

Yüzeysel Sularda Su Kalitesinin Değerlendirmesi ve İzlenmesi için Biyolojik Bütünlük İndeksi: Balık İndekslerinin Kullanılması

Erdoğan Çiçek^{1*}, Sevil Birecikligil¹

¹*Nevşehir Hacı Bektaş Veli Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Biyoloji Bölümü, Nevşehir*

Öz

Su, canlıların temel bileşeni olması ve tüm canlılık faaliyetlerinde ihtiyaç duyulması nedeniyle Dünyadaki en önemli bileşiktir. Su, bazı canlılar için aynı zamanda yaşamlarının belli bir kısmını veya tamamını geçirdikleri ideal bir yaşam ortamıdır. Günümüz Dünyasında bir milyara yakın insanın temiz içme suyuna sahip olmadığı ve 2,5 milyar civarındaki insanın ise kullandıkları su kaynaklarında hijyen ve sanitasyon sorunu olduğu tahmin edilmektedir. Yenilenebilir bir kaynak olan suyun sürdürülebilir kullanımının sağlanması sadece miktarının değil kalitesinin de korunması ile mümkündür. Ekosistem kalitesinin değerlendirilmesinde ve izlenmesinde Biyotik İndekslerin kullanımı yakın bir geçmişe sahipken önemi gün geçtikçe artmaktadır. Balıklar bu indekslerde önemli indikatör organizmalar olarak düşünülmektedir. Türkiye’de biyolojik indekslerin kullanımı henüz başlangıç aşamasında olup balıkların biyolojik element olarak kullanıldığı indeksler henüz uygulanmamıştır.

Anahtar Kelimeler: Biyotik Bütünlük İndeksi, Balık Biyotik İndeksi, Biyoindikatör, Su Yönetimi, Su Kalitesi

Index of Biotic Integrity for Evaluation and Monitoring of Water Quality: Using Fish Biotic Integrity Index

Abstract

Water is most important compounds in the world due to the main component of living and needed activities in all of life. Water is also an ideal living environment they spend a certain part or all of their life for some creatures. Today nearly billion people do not reach to a with clean drinking water and around 2.5 billion people have hygiene and sanitation problems of the water they use is in the world. Ensuring the sustainable use of renewable water resources, which is possible with the protection of the quality of not only the quantity. The importance of ecosystem quality assessment and monitoring the use of a biotic index is increasing day by day while the recent past. Fishes are considered as an important indicator organisms in this index. The use of biological indices in Turkey is still in its early stages indexes are used as biological elements of the fish is not yet implemented.

Keywords: Index of Biotic Integrity, Fish-based Biotic Integrity Index, Bioindicator, Water Management, Water Quality

* e-mail: erdogancicek@nevsehir.edu.tr

1. Giriş

Canlı yapılarının sıvı bileşeni olan su canlı varlıkların metabolik olayları için gerek duyulan ve bu nedenle de canlı yaşamı için hayati öneme sahip olan bir bileşiktir. Yaşamın devamlılığı için Dünyada bulunan bileşiklerden hiç birisi su kadar önemli değildir [1]. Su aynı zamanda pek çok canlı için ideal yaşam ortamı olup hayatını kısmen veya tamamen doğrudan sucul habitata bağlı olarak geçiren pek çok canlı türü bulunmaktadır. Bu nedenle, günümüzde suyun korunması, iyileştirilmesi ve sürdürülebilir bir şekilde yönetiminin sağlanması, insanlığın en önemli sorunlarının başında gelmektedir.

Günümüz Dünyasında bir milyara yakın insanın içme suyuna erişimde büyük sıkıntı çektiği ve 2,5 milyar civarındaki insanın ise kullandıkları su kaynaklarında hijyen ve sanitasyon sorunu olduğu tahmin edilmektedir [2]. Tüm dünyada ülkeler sürdürülebilir gelişim takvimlerinin merkezine sürdürülebilir su yönetimini yerleştirmişlerdir [3, 4]. Çünkü suyun veya sağlıklı suyun olmadığı yerde gelişmeden söz etmek pek mümkün değildir. Sağlıklı ve güçlü ekosistemler aynı zamanda gelecekte suyun sürdürülebilir bir şekilde sağlanmasının da temelini oluşturur. Bu nedenle nehir havzaları, ormanlar, sulak alanlar vb. gibi sağlıklı ekosistemler sağlıklı suyun teminatıdır.

