda verilebilmektedir. Genel olarak izleme çalışmasının yönetimi su ürünleri uzmanlarına verilmelidir.

### 6.2 Yöntemler

İşlevselliğin kontrolünde deneylerin zamanlaması ve süresi güvenilirlik bakımından çok önemli olmaktadır. İzleme çalışması tercihen, yöresel özellikler ve hava şartları sebebiyle bölgesel farklılık gösterebilen asıl göç dönemlerinde gerçekleştirilmelidir.

Taslak izleme stratejisi hazırlanırken ve ilerleyen aşamalarda balık geçidinin işlevselliği değerlendirilirken aşağıda verilen biyolojik ve teknik hususlar dikkate alınmalıdır:

- Akarsudaki potansiyel doğal balık faunası ile her engelin memba ve mansabındaki balık stoklarının gerçek nicel ve nitel bileşimi. İlave olarak dip omurgasız faunası için de benzer değerlendirmeler yapılmalıdır.
- İlgili balık türlerinin göç ettiği bütün gelişim evrelerinde engelsiz bir şekilde membaya çıkışı.
- Su sisteminin bağlanabilirliğine ilişkin mevcut durum.
- Bu kitapta belirtildiği gibi, balık geçidinin planlama ve inşasıyla ilgili genel kurallar.
- Gerektiğinde, balık geçidinin en uygun hâle getirilmesi ile ilgili önerilerde bulunulmalıdır.

Balık geçidi işlevselliğinin kontrolü, geçidi aşan bütün balıkların sayılmasını ve başka parametrelerle birlikte temel şartların değerlendirilmesini gerektirir. İncelemeye tabi tutulan akarsu bölümündeki balık faunasının doğal göç faaliyetleri ile izleme sonuçları kıyaslanarak geçidin etkinliğinin belirlenmesinde bu veriler kullanılır. Diğer veriler aşağıda sunulmuştur:

- Membaya çıkan balıkların sayısı, tür ve büyüklük gruplarına göre sınıflandırılması, cinsel olgunluk verileri,
- Su kotu ve debi dalgalanmaları (su debisindeki artış veya azalmalar), hava durumu, suyun bulanıklığı veya ışık geçirgenliği ile ilgili veriler,

- Özellikle yılan balığı göçü esnasında balığın göç faaliyeti ile ay evreleri arasındaki ilişkilere dair bilgiler,
- Balık geçidindeki akıntı hızlarının ve debilerin ölçülmesi,
- Oksijen içeriği ve su sıcaklığının ölçülmesi,
- Her bir akarsu bölümündeki balıklandırma tedbirleri de göz önüne alınarak memba ve mansaptaki balık stoklarının belirlenmesi,
- Balıklardaki hastalıklar veya yaralar gibi diğer bilgilerin derlenmesi,
- Balık geçidinin genel durumunun ve bakım ihtiyacının değerlendirilmesi,
- Nehirdeki çevre şartlarında görülen değişikliklerin kaydedilmesi ve bakım tedbirleri, balık ölümleri vb. gibi balık geçidindeki göç faaliyetiyle ilgili olabilecek özel olayların kayıt altına alınması.

Geçidin inşası sırasında, yapı içerisindeki tuzaklama odacıkları veya doğrudan geçidin çıkışına yerleştirilecek seygar balık tuzaklarının kullanılabilmesi amacıyla en azından kaldırma düzenekleri için önceden hazırlık yapılması tavsiye edilir. Bu düzenek, balığın geçitten membaya çıkıp çıkmadığını belirlemek için özellikle teknik geçitlerde gereklidir. Geçidin işlevselliğinin kontrolüne ilişkin yöntemler geçit tipine uygun olmalıdır. Gerektiğinde, her bir yöntemin olumsuzluklarını dengelemek amacıyla birden çok yöntem birlikte kullanılabilir. Sıkça kullanılan farklı yöntemler aşağıda verilmiştir; uygun bir biçimde kullanıldığında bu yöntemler, balık geçidinin işlevselliğine ilişkin güvenilir veri sağlamaya yardımcı olabilir.

### 6.2.1 Balık tuzakları

Hem doğal görünümlü hem de teknik balık geçitleri için standart yöntem balıkları tuzaklamaktır. Tuzaklar, geçidin en kesidinin balık tuzağı ile tamamen kapatılması ve tabanla sıkı bir bağlantı olması durumunda kullanılabilir. Balık tuzağı, geçidin su alma ağzına (balık geçidi çıkışına<sup>#</sup>; Şekil 6.1) yerleştirilmelidir; tuzak, yerel şartlara bağlı olarak kutu biçiminde, sabit kaideli veya özel balık tuzağı biçiminde olabilir. Havuzlu ve yarıklı geçitlerde en uygun tuzak, kutu biçimli olandır; bunların boyutları havuz ölçülerine göre belirlenir. Tuzaklar en üstteki havuza yerleştirilmelidir. Örnek olarak dinlenme havuzuna kurulan veya hemen su girişine kurulmayan kontrol tuzakları, balıkların geçidin tamamını geçebildiği hakkında kesin bir delil sağlamaz.

Balık tuzağı, kontrol esnasında genç balıkların yakalanabilmesi için göz açıklığı azami 10-12 mm olan dayanıklı, koyu renkli plastik telden yapılmış olmalıdır. Kutu biçimli tuzaklar, yüzleri plastik veya kaplanmış metal telden yapılmış hafif alüminyum çerçeveden meydana gelmelidir.

Tuzakla yapılan kontrol denemeleri eğitilmiş personelin yoğun çalışmasını gerektirir. Balıklar, özellikle göçün yoğun olduğu dönemde tuzaktaki aşırı yoğunluk sebebiyle yaralanabilmektedir. Tuzağın sık aralıklarla boşaltılması bu durumu önleyebilir. Balıklar, tuzaktan çıkarılır, belirlenen programa göre istenen parametreler ölçülüp kaydedilir, ardından membaya bırakılır. Tuzak, kurulduğu yön itibarıyla balık geçidinde mansap göçünü engellediğinden, bu yöntem sadece membaya hareketle ilgili güvenilir veriler sağlar.

### 6.2.2 Kapatma yöntemi

Bu yöntem, balık geçidi su girişinin (balık geçidi çıkışı<sup>#</sup>) balıkların mambadan girişini önlemek amacıyla bir ağ veya ızgara ile tamamen kapatılmasından oluşur. Ardından bütün balıklar, elektrikle avlanarak ya da geçitteki su boşaltılarak balık geçidinden çıkarılır. Belirli bir süre sonra yapılan kontrol avcılığı, balıkların geçide mansaptan girdiğini gösterir.

Bu yöntem, balıklara dinlenme yeri sağlayan bütün geçitlere uygulanabilir. Bu sebeple, Denil geçitleri için uygun değildir. Kapatma düzeneğinin özellikle rüsubat veya katı cisimlerle tıkanması sebebiyle bazı sorunlar ortaya çıkmaktadır.