Geleneksel su kalitesi izleme programları, kimyasal izlemeye odaklanmış olsa da, son dönemde su kalitesi yöneticileri ekosistem koşulları hakkında önemli bilgiler sağlayan biyolojik değerlendirmelere giderek daha fazla güven duymaktadırlar. Su kalitesi belirleme yöntemlerinden kimyasal analizlerle sudaki anlık (akut) durum tespiti yapılabilirken, biyolojik elementlerin kullanıldığı yöntemler örnekleme yapılan anın yanı sıra, kullanılan canlı elementine bağlı olarak, belirli bir süre önceki geçmişte sucul habitatın maruz kaldığı etkiler (kronik) hakkında bilgi sahibi olmamızı da sağlarlar. Suyun genel durumunu karakterize etmek için biyolojik materyallerin kullanımının en önemli avantajı, canlıların bir bölgedeki stres kaynaklarının tarihsel geçmişini de çok iyi bir şekilde yansıtmalarıdır. En çok kabul gören biyolojik değerlendirme yaklaşımlarından birisi, bir durum göstergesi olarak değerlendirilen ve çoklu ölçüm uygulaması olarak bilinen Biyotik Bütünlük İndeksleridir (Index of Biotic Integrity-IBI). Biyotik indeks ilk kez Dr. James Karr tarafından doğal kaynakların yönetimine yardımcı olmak üzere geliştirilen bir izleme ve değerlendirme yöntemi olarak kullanılmıştır [5]. Biyotik indeksler Amerika Birleşik Devletleri (ABD)'nde Temiz Su Yasası (Clean Water Act) çerçevesinde pek çok uygulama alanı bulmuştur [6, 7]. Zaman içerisinde biyolojik izleme ve değerlendirme, yüzey sularının kimyasal, fiziksel ve biyolojik bütünlüğünü korumak ve iyileştirmeyi de içeren su kaynakları yönetiminin önemli bir bileşeni haline gelmiştir. Bugün IBI yüzey sularının biyolojik bütünlüğünde meydana gelen değişikliklerin tespit edilmesinde kullanılan pek çok ortama uyarlanabilir etkili bir araç olarak düşünülmektedir [8].

Biyolojik bütünlük bölgenin doğal yaşamına adapte olmuş, belirli bir tür kompozisyonuna, çeşitliliğe ve fonksiyonel organizasyona sahip komünitelerin dengeli, birbirine bağlı ilişkilerinin ve dengesinin devamlılığını sağlama ve destekleme yeteneği olarak tanımlanmaktadır [9]. IBI yaklaşımı, yüksek kaliteye sahip bozulmamış kaynakları korumak, tehdit altındaki habitatlar için gelecekteki olası bozulmaların önüne geçmek ve bozulmuş bölgeleri iyileştirmek amacıyla [10-12] su yönetimi programları dahilinde çeşitli bölgeler ve taksonomik gruplar için adapte edilmiştir [13].

2. Biyotik İndekslerin Türkiye’de Kullanımı

İlk olarak Karr [5] tarafından geliştirilmiş ve ABD’de kullanılmış olan IBI daha sonraki yıllarda ABD’de pek çok eyalet ve farklı su havzalarına adapte edilerek kullanılmıştır [6, 7, 14]. IBI’nın yüzey sularının kalite göstergesi olarak kullanımından başarı sağlanması ile birlikte başta gelişmiş ülkeler olmak üzere pek çok ülke kendi koşullarına göre adapte ederek indeksler geliştirmişlerdir [14-18]. Günümüzde su kalitesi göstergesi olarak biyolojik elementlerin kullanımı, tek başına kimyasal yöntemlerin kullanılmasına göre daha güvenilir ve kullanışlı olarak değerlendirilmekte ve tercih edilmektedir. 1986 yılında ABD Çevre Koruma Ajansı (Environmental Protection Agency, EPA), Su Yönetim Birimi (Assistant Administrator for Water) tarafından Yüzey Suyu İzleme: Değişim İçin Bir Çerçeve (Surface Water Monitoring: A Framework for Change) isimli bir protokol hazırlamış ve biyolojik izlemenin nasıl yapılacağı ile ilgili bir metodoloji ortaya konmuştur [19].

ABD Temiz Su Yasasının amaçları ile paralel bir şekilde Avrupa Birliği (AB) tarafından da 2000 yılında AB Su Çerçeve Direktifi (The EU Water Framework Directive, WFD) hazırlanarak yürürlüğe girmiştir. Bu direktif su kalitesi, su miktarı ve habitat rolleri yönünden sucul ekosistemlerin kalitesinin korunması için ekosistem temelli yaklaşımın izlendiği bir direktiftir. Bu direktif ile 2015 yılına kadar birliğe üye tüm ülkelerin yüzey sularının iyi kaliteye ulaştırılması amaçlanmıştır. Ancak, Avrupa’daki su kütlelerinin neredeyse yarısının WFD hedefini tutturamayacağı ve 2015’te halen zayıf ekolojik statüde yer alacağı tahmin edilmektedir [20].

Türkiye’de su kalitesi göstergesi olarak biyotik yaklaşımın kullanılmasıyla ilgili öncül çalışmalar üniversitelerdeki akademik çalışmalarla başlatılmıştır [21-23]. Takip eden yıllarda Türkiye’de suyun kimyasal özellikleri ile canlıların dağılımı ve bolluğu arasındaki ilişkilerin belirlenmesi ile su kalitesi hakkında değerlendirme yapılmaya dönük çalışmalara sıkça rastlanmaya başlanmıştır [24-31]. Özellikle fitoplankton ile ilgili çalışmalarda suyun kimyasal özellikleri ile fitoplanktonik organizmaların dağılımı, bolluğu ve mevsimsel değişimleri açıklanmaya çalışılmıştır. Bunun yanı sıra canlıların dağılımı ile ilgili yapılan çalışmalarda suyun kirlilik yüküne bağlı değerlendirmeler yapıldığı ve buna bağlı olarak yorum yapılarak karar verildiği görülmüştür [28, 29, 32]. Bunun yanı sıra kimyasal değişkenler ile sucul canlıların dağılımı arasındaki ilişkiyi açıklamak için istatistiksel yöntemlere de başvurulmuştur [33-35].

Son yıllarda ise doğrudan farklı ülkeler ve bölgeler için geliştirilmiş olan indekslerin Türkiye’de uygulandığı çalışmalara rastlanmaya başlanmıştır. Bu çalışmalar daha çok planktonik organizmalar ve makro bentik omurgasızlara dayalı olarak yapılmıştır [30, 36-40].

Türkiye’de suyun kimyasal özelliklerine bağlı olarak balık faunasının durumunun değerlendirildiği çalışmaların oldukça sınırlı olduğu görülmüştür [41, 42]. Balıklara dayalı biyolojik bütünlük indeksleri (Fish-based Index of Biotic Integrity, FIBI) Dünyanın farklı ülkelerinde başarılı bir şekilde uygulanmakta iken, Türkiye’de biyolojik element olarak balıkların kullanıldığı herhangi bir indeks çalışmasına rastlanmamıştır.

Türkiye’de yapılmış olan ve yukarıda sözü edilen tüm bu çalışmalarda da ya herhangi bir biyotik indeks kullanılmadığı ya da mevcut indekslerin (Belçika İndeksi, Saprobi İndeksleri vb. gibi) uygulanması olduğu görülmüştür [38]. Şu ana kadar Türkiye’ye özgü herhangi bir canlı grubu için geliştirilmiş herhangi bir indeks bulunmamakla birlikte Kazancı ve ark. [43] tarafından BMWF indeksi

Türkiye'ye adapte edilerek dağılım gösteren türlerin de skor tablosuna eklenmesi suretiyle öncül bir indeks uygulaması (Yeşilirmak-BMWP) yapılmıştır.

Avrupa Birliği'ne uyum süreci kapsamında Avrupa Birliği Su Çerçeve Direktifi'nin gereklerinin karşılanması Çevre Faslı'nın en önemli amaçlarından birisidir. Orman ve Su İşleri Bakanlığı, Su Yönetimi Genel Müdürlüğü bünyesinde yürütülmeye başlanan projeler ile su kalitesinin izlenmesi ile ilgili önemli bir aşama kaydedilmiş ve bilgi birikimi sağlanmış durumdadır. Bu projeler ve birikim ile Türkiye'ye özgü indeksler geliştirilerek ya da mevcut indekslerin adapte edilerek kullanılması ile Türkiye'de yüzey sularının iyi bir şekilde yönetilmesi mümkün hale gelebilecektir.

3. Balıkların Biyotik İndeks Materyali Olarak Kullanımı

IBI kapsamında planktonik organizmalar, makrofitler, makrobentik omurgasızlar ve balıklar bir akarsuyun biyolojik bütünlüğünü değerlendirmek için kullanılan biyolojik elementlerdir. Balıklar aktif hareketli canlılar olmaları nedeniyle çevresel bozulmalara buldukları bölgeyi terk ederek tepki verdiklerinden iyi birer indikatör organizma olarak düşünülebilir [44]. Biyotik indeks çalışmalarında, canlı elementi olarak balıkların kullanılmasının pek çok avantajı bulunmaktadır [45]. Bunlar;

- Balıkları örneklemek ve tür seviyesine kadar tanımlama yapmak, diğer canlı grupları ile kıyaslandığında, nispeten daha kolaydır.
- Balıklar uzun ömürlü canlılar olduklarından uzak geçmişte bile gerçekleşmiş olan çevresel bozulmalar için önemli bir göstergedirler.
- Balıklar hemen hemen tüm sucul ortamlarda ve çok çeşitli habitatlarda bulunabilmektedirler.
- Balıklar değişik biyolojik ihtiyaçları için karmaşık göç davranışları geliştirmiş olup çevresel bozulmalarda göç kesintiye uğrayabilir.
- Farklı türlerin ekolojik toleransları birbirinden büyük farklılık gösterebilmektedir.
- Bir bölgeyi işgal eden balık toplulukları çok farklı besinlerle beslenmekte olup, genellikle farklı trofik seviyedeki türlerden oluşur.
- Balıklar sucul ekosistemde besin zincirinin en üstünde yer alırlar.
- Balıklar ekonomik öneme sahip oldukları için dağılımları, biyolojik özellikleri, üremeleri, habitat özellikleri vb. gibi konular üzerinde yapılmış pek çok çalışma ve veri bulunmaktadır.
- Balıkların zehirli (toksik) maddelere karşı gösterdikleri tepkiler kolaylıkla gözlemlenebilir.
- Balıklarda büyüme ve stoğa katılım çevresel stres kaynaklarına karşı oldukça duyarlıdır.