Öncelikle balık geçidi giriş yapısı (balık geçidi çıkışı<sup>#</sup>) kapatılmadığı sürece, balık geçidinde klasik yöntemlerle veya elektrikle avcılık yöntemiyle yapılan deneme avcılığı geçidin çalışıp çalışmadığını kontrol etmek için uygun değildir. Aksi takdirde, balığın geçide hangi yönden göç ettiğini, başka bir deyişle mambadan mı mansaptan mı geldiğini belirlemek mümkün olamaz.

### 6.2.3 Markalama

Doğala benzer balık geçitlerinin işlevselliğini kontrol etmek için balık markalama yöntemi kullanılabilir; genellikle sucul sistemlerdeki göçler araştırılırken bu yöntemden yararlanır. Balık markalaması için ilgili makamlardan onay alınması veya durumun bildirilmesi gerekir. Kodlu işaretlerin (markaların) kullanıl-

<sup>#</sup> Editörün notu



**Şekil 6.1:**  
Stöbber'deki (Brandenburg)  
Pritzhagener Değirmeninde  
bulunan balık rampasının  
işlevselliğinin izlenmesi için  
yapılan balık tuzaklaması



**Şekil 6.2:**  
Yeniden popülasyon oluşturma  
programı kapsamında  
kırmızı dövme boyası ile  
markalandıktan sonra Lahn  
Nehrinin  
(Rhineland-Palatinate) bir  
kolu olan Mühlbach'a bırakılan  
somon yavrusu



**Şekil 6.3:**  
Sieg Nehrindeki (Kuzey  
Ren-Vestfalya) Unkelmühle  
bendinde bulunan balık ram-  
pasında izleme amacıyla yürü-  
tülen elektrikle avcılık ça-  
lışması



ması veya boya enjeksiyonu (Şekil 6.2) gibi balıkların markalanmasıyla ilgili pek çok yöntem vardır; bunların her birinin avantaj ve dezavantajları bulunmaktadır.

Bu yöntem kullanılırken, ilgili su kütlesinden yakalanan otokton balıklar markalanıp çalışılan regülâtörün mansabına bırakılır. Daha sonra yapılan balık geçidi işlevsellik kontrolü, geçidin su alma yerinde (balık çıkış alanı<sup>#</sup>) veya membada markalı balık bulunup bulunmadığının belirlenmesinden oluşur. Markalı balıkların yakalanma bilgileri, ya doğrudan balık tuzakları veya elektrikle avcılık gibi klasik yöntemlerle ya da markalı balıkları yakalayan oltaçıların beyanı ile elde edilebilir. Yeniden yakalanma oranı genellikle düşük olduğundan, farklı tür ve büyüklükte çok sayıda balığın mansaba bırakılmak üzere markalanması gerekir. Sonuçlar değerlendirilirken, markalanan toplam balık sayısı ile yeniden yakalanan balık sayısı arasındaki ilişkinin dikkate alınması gerekir.

#### 6.2.4 Elektrikle balık avcılığı

Elektrikle avcılık, balık stoklarının nitel ve nicel yönden araştırılmasında sıkça kullanılır. Sudaki elektrik alanı etkisi altında, mevcut balıklar önce anoda doğru yüzer (galvanotaksi), ardından kısa süreliğine bayılır (galvanonarkoz), böylece kolayca yakalanabilir. Bu sayede balıklar tür, büyüklük sınıfı vb. yönden incelenebilir (Şekil 6.3). Elektrikle avcılık donanımı doğru bir biçimde kullanıldığında balıklar zarar görmez. Elektrikle balık avcılığının (Almanya'da<sup>##</sup>) özel olarak eğitim almış kişilerce uygulanması gerekir; bu teknik için ilgili makamdan onay alınması ve avcılık hakkını alan kişi ile sözleşme yapılması gerekir.

Elektrikle avcılık, barajların memba ve mansabındaki balık stoklarının nitel ve nicel yapısı hakkında tahmini bilgiler verir. Stok büyüklüğünün tayini, izlemenin yapıldığı dönemdeki balık faunasının membaya geçişini değerlendirirken kullanılabilir ve balık geçidinin işlevselliğinin tahminine ilişkin temel bilgiler de sağlayabilir (Bölüm 6.3). Balık geçidi su girişinin kapatılması veya markalama gibi diğer yöntemlerle birlikte elektrikle balık avcılığı, balıkların geçidi aşım aşamadığının kanıtlanmasına imkân sağlar.

#### 6.2.5 Otomatik sayma donanımı

Otomatik sayma donanımı, membaya çıkan balıkları rahatsız etmeden gözlemlemeye imkân tanır. Çeşitli yöntemler, harekete duyarlı düzenekler, ışık engelleri veya görüntülü kontrol gibi farklı prensipleri

esas almakta olup, hâlâ büyük ölçüde geliştirilme aşamasındadır. Optik sistemler, sadece yeterli görüntüleme derinliği olduğunda uygulanabilir. Işık engelleri ve harekete duyarlı düzenekler, balıkların tür veya büyüklük olarak ayırt edilmeden sadece sayısının belirlenmesini sağlar. Görüntü izleme ve işleme sistemlerinin bir arada olduğu daha gelişmiş sistemler, balık geçidi işlevselliğinin değerlendirilmesi ile ilgili farklı bir yöntem sunar (Travade ve Larinier, 1992).

Birçok durumda, otomatik sayma donanımının kullanılabilmesi için çoğunlukla geçidin su girişinde (balık çıkışı<sup>#</sup>) ayrı gözlem odaları, düzenekleri veya tesisatının bulunduğu varsayılır. Bu yöntemler kullanılabırsa, balık geçidi inşa edilmeden önce planlamanın ilk aşamalarında tedbir alınması gerekir. Düzenli kontroller ve otomatik sayma donanımının bakım masrafları oldukça yüksektir.

### 6.3 Sonuçların değerlendirilmesi

Balık geçitlerinin işlevselliğine ilişkin kontrol sonuçları değerlendirilirken, ayrıntılı veri kayıtlarının mevcut olduğu varsayılır. Nehir kesiminin bulunduğu yere özgü veriler ve deneme sonuçlarını etkilemesi muhtemel diğer etkenlere ilaveten, doğru bir değerlendirme için balık tuzaklarının devrede olduğu süre veya bu tuzakların boşaltılma düzeni gibi kullanılan yöntemle ilişkin verilere ihtiyaç duyulur.