Balıkların biyotik indeks çalışmalarında kullanılmasının avantajlarının yanı sıra bazı dezavantajları da bulunmaktadır. Bunlar ise;

- Etkin ve güvenli bir örnekleme yapmak için daha fazla ekipman, zaman, para ve iş gücüne ihtiyaç duyulmaktadır.
- Göç hareketi yanıltıcı veriler toplanmasına neden olabilir.
- Örnekleme yerinin yanlışlığı daha fazladır. Örneğin kullanılan av aracına bağlı olarak ortaya çıkan seçicilik önemli bir sorundur.
- Uzun süreli bir çalışma gerektirir (en az 3 yıl).

İndeks çalışmaları sırasında çalışma alanı içerisinde dağılım gösteren balıkların bazı biyolojik özellikleri, farklı biyolojik özelliklere sahip olan türlerin balık topluluğu içerisindeki oransal bulunurlukları göz önüne alınmaktadır. İlk olarak Karr [5] tarafından kullanılmış olan orijinal IBI Ölçeği aşağıdaki 12 maddeden oluşmuştur [45]. Bunlar;

1. Toplam tür sayısı: Biyocoğrafik bölge, akarsu boyutu ve mevsimlere bağlı olarak belirlenen toplam tür sayısının bir ölçüsüdür. Sağlıklı bir su ortamında aynı bölgeyi paylaşan, çeşitli nişleri işgal etmiş farklı trofik seviyelerde çok sayıda tür dağılım gösterir. Su ortamında meydana gelen kalite bozulmalarıyla birlikte bölgede dağılım gösteren tür sayısında da azalma görülür.

2. Ortamdaki hassas bentik türlerinin sayısı: Çevresel bozulmalara karşı toleransı bulunmayan bentik balık türlerinin sayısıdır. Bu türlerin bulunma oranının yüksek olması ortamın sağlıklı olduğunu gösterirken balık topluluğu içerisindeki oranlarının düşük olması ise çevresel bozulmaya işaret etmektedir. Akarsu yatağında beslenmek ve üremek için özel gereksinimlere sahip olan türlerin sayısı bentik habitatların bozulmasına duyarlı olan türlerin sayısında azalmaya sebep olur. Akarsu yatağının kanal haline getirilmesi, siltasyon ya da çözünmüş oksijendeki azalmalar gibi sebepler bentik habitatların koşullarının bozulmasına sebep olur. Siltasyonun böcekçil bentik türlerin sayısında azalmalara da sebep olduğu bilinmektedir.

3. Su rejimindeki değişikliklere karşı hassas olan türlerin sayısı: Akarsuyun havuzlanmasındaki değişikliklere karşı hassas olan durgun suyu seven türlerdir. Su rejimine bağlı olarak su seviyesindeki değişiklikler, akarsu yatağı ve buna bağlı olarak özellikle yatağın kıvrımlı bölgelerinde ortaya çıkan havuzlanma alanlarında yaşayan türler üzerinde etkiye sahiptir. Bu nedenle bu türlerin sayısal ve oransal bulunurlukları su rejimindeki düzensizliklerin göstergesi olarak düşünülebilir.

4. Uzun ömür uzunluğuna sahip türlerinin sayısı: Çevresel bozulmalara karşı hassas olan ömür uzunluğu fazla olan türlerdir. Bu türler yaşamları boyunca ortamda meydana gelen her türlü değişikliğe maruz kalır ve bu değişikliklere karşı tepki gösterirler. Uzun ömürlü türlere mensup yaşlı bireylerin ortamda bulunması ortamın sağlıklı bir geçmişe sahip olduğunun bir göstergesi olarak düşünülebilir. Buna karşın bu bireylerin ortamda bulunmaması veya çok az miktarda bulunması ile söz konusu alanın örnekleme anında veya geçmişte çevresel bozulmaya maruz kaldığına karar verilir.

5. Çevresel bozulmalara karşı yüksek hassasiyetli türlerin sayısı: Değişik çevresel değişkenlerdeki bozulmalara karşı yüksek hassasiyete sahip türlerdir. Hassas (hoşgörüsüz) türler çevresel koşullarda meydana gelen bozulmalardan ilk olarak etkilenen türler arasında yer alırlar. Bozulmaya maruz kalan alanlarda özelleşmiş habitat isteklerine sahip olan türlerin sayısı azalırken, toleransı yüksek dirençli türlerin oransal miktarında artış görülür.

6. Toleranslı türlerinin tür kompozisyonu içerisindeki oranı: Su kalitesi ve habitat değişikliklerine karşı dayanıklı (toleranslı) türlerin toplam tür kompozisyonu içerisindeki oranıdır. Çevresel bozulmalardaki artışa bağlı olarak balık topluluğu içerisindeki toleranslı taksonlara ait bireylerin oransal bulunurluklarında artış görülür. Hoşgörüsüz türler bozulmaya maruz kalmış akarsu ortamlarında daha az yaygın hale gelirken, hoşgörülü türlerin bollukları göreceli olarak artar ve sonuçta baskın takson haline gelirler.

7. Omnivor türlerin tür kompozisyonu içerisindeki oranı: Bozulmaya maruz kalmış ortamlarda özelleşmiş besin gruplarıyla beslenen türlerin sayısı azalırken, omnivorların sayısında artış görülür.

8. Böcekçil Cyprinidlerin tür kompozisyonu içerisindeki oranı: Özelleşmiş besinlerle beslenen türlerin oransal bulunurluğu, ortamda yeterli miktarda omurgasız besin kaynaklarının varlığına işaret etmektedir.

9. Karnivor türlerin tür kompozisyonu içerisindeki oranı: Üstün yırtıcılar, farklı besinlerle beslenen türlerin bulunduğu ekosistemlerde, belirli bir denge içerisinde bulunurlar. Sağlıklı bir ekosisteme sahip ortamda karnivor türlere ait büyük boyutlu bireylere sıklıkla rastlanırken, sağlıksız ortamlarda bu türlere rastlanmaz, rastlansa bile miktar ve boyut olarak küçüktürler.

10. Birim alan (m^2) başına düşen balık sayısı: Toplam ürün miktarının bir ölçüsüdür. Avlanan balık sayısı avcılık yapılan bölgenin yüzey alanı ile karşılaştırılarak birim alan başına düşen birey sayısı hesaplanır. Birim alan başına düşen balık sayısının düşük olması ortamda stres varlığının bir göstergesidir.

11. Hibrit türlerin oranı: Habitatta meydana gelen bozulmalar üreme seçiliminin düşmesine sebep olur. Balıkların üreme davranışlarında meydana gelen değişimler, genetik biyoçeşitlilik için istenmeyen bir durum olan farklı türler arasında döllenmeye sebep olarak hibrit bireylerin ortaya çıkmasına neden olur.

12. İskelet bozuklukları, tümörlü, yüzgeç deformasyonlu ve hastalıklı bireylerin oranı: Sağlıklı ortamlarda yaşayan bireylerde sağlık sorunlarının ortaya çıkma olasılığı oldukça düşük düzeydedir. Toksik kirleticiler ve habitatlarda meydana gelen diğer olumsuzluklar bu tip sağlıksız bireylerin oranlarının artışı da beraberinde getirir.

IBI'nın kabul görebilerek kullanılmaya başlamasıyla birlikte zamanla bazı araştırmacılar tarafından bu 12 farklı kriter üzerinde bazı modifikasyonlar yapılmıştır [46]. Bu çalışmalarda IBI'nın kullanılacağı bölge, ülke, akarsuyun büyüklüğü, tür kompozisyonu vb. gibi özelliklere bağlı olarak kriterlerin sayısında ve niteliğinde değişiklik yapılarak modifiye edildiği görülmüştür. Farklı çalışmalarda yukarıdaki 12 kriterden farklı olarak ilaveten aşağıdaki kriterlerin de kullanıldığı görülmüştür.

1. Ortamdaki yerli türlerin sayısı: Örneklem alanındaki türler orijinlerine göre sınıflandırılır. Tür zenginliği kavramı ekolojik sistemlerin kalitesini değerlendirmek için yaygın olarak kullanılmaktadır. Pek çok durumda, belirli bir alanda belirli miktarda tür çeşitliliğini destekleyen ortam koşullarında meydana gelen bozulmalar bu alandaki türlerin sayısında da azalmaya sebep olur. Kirlilik veya diğer insan kaynaklı etkilere karşı hassas olan türlerin sayısı habitat çeşitliliğinin azalmasına bağlı olarak düşüş gösterir. Egzotik türlerin ortama girmesi bazen tür sayısını artırıcı etki yapabilir. Özellikle insan etkisinin yüksek düzeyde olduğu ortamlarda egzotik türler nedeniyle biyoçeşitlilikte artış görülmektedir. Ancak bu artış ekosistemler için olumsuzluğa işaret eder.