Balık geçidinin bir bütün olarak işlevsel olup olmadığını ortaya koymak kolaydır; ancak belirli bir tür veya büyüklük bakımından sınırlı veya seçici bir şekilde çalıştığını göstermek çok daha zordur. Bir geçidin tam olarak çalışıp çalışmadığı, membaya çıkan balık sayısının analizi ve değerlendirilmesi ile belirlenirken aşağıdaki kriterler dikkate alınmalıdır:

- İzleme sonuçları, türe ve su kütlesine özgü ana göç dönemleri yönünden değerlendirilmelidir. Bu çalışmada, debi durumları, sıcaklık, ay evresi vb. gibi bir arada bulunan faktörler dikkate alınmalıdır.
- Balık geçidinden göç eden balıklar, engelin memba ve mansabındaki stok yoğunlukları yönünden değerlendirilmelidir. Bu değerlendirme, doğada baskın bulunma yüzdeleri ile gerçekte suda mevcut olan türün büyüklük aralığı verileri, balık geçidi izleme sonuçları ile kıyaslanarak yapılır.

# Editörün notu

## "Almanya'da" sözcüğü Editör tarafından eklenmiştir.

Bölüm 3'te verilen genel kurallara göre bir balık geçidi, potansiyel doğal balık faunasındaki bütün türler, farklı gelişim dönemlerinde ve akarsudaki nispi bolluğunu temsil eden sayıda birey, geçit girişini bulup geçidi aştığında işlevsel olarak değerlendirilir. Bununla birlikte, sıklıkla aşağıdaki sebeplerle bu konuyla ilgili yöntem sorunları görülmektedir:

- Genellikle potansiyel doğal balık faunasındaki bütün türlerin akarsuda temsil edilmemesi,
- Özellikle küçük balık türlerinin mevcudiyetinin balık tuzağı gibi klasik yöntemlerle belirlenmesinin zorluğu,
- Nehirde çok nadir bulunan türlerin, prensipte geçitten geçebilmesine karşın, izleme çalışması esnasında belirlenememesi.

Bu sebeplerden ötürü, günümüzde aşağıdaki şartların sağlanması durumunda bir balık geçidinin işlevsel olduğuna inanılmaktadır:

- Etkilenmiş nehir kesiminde gerçekte bulunan, farklı gelişim dönemi ve nispi bolluktaki bütün balık türlerinin girişi bulup geçitten geçebilmesi. Vücut büyüklüğünün geçit ölçülerine oranı aynı olan ve benzer yüzme performansı gösteren diğer türlerin geçitten geçebilmesi durumunda, son derece nadir türler ve kaydı alınmayan türler için bile geçidin işlevsel olduğu, kullanılan yöntemle bu türler güçlükle yakalanabildiğinden, kabul edilebilir.
- Akarsudaki popülasyonda hâlihazırda temsil edilmeyen potansiyel doğal balık faunasındaki türler için de balık geçidi girişinin bulunabilme ve geçidin geçilebilme olasılığının verilmesi gerekir.



## 7 Yasal mevzuat

Balık geçitlerinin planlama, inşa ve işletme aşamalarında ilgili kanunlara uyulması gerekir. Almanya Federal Cumhuriyeti Anayasası'nın 70. Maddesi'nde belirtildiği üzere, içsu balıkçılığı her bir Eyalet'in (Federal Devlet) yetkisindedir. Bu sebeple, her bir *Länder*'in (Federal Devlet) diğer *Länder*lerin benzer kanunlarına göre genellikle birçok yönden büyük ölçüde farklılık gösteren kendi su ürünleri kanunu vardır. Bütün federal su ürünleri kanunu, balık geçitlerinin inşası ve işletilmesi ile ilgili diğer mevzuattan bağımsız olarak doğrudan uygulanabilen ayrıntılar içerir.

Diğer taraftan, Su Kanunu ile ilgili olarak Wasserhaushaltsgesetz (Su Kaynakları Politikası Kanunu) (WHG) adı altında bir çerçeve kanun mevcuttur. Bu kanunun 1. Fıkrasının 1a Bendinde, su kütlelerinin kamunun refahına katkı sağlayacak şekilde yönetilmesi ve kamu yararının ihlal edilmediği yerlerde bireylere fayda sağlaması gerektiği prensibi yer almaktadır. Bu fıkrada ayrıca, bütün menfi etkilerden kaçınılması gerektiği de belirtilmektedir. Madde 4 ve Madde 8'e göre, izin veya onay gerektiren kullanımlardan kaynaklanan sularla ilgili istenmeyen etkiler önlenmek veya tazmin edilmek zorundadır.

Bu prensip, Doğa Koruma ile ilgili Federal Kanunu'nun 8. ve 20. Maddelerinde ve *Länder*'in ilgili Doğa Koruma mevzuatında da bulunmaktadır. Avrupa Birliği Komisyonunca hazırlanan su kütlelerinin ekolojik kalitesine ilişkin Konsey Kılavuz İlke teklifi, insan faaliyetlerinin göçmen balık türlerine engel olamayacağına ilişkin bir hüküm içermektedir.

### 7.1 Yeni tesisler

Su Kanunu'na göre, su yolları üzerinde baraj veya regülatör inşa etmeden önce ilgili mercilerden gerekli izinlerin veya planlama onaylarının alınması mecburidir. Bu tür inşaatlar, WHG'nin 31. Maddesi açısından, genellikle su kütlelerindeki habitatlarda temel değişikliğe yol açan önemli yapısal değişikliklere neden olur; bu sebeple, 31. Madde'nin 1. Fıkrası'na göre Planlama İzin Komitesi oturumlarında karar alınması gerekir. Ayrıca elbette, Eyaletin tamamlayıcı hukuk mevzuatına da uyulması zorunludur.

UVP Kanunu'nun (Çevresel Etki Değerlendirmesi Kanunu) 3. Maddesi'nin ekine (burada 6. Bent) göre, WHG [Su Kaynakları Politikası Kanunu] 31. Maddesi

mucibince gerçekleştirilecek planlama işlemlerinde Çevresel Etki Değerlendirmesi (UVP) gerekir.

Çevresel Etki Değerlendirmesi; planlanan eylemin insan, hayvan ve bitki, toprak, su, hava, iklim ve peyzaj üzerine etkilerinin belirlenmesi, açıklanması ve değerlendirilmesini, her bir durum için bunlar arasındaki etkileşimleri ve bunların kültürel ve diğer varlıklar üzerine olan etkilerini içerir.

Çevresel Etki Değerlendirmesi kapsamında, bazı *Länder*lerin su ürünleri kanununda balık geçitlerinin inşası ile ilgili resmi istisnalar olmasına rağmen, çoğunlukla hedef, dikey bağlanabilirliğin korunması veya yeniden sağlanmasıdır.

Balıkçılıkla ilgili yasal gerekliliklerin, Planlama İzin Komitesi oturumları yerine onay, ruhsat veya sözleşme işlemlerinin gerçekleştirilmesi gereken durumlarda da dikkate alınması gerekir. İlgili kanunlar çerçevesinde planlama aşamasında uygulama hedefi olan projeye ilişkin faydalarla balıkçılık çıkarları dengelenmelidir.

### 7.2 Mevcut tesisler

Mevcut baraj ve bentlerde onay gerektirmeyen değişiklikler yapılacaksa, yasal durum farklıdır; tali maddelerin mütalaasıyla birlikte eski kanun maddeleri de geçerlidir. Anayasa'nın 14. Maddesi'nde mülkiyetin garanti altına alınması hükmünde açıklandığı üzere, hak sahibi ile anlaşma sağlanmadan kadim haklara ilişkin değişiklik yapmak mümkün değildir. Bununla birlikte bu kadim haklar, sürekli kullanım sebebiyle genel refaha ilişkin önemli bir dezavantajın beklendiği durumda, tazminat karşılığı olarak WHG 15. Madde'ye göre iptal edilebilir. Birçok *Länder*'in Su Ürünleri Kanunu, inşa masrafları ve muhtemel tazminat talepleri, inşaatın yapılmasını isteyen üçüncü tarafça karşılanması kaydıyla, baraj sahibine balık geçidi yaptırma zorunluluğu sağlamaktadır.

Hesse, Kuzey Ren-Vestfalya, Rhineland -Palatinate, Saxony-Anhalt ve Thuringia'da Eyalet Yönetimi sadece alınacak tedbir mükellef açısından makul bir masraf/fayda oranı ve masraf/üretim gücü oranı sağladığında, engelin bir geçitle uyumlu hâle getirilmesi konusunda ısrarcı olabilir. Mükellefin ödeme gücü olmadığında, Eyaletin bu iyileştirme için gereken paranın belirli bir bölümünü temin etme yollarını araştırması gerekir.

# Editörün notu: UVP = Umweltverträglichkeitsprüfung (Çevresel Etki Değerlendirmesi)





## 8 Kaynaklar

- Bayerisches Landesamt für Wasserwirtschaft (1987): Grundzüge der Gewässerpflege – Fließgewässer. – Schriftenreihe Bayer. Landesamt für Wasserwirtschaft 21.
- Bell, M.C. (1973): Fisheries handbook of engineering requirements and biological criteria. – Fisheries Engineering Research Program, Corps of Engineers North Pacific Division, Portland, Oregon.
- Bless, R. (1982): Untersuchungen zur Substratpräferenz der Groppe, *Cottus gobio* LINNAEUS 1758 (Pisces: Cottidae). – *Senckenbergiana Biol.* 63, 161-165.
- Bless, R. (1990): Die Bedeutung von gewässerbaulichen Hindernissen im Raum-Zeit-System der Groppe (*Cottus gobio* L.). – *Natur und Landschaft* 65, 581-585.
- Bless, R., A. Lelek ve A. Waterstraat (1994): Rote Liste und Artenverzeichnis der in Deutschland in Binnengewässern vorkommenden Rundmäuler und Fische (Cyclostomata & Pisces). In: Nowak, E., J. Blab ve R. Bless (Hrsg.): Rote Liste der gefährdeten Wirbeltiere in Deutschland. – Greven (Kilda-Verlag), 137-156.
- Borne, M.V.D. (1883): Die Fischereiverhältnisse des Deutschen Reiches, Oesterreich-Ungarns, der Schweiz und Luxemburgs. – Berlin (Moeser-Verlag).
- Clay, C.H. (1961): Design of fishways and other fish facilities. – Department of fisheries and oceans, Ottawa (Queen's Printer), 301 S.
- Denil, G. (1909): Les Échelles à poissons et leur application aux barrages de Meuse et d'Ourthe. – *Annales des travaux publics de Belgique Série II/XIV*, 66, 253-395.
- Drimmelen, D.E. van (1966): Fischtreppen in den Niederlanden.– *Arch. für Fischereiwiss.* 16, 38-54.
- DVWK (1991): Ökologische Aspekte bei Ausbau und Unterhaltung von Fließgewässern – DVWK-Merkblatt 204, Bonn, 188 S.
- DVWK (1991): Hydraulische Berechnung von Fließgewässern.– DVWK-Merkblatt 220, Bonn, 70 S.
- DVWK (1995): Gesichtspunkte zum Abfluß in Ausleitungsstrecken von Wasserkraftanlagen. – Gelbdruck, 155 S.
- Gebler, R.-J. (1990): Naturgemäße Bauweisen von Sohlenstufen. – In: Handbuch Wasserbau: Heft 3, Min. f. Umwelt, Stuttgart.
- Gebler, R.-J. (1991): Naturgemäße Bauweisen von Sohlenbauwerken und Fischaufstiegen zur Vernetzung der Fließgewässer. – Diss. Univ. Karlsruhe, Mitteilungen des Institutes für Wasserbau und Kulturtechnik, Nr. 181.
- Geitner, V. ve U. Drewes (1990): Entwicklung eines neuartigen Pfahlfischpasses. – *Wasser und Boden* 42, 604-607.
- Gennerich, J. (1957 ): Fischaufstiegskontrollen am Moselfischpaß Koblenz. – *Z. Fischerei N.F.* 6, 53-60.
- Hensen, W. ve F. Schiemenz (1960): Eine Fischtreppe in Stromlinienform. Versuche mit lebenden Fischen und Modellversuche. – Mitteilungen des Franzius-Institutes für Grund- und Wasserbau der Technischen Hochschule Hannover 18, 162-177.
- Huet, M. (1949): Aperçu des relations entre la pente et les populations piscicoles des eaux courantes. – *Schweiz. Z. Hydrol.* 11, 322-351.
- Huet, M. (1959): Profiles and biology of western European streams as related to fish management. – *Trans. Am. Fish. Soc.* 88, 155-163.
- Hughes, D.A. (1970): Some factors affecting drift and upstream movement of *Gammarus pulex*. – *Ecology* 51, 301-305.
- Illies, J. (1958): Die Barbenregion mitteleuropäischer Fließgewässer. – *Verh. int. Verein. theoret. angew. Limnol.* 13, 834-844.
- Illies, J. (1961): Versuch einer allgemeinen bioökologischen Gliederung der Fließgewässer. – *Int. Rev. ges. Hydrobiol.* 46, 205-213.
- Jäger, P. (1994): Zum Stand der Technik von Fischaufstiegsanlagen. – *Österreichs Fischerei* 47 Jg., 50-61.
- Jens, G. (1982): Der Bau von Fischwegen. – Hamburg, Berlin (Verlag Paul Parey), 93 S.
- Jonsson, N. (1991): Influence of water flow, water temperature and light on fish migration in rivers. – *Nordic J. Freshw. Res.* 66, 20-35.
- Katopodis, C. (1990): Advancing the art of engineering fishways for upstream migrants. – *Proc. Intern. Symposium on Fishways '90*, Gifu, Japan, Okt. 1990.
- Kinzelbach, R. (1987): Das ehemalige Vorkommen des Störs, *Acipenser sturio* (Linnaeus, 1758), im Einzugsgebiet des Rheins (Chondrostei: Acipenseridae). – *Z. angew. Zool.* 74, 167-200.
- Klausewitz, W. (1974a): Die frühere Fischfauna des Untermain. – *Natur und Museum* 104, 1-7.