2. Birim alan (m^2) başına biyokütle (g): Avcılık yapılan bölgenin yüzey alanı başına düşen biyokütle (g) hesaplanır. Biyokütle gibi biyokütlenin hesaplanması da ortamın üretkenliğinin belirlenmesini amaçlar. Birey sayısına göre daha kullanışlı olduğu ileri sürülse de bazı istisnai durumlarda kullanılması sakınca doğurabilir. Ortam koşullarında meydana gelen bozulmaya bağlı olarak biyoçeşitliliğin azaldığı, tek bir beslenme grubunun ve/veya türün baskın hale geldiği ortamlarda

biyokütle yanıltıcı bir şekilde çok yüksek çıkabilir. Aynı durum istilacı bir türün ekosistemi kendi lehine değiştirerek baskın hale geldiği durumlarda da söz konusu olabilir.

3. Ortamda litofil yumurtlayan türlerin sayısı: Litofilik türler yumurtalarını bırakmak için taşlı ve çakıllı alanları tercih ederler. Bu türler başta siltasyon gibi kirlilik unsurlarına maruz kalmamış temiz substrata sahip alanlara ihtiyaç duyarlar. Akarsu yatağının tabanında meydana gelen olumsuz değişimler ve siltasyon, bu türlerin üreme başarılarını düşüreceğinden ve/veya üreme başarısızlığına neden olacağından tür kompozisyonu içerisindeki oransal bulunurluklarının azalmasına sebep olur. Bu nedenlerle litofilik türler, pelajik yumurtlayan veya fitofilik türler gibi diğer yumurta bırakma şekillerine sahip olan türlere oranla, çevresel değişimlere karşı çok daha fazla hassastırlar.

4. Reofilik tür sayısı: Hızlı akıntılı akarsu bölgelerini yaşam alanı olarak kullanan türlerdir. Bu türlerin su rejiminin kesintiye uğramadığı, hızlı akan sucul ortamları tercih ettiklerinden bu türlerin bulunması ortamın sağlığının bir göstergesi olarak düşünülebilir. Bunun yanı sıra hızlı akıntılı sucul habitatların kendini yenileyebilme kapasiteleri de yüksek olarak düşünülebilir.

5. Uzun mesafeli göç eden tür sayısı: Tuzlu su ve tatlı su ortamları gibi farklı sucul habitatlar arasında uzun mesafeli göçler gerçekleştiren bazı alabalık türleri gibi anadrom ve yılan balığı gibi katadrom türleri ifade eder. Bu türlerin ortamda bulunması göç hareketlerini yaptıkları bölge boyunca, göçlerinin etkileyecek veya engelleyecek bir çevresel bozulmanın söz konusu olmadığı şeklinde yorumlanabilir.

6. Potamodrom tür sayısı: İç su habitatlarında akarsu boyunca ve göl ile akarsu arasında göç hareketi gerçekleştiren türler. Bu tip türlerin göç hareketlerini sorunsuz bir şekilde gerçekleştirmeleri göçlerine engel teşkil edecek bir çevresel bozulmaya maruz kalınmadığının göstergesi olarak değerlendirilebilir.

Bazı balık türleri üreme, kışlama ve beslenme gibi biyolojik ihtiyaçlarını sucul ortamda farklı habitatlarda gerçekleştirir. Bu amaçla farklı sucul habitatlar arasında uzun veya kısa mesafeli göç hareketi gerçekleştirirler. Antropolojik etkilere bağlı olarak meydana gelen fiziksel, kimyasal vb. gibi bozulmalar göç hareketinin sekteye uğramasına, gecikmesine ve hatta gerçekleşmemesine sebep olabilmektedir. Buna bağlı olarak bazı türler ortamda seyrek hale gelmekte ve/veya tamamen yok olmaktadır. Balıkların göç davranışlarını herhangi bir engelle karşılaşmadan yapabilmeleri ortamın en önemli sağlık göstergesi olarak düşünülebilir. Bunun yanı sıra yapılan göçün mesafesine bağlı olarak göç güzergahı boyunca da bir değerlendirme yapmaya olanak sağlar.

Herhangi bir bölgede balık biyotik indeksinin uygulanması amacıyla yukarıda belirtilmiş olan kriterlerden ilgili alan için uygun olanlar aynen veya adapte edilerek seçilmelidir. Bu bağlamda ne kadar farklı değişken ele alınırsa karar vermenin o kadar kolay ve isabetli olacağı ileri sürülebilir. Ancak her bir değişkenin çalışmaya getireceği yük ile sağlayacağı katkının göz önünde bulundurulması da gereklidir. Minimum değişken ile ulaşılabilecek doğru sonuçlar emek, zaman ve paradan tasarruf ettirebileceği gibi izleme programlarının da kolay ve etkin bir şekilde sürdürülebilmesine de katkı sağlayacaktır.