- Klausewitz, W. (1974b): Der Strömer, *Leuciscus souffia agassizi*, ein nachträglicher Neunachweis für den Main. – *Natur und Museum* 104, 238-240.
- Klausewitz, W. (1975): Die Bioindikatorfunktion einer alten Fischesammlung aus dem Main. – *Aus Hessischen Museen* 1, 55-58.
- Knauss, J. (1979): Flachgeneigte Abstürze, glatte und rauhe Sohlrampen. – *Versuchsanstalt für Wasserbau TU München, Bericht* 41, 1-55.
- Kraatz, W. (1989): Flüssigkeitsstrahlen. In: BOLLRICH et al.: *Technische Hydromechanik* Band 2, Kap. 5.
- Krüger, F., P. Labatzki ve J. Stedl (1993): Naturnahe Gestaltung von Fischaufstiegsanlagen; Beispiele in Brandenburg. – *Wasserwirtschaft/Wassertechnik*, 1/93, 27-33.
- Krüger, F. (1994a): Denil-Fischpässe. – *Wasserwirtschaft/Wassertechnik*, 3/94, 24-32.
- Krüger, F., Labatzki, P. ve J. Görlach (1994b): Fließgewässer-Biotopverbund in Brandenburg. – ZALF, Institut für Hydrologie, unveröff. Studie im Auftrag des LUA Brandenburg.
- Lange, G. ve K. Lecher (1993): *Gewässerregelung, Gewässerpflege*. – Hamburg (Verlag Paul Parey).
- Larinier, M. (1978): Etude du fonctionnement d'une passe à poissons à ralentisseurs plans. – *Bull. Fr. Pêche Piscic.* 271, 40-54.
- Larinier, M. (1983): Guide pour la conception des dispositifs de franchissement des barrages pour les poissons migrateurs. – *Bull. Fr. Pêche Piscic. Numéro special* 56, 1-39.
- Larinier, M. (1992a): Passes à bassins successifs, prébarrages et rivières artificielles. – *Bull. Fr. Pêche Piscic.* 326/327, 45-72.
- Larinier, M. (1992b): Les passes à ralentisseurs. – *Bull. Fr. Pêche Piscic.* 326/327, 73-94.
- Larinier, M. (1992c): Ecluses et ascenseur à poisson. – *Bull. Fr. Pêche Piscic.* 326/327, 95-110.
- Larinier, M. (1992d): Implantation des passes à poissons. – *Bull. Fr. Pêche Piscic.* 326/327, 30 -44.
- Larinier, M. ve F. Travade (1992): La conception des dispositifs de franchissement pour les Aloses. – *Bull. Fr. Pêche Piscic.* 326/327, 125-133.
- Lelek, A. ve C. Köhler (1990): Restoration of fish communities of the river Rhine two years after a heavy pollution wave. – *Regulated rivers: research and management* 5, 57-66.
- Leuthner, F. (1877): *Die mittelrheinische Fischfauna mit besonderer Berücksichtigung des Rheins bei Basel*. – Basel (H. Georg's Verlag).
- Lonnebjerg, N. (1980): *Fiskepas af Modströmstypen*. – Ingeniørhøjskolen – Horsens Teknikum.
- Lubieniecki, B., L. Steinberg ve W. Fettweis (1993): *Fischaufstiege an der unteren Sieg in Nordrhein-Westfalen; erste Funktionsüberprüfungen*. – 7. SVK-Fischereiseminar in Bad Godesberg.
- LWA (Landesamt für Wasser und Abfall Nordrhein-Westfalen) (1992): *Biotopgestaltung an Talsperren, Hochwasserrückhaltebecken und Flußstauen*. – Merkblatt Nr. 9.
- Meijering, M.P.D. (1972): Experimentelle Untersuchungen zur Drift und Aufwanderung von Gammariden in Fließgewässern. – *Arch. Hydrobiol.* 70, 133-205.
- Müller, K. (1950): *Fische und Fischregionen der Fulda*. – *Jahresb. limnol. Flußstation Freudenthal* 1, 18-23.
- Müller, K. (1968): Die Tages- und Jahresperiodik der Bachforelle (*Salmo trutta* L.) am Polarkreis.– *Aquilo, Ser. Zool.* 8, 50-62.
- Müller, R. ve H.J. Meng (1990): The fate of the fish populations in the river Rhine after the Schweizerhalle accident. – *Limnologie aktuell* 1: *Biologie des Rheins*, 405-421.
- Patzner, G. (1982): Kriterien für den zulässigen spezifischen Abfluß über breite Blocksteinrampen. – *Österr. Wasserwirtschaft* 34.
- Pavlov, D.S. (1989): Structures assisting the migration of non-salmonid fish: USSR. – *FAO Fisheries Techn. Pap.* 308, 98 S.
- Pechlaner, R. (1986): „Driftfallen“ und Hindernisse für die Aufwärtsbewegung von wirbellosen Tieren in rhithralen Fließgewässern. – *Wasser und Abwasser* 30, 431-463.
- Pelz, G.R. (1985): *Fischartbewegungen über verschiedenartige Fischpässe am Beispiel der Mosel*. – *Courier Forschungsinstitut Senckenberg* 76, Frankfurt/M., 190 S.
- Preissler, G. ve G. Bollrich (1992): *Technische Hydromechanik*. – 3. Auflage, Berlin (Verlag für Bauwesen).

- Rajaratnam, N. ve C. Katopodis (1984): Hydraulics of Denil Fishways. – *Journal of Hydraulic Engineering*, ASCE, 110, 1219-1233.
- Rajaratnam, N., G. van der Vinne ve C. Katopodis (1986). – *Hydraulics of Vertical Slot Fishways*. – *Journal of Hydraulic Engineering*, ASCE, 112 909-927.
- Rouvé et al. (1987): Hydraulische Probleme beim naturnahen Wasserbau. – DFG-Forschungsbericht, Weinheim (VCH Verlagsgesellschaft).
- Ruppert, J. ve H. Späh (1992): Wirksamkeit und fischökologische Bedeutung einer Fischtreppe an der Lippe. – *Wasser und Boden*, 44, 34-36.
- Schauberger, W. (1975): Die räumliche Krümmung von Gefällestufen und Sturzbettenendschwellen. – *Wasser und Boden*, Heft 10.
- Scheuerlein, H. (1968): Der Rauherinneabfluß. – Bericht der Versuchsanstalt für Wasserbau der TU München 14.
- Schua, L. ve R. (1970): *Lebensraum Wasser*. – Stuttgart, 88 S.
- Schwevers, U. ve B. Adam (1991): Ökomorphologische und fischereibiologische Untersuchungen im Gewässersystem der Lahn. – unveröff. Studie im Auftrag des rheinland-pfälzischen Ministeriums für Landwirtschaft, Weinbau und Forsten. 4 Bände, zus. 827 S.
- Schwevers, U. ve B. Adam (1993): Erstellung von Hegeplänen gemäß § 25 ThürFischG. – Hrsg.: Thüringer Ministerium für Landwirtschaft und Forsten, Erfurt, 46 S.
- Siebold, C.T.E. von (1863): *Die Süßwasserfische von Mitteleuropa*. – Leipzig (Wilh. Engelmann).
- SNiP 2.06.07-87 (1987): Wehre, Schiffsschleusen, Fischaufstiegs- und Fischschutzanlagen.- Gosstroj UdSSR. – ZITP Gosstroja UdSSR (in russ.).
- Stahlberg, S. ve P. Peckmann (1986): Bestimmung der kritischen Strömungsgeschwindigkeiten einheimischer Kleinfischarten. – *Wasserwirtschaft* 76, 340-342.
- Steinberg, L. ve B. Lubieniecki (1991): Die Renaissance der Meerforelle (*Salmo trutta trutta* L.) und erste Versuche zur Wiedereinbürgerung des Lachses (*Salmo salar* L.) in Nordrhein-Westfalen. *Fischökologie* 5, 19-33.
- Steinmann, P. (1937): Die Wanderungen unserer sogenannten Standfische in Fluß und Strom. – *Rev. Suisse de Zoologie* 44, 405-409.
- Tent, L. (1987): Der Denil-Fischpaß als Beitrag zum Artenschutz an Fließgewässern. – *Wasser und Boden* 39, 119-123.
- Thompson, S.M. ve P.L. Cambell (1979): Hydraulics of a large channel paved with boulders.– *J. of Hydr. Res., I.A.H.R.*, 17/4, 341-354.
- Tichelbäcker, H. (1986): Der Freiungsritt der Grafen von Jülich entlang der Rur zum Schutze des Laichzuges der Lachse. *Beiträge zur Jülicher Geschichte* 54, 1-15.
- Travade, F. ve M. Larinier (1992): Les techniques de contrôle des passes à poissons. – *Bull. Fr. Pêche Piscic.* 326/327, 151-164.
- Vannote, R.L., G.W. Minshall, K.W. Cummins, J.R. Sedell ve C.E. Cushing (1980): The river continuum concept. – *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 37, 130-137.
- Volz, J. ve S.J. De Groot (1992): Erster Nachweis des Störs (*Acipenser sturio*) im niederländischen Rhein seit 40 Jahren. – *Fischökologie* 6, 3-6.
- Whittaker, J. ve M. Jäggi (1986): Blockschwellen. – Mitt. Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie der ETH Zürich 91.
- Wittmack, A. (1876): *Beiträge zur Fischereistatistik des Deutschen Reiches*. – Circular des Deutschen Fischereivereins, Berlin.



## 9 Kitapta kullanılan semboller ve işaretler çizelgesi

Sembol	Birim	Açıklama
a	m	Denil geçitlerinde saptırıcılar arasındaki mesafe; yarıklı geçitlerde saptırıcı blokun perde duvara göre önde bulunma mesafesi
A	m <sup>2</sup>	Alan, akış kesiti
A <sub>top</sub> , A <sub>ges</sub>	m <sup>2</sup>	Toplam akış kesiti
A <sub>o</sub>	m <sup>2</sup>	Temel alan
A <sub>s</sub>	m <sup>2</sup>	Havuzlu geçitlerde batık orifisin en kesiti; su altındaki cismin ıslak alanı (örneğin, enerji kırıcı kaya)
a <sub>x</sub> , a <sub>y</sub>	m	Enerji kırıcı kayalar arasındaki mesafe; (a <sub>x</sub> ) boyuna yönde, (a <sub>y</sub> ) yanal olarak
b	m	Genişlik, akarsu yatak genişliği
b <sub>a</sub>	m	Denil geçitlerinde saptırıcı kesitinin genişliği; havuzlu geçitlerde çentiklerin genişliği
b <sub>m</sub>	m	Ortalama genişlik
b <sub>s</sub>	m	Havuzlu geçitlerde batık orifisin genişliği; kayalık eşikte (basamaklı rampa) boşlukların genişliği (debi için)
b <sub>so</sub> , b <sub>tab</sub>	m	Taban genişliği
b <sub>sp</sub>	m	Su kütesinin yüzeydeki genişliği
c	m	Yarıklı geçitlerde çengel biçimli çıkıntının uzunluğu
c <sub>1</sub> , c <sub>2</sub>	m	Denil geçitlerinde saptırıcılardaki üçgen kesitin yüksekliği
c <sub>w</sub>	-	Biçimsel sürüklenme katsayısı
d	m	Kalınlık, örneğin substrat tabakasının; havuzlu ve yarıklı geçitlerdeki duvar kalınlığı
d <sub>s</sub>	m	Kaya veya taş çapı
d <sub>90</sub>	m	Kütlenin % 90'ının elekten geçtiği tane çapı
E	W/m <sup>3</sup>	Hacimsel enerji kırılması
f	m	Yarıklı geçitlerde saptırıcı blokun genişliği
Fr	-	Froude sayısı
g	m/s <sup>2</sup>	Yerçekimi ivmesi, g = 9,81 m/s <sup>2</sup>
h	m	Yükseklik veya su derinliği, genellikle asgari su derinliği
h*	m	Denil geçitlerinde tabana dik olarak ölçülen, su yüzeyinden saptırıcı kesitinin alt kenarına kadar olan mesafe
h <sub>a</sub>	m	Havuzlu geçitlerde çentiklerin yüksekliği; Denil geçitlerinde saptırıcıların yüksekliği
h <sub>E</sub>	m	Enerji seviyesi
h <sub>E,min</sub>	m	Asgari enerji seviyesi
h <sub>F</sub>	m	Düşü yüksekliği
h <sub>gr</sub>	m	Sınırlandırıcı derinlik, asgari enerji seviyeli debiler için su derinliği
h <sub>m</sub>	m	Ortalama su derinliği
h <sub>o</sub>	m	Bir baraj, perde duvar veya eşiğin üzerindeki su derinliği (referans seviyeye dikkat edilmelidir!)
h <sub>s</sub>	m	Havuzlu geçitlerde batık orifisin yüksekliği (taban yüzeyinden veya substrat yüzeyinden ölçülen)
h <sub>u</sub>	m	Bir baraj, perde duvar veya eşiğin altındaki su derinliği (referans seviyeye dikkat edilmelidir!)
h <sub>ü</sub>	m	Savak yükü (bazen h <sub>savakyükü</sub> olarak da gösterilir)
h <sub>v</sub>	m	Debilerin sebep olduğu enerji seviye kayıpları
h <sub>w</sub>	m	Havuzlu geçitlerde perde duvarların yüksekliği
I	-	Eğim
k	m	Mutlak pürüzlülük
k <sub>s</sub>	m	Eş değer kum pürüzlülüğü