Kullanılacak kriterlere karar verildikten sonra her bir kriterin altında ölçeklendirmeyi sağlamak amacıyla skor aralıklarının belirlenmesi gerekmektedir. İndeks uygulanacak alana göre bu skor aralıkları farklı farklı belirlenmelidir. Teorik olarak belirlenmiş bir skor tablosu söz konusu değildir. Belirlenen skor aralıklarına göre her bir kriter için ilgili alanın aldığı puanlar değerlendirilerek, alanın ekolojik

kalitesi hakkında bir sonuca varılarak, ortamın ekolojik seviyesi (1) çok iyi, (2) iyi, (3) orta, (4) zayıf ve (5) çok kötü şeklinde belirlenir [47].

3.1. Balıkların Beslenme Özelliklerine Göre Sınıflandırılması

Balıkların trofik olarak sınıflandırılmaları biyolojik değerlendirmeler açısından oldukça yararlı ve en çok kullanılan biyolojik özelliktir. Örneğin, bir yerde belli bir beslenme şekline sahip türün başka türlere oranla baskın hale gelmesi, bu türlerin besin kaynaklarının azalması veya kirleticilerin potansiyel zararlı etkilere maruz kalmış olmanın bir işareti olarak düşünülebilir. Buna karşın farklı besinlerle beslenen türlerin bir arada dengeli bir dağılım sergileyerek bulunması sağlıklı bir su ortamının temel göstergelerinden birisidir. Ayrıca balıkların yaşam döngüleri boyunca beslenme şekillerinde büyük değişiklikler görülebilmektedir. Çevresel bozulmaya bağlı olarak besin maddelerindeki azalma balığın yaşam döngüsünün belirli bir döneminde olumsuzluk ortaya çıkartabilir. Farklı kaynaklarda balıklar beslenme şekillerine göre farklı şekillerde sınıflandırılırlar. Biyotik indeks açısından balıklar beslenme şekillerine göre aşağıdaki şekilde sınıflandırılmıştır [41].

Piscivor (Piscivores): Balıklarla beslenenler.

Herbivor (Herbivores): Bitkisel organizmalarla beslenenler.

Omnivor (Omnivores): Bulabildiği her türlü besinle beslenenler.

Insektivör (Insectivores): Böceklerle beslenenler.

Süzücüler (Filter feeders): Solungaç filamentlerinden geçirdikleri sudaki planktonları süzerek beslenenler.

Bentivor (Invertivores): Böcekler, yumuşakçalar ve kabuklular gibi bentik omurgasızlarla beslenenler.

Generalist: Hem balıklar ve hemde makroomurgasızlarla beslenenler.

4. Sonuç

İlk olarak Karr [5] tarafından geliştirilmiş ve ABD’de kullanılmış olan IBI daha sonraki yıllarda ABD’de pek çok eyalette su havzalarına adapte edilerek kullanılmıştır. IBI’nın yüzey sularının kalite göstergesi olarak kullanımından başarı sağlanması ile birlikte başta gelişmiş ülkeler olmak üzere pek çok ülke kendi koşullarına adapte edilmiş indeksler geliştirmişlerdir. Günümüzde su kalitesi göstergesi olarak biyolojik elementlerinin kullanımının, tek başına kimyasal yöntemlerin kullanılmasına göre daha güvenilir ve kullanışlı oldukları kabul edilmekte ve sıklıkla tercih edilmektedir. Bu bağlamda biyotik indeks çalışmalarında balıkların sucul habitatlardaki kalite değişimlerinin belirlenmesinde biyolojik element olarak kullanılmasının önemli katkılar sağlayabileceği açıkça ortadadır. Türkiye’de su kalitesi göstergesi olarak biyotik indeks çalışmaları üniversitelerdeki akademik araştırmalarla başlatılmıştır. Buna karşın, şu ana kadar Türkiye’ye özgü, ne balıklar için ne de diğer biyolojik elementler için geliştirilmiş bir indeks bulunmamaktadır.

Orman ve Su İşleri Bakanlığı, Su Yönetimi Genel Müdürlüğü bünyesinde yürütülmeye başlanan projeler ile su kalitesi izleme, su tipolojilerinin belirlenmesi, havza bazlı su yönetimi ile ilgili olarak önemli aşamalar kaydedilmiş ve belli bir bilgi ve veri birikimi sağlanmış durumdadır. Önümüzdeki dönemler itibarıyla Türkiye’ye özgü plankton, bentik omurgasızlar, sucul bitkiler ve balıklara dayalı biyotik indekslerin geliştirilmesi ile Türkiye’de yüzey sularının sürdürülebilir yönetimi mümkün olacaktır.