Sembol	Birim	Açıklama
$l$	m	Uzunluk, mesafe
$l_b$	m	Havuz uzunluğu
$l_u$	m	Islak kanal en kesitinin gerçek uzunluğu
$n$	-	Havuz sayısı
$Q$	$m^3/s$	Debi veya akış
$Q_a$	$m^3/s$	Havuzlu geçitlerdeki çentiklerden geçen debi
$Q_s$	$m^3/s$	Havuzlu geçitlerdeki batık orifislerden geçen debi
$r_{hy}$	m	Hidrolik çap, $r_{hy} = A / l_u$
$s$	m	Yarık geçitlerde yarık genişliği
$V$	$m^3$	Hacim
$v$	m/s	Akış hızı
$v_{gr}$	m/s	Kritik akış derinliğinde akış hızı
$v_m$	m/s	Ortalama akış hızı
$v_{max}$	m/s	Azami akış hızı
$v_s$	m/s	Yarık veya batık orifisteki azami akış hızı
$w$	m	Bent yüksekliği, eşik yüksekliği
$x, y, z$	-	Kartezyen koordinat sisteminde eksenler
$\alpha$	°	Açı
$\Delta h$	m	Su kotu farkı, örneğin havuzlar arasındaki
$\epsilon_v$	-	Hacim oranı
$\epsilon_o$	-	Alan oranı
$\lambda$	-	Darcy-Weisbach bağıntısındaki direnç katsayısı
$\lambda_{top}, \lambda_{ges}$	-	Toplam direnç katsayısı
$\lambda_o$	-	Taban pürüzlülüğünden kaynaklanan direnç katsayısı
$\lambda_s$	-	Enerji kırıcı kayalar veya benzer cisimlerden kaynaklanan direnç katsayısı
$\mu$	-	Taşkın hesaplamasında kullanılan dolusavak katsayısı
$\mu_r$	-	Yarıklı geçitlerdeki debi katsayısı
$\rho$	$kg/m^3$	Yoğunluk (suyun), $\rho = 1000 kg/m^3$
$\rho_s$	$kg/m^3$	Taşın yoğunluğu, $\rho_s \approx 2700 kg/m^3$
$\sigma$	-	Su kabarma katsayısı; kuyruk suyunun etkisi hesaba katılır
$\Psi$	-	Çıkış akışı katsayısı
$\zeta$	-	Kayıp katsayısı

### Hidrolojik bilgiler ve kısaltmalar

Kısaltma	Anlamı
OW	Memba kotu: Bir barajın membaındaki su kotu
UW	Mansap kotu: Bir barajın mansabındaki su kotu
MNW, MNQ	Ortalama asgari su kotu ve ortalama asgari su debisi
MW, MQ	Ortalama su kotu ve ortalama debi
MHW, MHQ	Ortalama azami su kotu ve ortalama azami su debisi
HW, HQ	Azami su kotu ve azami su debisi
$\underline{n}W, \underline{n}Q$	Bir yılda $n$ günde ulaşılamayan su kotu/debisi
$\bar{n}W, \bar{n}Q$	Bir yılda $n$ günde aşılacak su kotu/debisi
HHW, HHQ	Bilinen en yüksek su kotu, bilinen en yüksek debi

## 10 Terimler ve tarifleri

**Abiyotik etkenler:** Biyolojik sistemler ve biyosönozu etkileyen, jeoloji, sıcaklık, su bütçesi gibi canlı olmayan kimyasal ve fiziksel etkenler. – Bkz: *biyotik etkenler*.

**Akış geçişi:** Türbülanslı akıştan laminar akışa (veya tam tersi) geçişteki su derinlik değişimi. Laminardan türbülanslıya geçiş her zaman kararlı iken, türbülanslıdan laminara geçişte genellikle su yüzeyinde hidrolik sıçrama biçiminde düzensizlik görülür.

**Allokton:** Numunenin alındığı ortama yabancı olan canlı organizma veya ölü malzeme. – Bkz: *otokton*.

**Ara boşluk:** Nehir tabanını oluşturan nehir sedimenti içerisindeki veya buna bitişik yerdeki su ile dolu alanlar.

**Bentik bölge:** Bir su kütesinin tabanı. Bentik organizmalar tabanın içerisinde veya üzerinde yaşar. Bu habitatın biyosönozu “bentoz” olarak adlandırılır; tabanda yaşayan omurgasız türlerin biyosönozu ise “bentik omurgasız faunası” olarak adlandırılır.

**Biyosönoz:** Belirli bir yaşam alanındaki (biyotop) canlı bitki ve hayvan topluluğu. – Bkz: *ihiyosönoz*.

**Biyotik etkenler:** Biyolojik sistemleri etkileyen, beslenme, rekabet, parazit vb. gibi yaşam ortamı ile ilgili etkenler. – Bkz: *abiyotik etkenler*.

**Biyotop:** Kendine has çevresel şartları olan canlı bitki ve hayvan topluluklarının bulunduğu alan (habitat).

**Çevirmeli hidroelektrik santral:** Baraj yapısında olduğu gibi, işletilebilir su yükünün çevirme (derivasyon) ile artırıldığı hidroelektrik santral.

**Emme borusu (türbin çıkış borusu):** Hidroelektrik santrallerin tepkili türbinlerinde türbin rotoru ile kuyruk suyu arasında bağlantı sağlayan ve suyun türbinden dışarı çıkışını geciktirerek akışını düşüren huni biçimli açıklık.

**Enerji kırılması:** Suyun boşalma enerjisinden potansiyel ve/veya kinetik enerjinin alınması ve ısıya dönüştürülmesi. – Bkz: *hacimsel enerji kırılması*.

**Ergin:** Cinsel olgunluğa ulaşmış organizma.

**Fitoplankton:** Tatlı veya tuzlu suda pasif olarak hareket eden ve kendi besinini fotosentezle üreten (bir başka deyişle, ototrof olan), çok küçükten küçüğe kadar değişen boyuttaki alg.

**Gabyon:** Başlıca suyun altında ve üzerindeki nehir sevi iksası için kullanılan içi taş dolu küp biçimli tel sepet.

**Habitat:** Bir ekosistem içerisinde bir bitki veya hayvan türünün bulunduğu normal yaşam alanı.

**Hacimsel enerji kırılması:** Balık geçidi havuzlarında birim hacimde kırılan enerji miktarı. Sonraki deşarjlar için hidrolik enerji kalmaz. Bu terim, havuzdaki türbülanslı şartların bir ölçüsüdür. Birimi:  $[W/m^3 \text{ havuz hacmi}]$ . – Bkz: *enerji kırılması*.

**İhtiyosönoz:** Canlı balık topluluğu. – Bkz: *biyosönoz*.

**Invertivor balık:** Suda, havada veya karada yaşayan omurgasızlarla beslenen balık türü. – Bkz: *omurgasızlar*.

**Kelt:** Yumurtasını bıraktıktan sonra denize dönen somon.

**Koku ile yön bulma:** Son derece gelişmiş koku alma duyusu sayesinde birçok balık türünün yönünü belirlemesi.

**Kritik debi:** Bir balık geçidinin boyutlarının tespitinde belirleyici olan birim zamandaki su hacmi. Birimi:  $[m^3/s]$ .

**Omurgasızlar:** Omurgası olmayan hayvanlar için kullanılan ortak terim.

**Otokton:** Numunenin alındığı ortama özgü olan canlı organizma veya ölü malzeme. – Bkz: *allokton*.

**Ototrof:** Organizmanın inorganik maddeyi (mineral,  $CO_2$ ,  $NH_4$ ) organik maddeye dönüştürmek için fotosentezi kullanarak geliştiği, yeşil bitkiler ve birçok mikroorganizmada görülen fizyolojik mekanizmayı niteleyen terim.

**Öritipik:** Çok farklı çevre şartlarına tahammül edebilen ve bu sayede yaşam alanlarını (habitat) değiştirebilen. – Bkz: *stenotipik*.

**Par:** Tatlı suda yaşayan genç somon.

**Pisivor balık:** Diğer balıklarla beslenen balık türü.

**Planktivor balık:** Planktonla beslenen balık türü.

**Populasyon:** Nesiller boyu soyunu üreyerek devam ettiren ve böylece aralarında genetik bağ oluşan, belirli bir yaşama alanındaki bir türün bireylerinin tamamı.

**Savak:** Bir barajın arkasındaki su kütesinin tamamen veya kısmen boşaltılması veya ani taşkınların tahliyesi için kullanılan düzenek.

**Savak kapağı:** Su akışını düzenlemek için bent, rezervuar ve hidroelektrik santrallere kurulan ayarlanabilir özellikli yapısal eleman. Savaklar genellikle, yanlardaki kılavuz yuva içerisinde kayarak veya dönerek hareket eden, dikdörtgen çelik plaklardan yapılmıştır.

**Smolt:** Denize göç eden tipik gümüşü renkli genç somon.

**Stenotipik:** Stenotipik türler, yaşam şartlarındaki değişikliklere çok hassastır. – Bkz: *öritipik*.

**Stok:** Belirli bir yaşam alanında, bir türe ait genetik yönden farklılık gösteren bireylerin oluşturduğu topluluk.

**Taşma jeti:** Serbestçe düşerek veya dolusavak boyunca fışkıran jet olarak geriye akarak, gerçek bir dolusavak üzerinden geçen su jeti.

**Yan geçit:** Su ve organizmaları ana kanal etrafından geçirme yolu. Bu kitapta genel olarak ilave çağırma akıntısı temin vasıtası anlamında kullanılmıştır.

**Yan geçit tipi elektrik santrali, kanal tipi elektrik santrali (eş anlamlı):** Yan geçit tipi elektrik santrali, yan geçit kanalı üzerinde bulunan hidroelektrik santraldir (su, ana nehir yatağından yapay türbin kanalına saptırılır). Genel olarak nehir yatağı, elektrik üretimi amacıyla daha fazla düşü elde etmek için bir yan geçitle yapay olarak kısaltılır. Su, bir yan geçit kanalı vasıtasıyla yataktan alınıp, hidroelektrik santrale iletilir.

**Yönlü akıntı:** Ters akıntıların olmadığı akıntı tipi.

#### Fotoğraflar:

Baumann, A.:	Şekil 4.2
BAWAG:	Şekiller 4.21, 4.26, 4.45
Gebler, R.-J.:	Şekiller 4.33, 4.37, 5.40
Heinrichsmeier, G.:	Şekiller 4.38, 4.39, 4.40, 4.41
Krüger, F.:	Şekiller 2.9, 2.11, 3.1, 3.2, 3.14, 4.9, 4.10, 4.11, 4.17, 4.24, 4.28, 5.7, 5.15, 5.20, 5.25, 5.29, 5.30, 5.36, 5.37, 5.38, 5.39, 6.1
Lippeverband:	Şekiller 5.12, 5.13
Marmulla, G.:	Şekiller 4.29, 4.34
Mathis, R.:	Şekil 2.15
RWE AG:	Şekiller 3.3, 5.11, 5.44
Schaa, W.:	Şekil 4.49
Schwevers, U.:	Şekiller 2.6, 2.7, 2.8, 2.12, 2.13, 5.46, 5.47, 6.2, 6.3
Städtler, E.:	Şekil 4.35
Steidl, J.:	Şekil 4.15
Stolzenburg, H.:	Şekil 2.14
Surhoff, P.:	Şekiller 4.22, 4.36, 5.3
Touschek, A.:	Şekil 4.13

Grafik tasarım F. Krüger ve W. Schaa tarafından yapılmıştır.





Birçok balık türü normal davranışı gereği, hayatlarının belirli dönemlerinde uzun ya da kısa mesafeli göç etmektedir. Bu türlerin en çok bilinenlerine örnek olarak denizden nehirlerdeki yumurtlama alanlarına dönerken binlerce kilometre yol kat eden somon (*Salmo salar*) ve mersin balığı (*Acipenser sturio*) verilebilir. Uzun mesafeli göç eden bu türlerin yanı sıra diğer balıklar ve omurgasızlar da, yaşam döngülerinin belirli aşamalarında nehrin bir bölümünden diğer bölümüne kısa süreli ya da küçük çaplı göçler yapmaktadır.

Su canlılarının nehir kaynağına doğru yolculuğunda önüne çıkan engelleri aşmasını mümkün kılan tek yol balık geçitleri olduğundan, nehirlerdeki balık ve diğer sucul türlerin serbest geçişi için yapılan restorasyon çalışmalarında bu yapıların önemi gittikçe artmaktadır. Dolayısıyla balık geçitleri, akarsuların ekolojik yönden iyileştirilmesi için önemli araçlar hâline gelmiştir. Nehirlerdeki serbest geçişin yeniden temini için bunların etkin bir biçimde çalışması ön şarttır. Bununla birlikte, mevcut yapılarla ilgili çalışmalar bunların birçoğunun gerektiği gibi çalışmadığını göstermiştir. Bu yüzden, mühendis, biyolog ve idareci gibi çeşitli paydaşlar, mevcut en güncel bilgi ve tecrübeyi yansıtan kullanışlı tasarım kriterleri ve talimatlara çok ilgi göstermektedir.

Balık yolları, teknik olarak kullanışlı bir biçimde veya doğayı taklit ederek inşa edilebilmektedir. Yan geçit kanalları ve balık rampaları doğal çözümler arasında yer alırken, teknik çözümler, klasik havuzlu tip geçit, yarıklı geçit, balık asansörü, hidrolik balık eklüzü ve yılan balığı merdivenlerini içermektedir. Ayrıntılı izleme faaliyeti çok önemlidir.