5. Kaynaklar

- [1] Tanyolaç Z., “Limnoloji (Tatlı Su Bilimi)”, *Hatipoğlu Yayınları*, Ankara, 290s, 2009.
- [2] Roaf V., (Editor) “Good Practices in Realising the Rights to Water and Sanitation”, *UN Publication*, Textype, Lisbon, 223p, 2012.
- [3] Zandaryaa S., (Editor) “Water in the post-2015 development agenda and sustainable development goals”, *UNESCO International Hydrological Programme*, Paris, 11, 2014.
- [4] United Nations., “Prototype Global Sustainable Development Report”, *Online unedited edition. New York: United Nations Department of Economic and Social Affairs, Division for Sustainable Development*, 1 July 2014. <http://sustainabledevelopment.un.org/globalsdreport/>, 2014.
- [5] Karr J.R., “Assessment of biotic integrity using fish communities”, *Fisheries*, 6, 21-27, 1981
- [6] Roth N.E., Southerland M.T., Chaillou J.C., Kazyak P.F., Stranko S.A., “Refinement and Validation of a Fish Index of Biotic Integrity for Maryland Streams”, *Maryland Department of Natural Resources, Maryland*, 68p, 2000.
- [7] MPCA., “Development of a fish-based Index of Biological Integrity for assessment of Minnesota’s rivers and streams”, Document number wq-bsm2-03. *Minnesota Pollution Control Agency, Environmental Analysis and Outcomes Division, St. Paul, MN.*, 2014
- [8] Ruaro R., Gubiani E.A., “A scientometric assessment of 30 years of the Index of Biotic Integrity aquatic ecosystems: Applications and main flaws”, *Ecological Indicators*, 29, 105-110, 2013.
- [9] Karr J.R., Dudley D.R., “Ecological perspective on water quality goals”, *Environmental Management*, 5, 55-68, 1981.
- [10] Simon T.P., Lyons J., “Application of the Index of Biotic Integrity to evaluate water resource integrity in freshwater ecosystems”, Chapter 16 in Davis and Simon. *Bioassessment and criteria: Tools for water resources planning and decision making. Lewis Publishers, Boca Raton, Florida*, 1995.
- [11] Barbour M.T., Gerritsen J., Griffith G.E., Frydenborg R., McCarron E., White J.S., Bastian M.L., “A framework for biological criteria for Florida streams using benthic macroinvertebrates”, *Journal of the North American Benthological Society*, 15, 185-211, 1996.
- [12] Weisberg S. B., Ranasinghe J.A., Dauer D. M., Schaffner, L. C., Diaz R. J., Frithsen J.B., “An estuarine benthic index of biotic integrity (B-IBI) for the Chesapeake Bay”, *Estuaries*, 20, 149-158, 1997.
- [13] Yoder C.O. Rankin. E.T., “Biological criteria program development and implementation in Ohio”, in W.S. Davis and T.P Simon (editors). *Biological assessment and criteria: Tools for water resource planning and decision making*. Lewis Publishers, Boca Raton, Florida, 1995.
- [14] Frank H., McCormick, F.H., Hughes R.M., Kaufmann P.R., Peck D.V., Stoddard, J.L., Herlihy, A.T., “Development of an Index of Biotic Integrity for the Mid-Atlantic Highlands Region” *Transactions of the American Fisheries Society*, 130, 857-877, 2001.
- [14] Harris J.H., Silveira R., “Large-scale assessments of river health using an Index of Biotic Integrity with low-diversity fish communities”, *Freshwater Biology*, 41, 235-252, 1999.

- [15] Breine J., Simoens I., Goethals P., Quataert P., Ercken, D., Van Liefferinghe C., Belpaire C., “A fish-based index of biotic integrity for upstream brooks in Flanders (Belgium)”, *Hydrobiologia*, 522, 133-148, 2004.
- [16] Pinto B.C.T., Araújo F.G., “Assessing of Biotic Integrity of the Fish Community in a Heavily Impacted Segment of a Tropical River in Brazil”, *Brazilian Archives of Biology and Technology*, 50, 489-502, 2007.
- [17] Schmutz S., Cowx I.G., Haidvogel G., Pont D., “Fish-based methods for assessing European running waters: a synthesis”, *Fisheries Management and Ecology*, 14, 369-380, 2007.
- [18] Zhu D., Chang J., “Annual variations of biotic integrity in the upper Yangtze River using an adapted index of biotic integrity (IBI)”, *Ecological Indicators*, 8, 564-572, 2008.
- [19] Barbour M.T., Gerritsen B.D., Snyder B.D., Stribling J.B., “Rapid Bioassessment Protocols for Use in Streams and Wadeable Rivers: Periphyton, Benthic Macroinvertebrates, and Fish - Second Edition. EPA 841-B-99-002. US. Environmental Protection Agency, Office of Water, Washington D.C., 1999.
- [20] EEA., European Environment Agency., “European waters-assessment of status and pressures”, EEA Report No 8/2012, 96 pp. file:///C:/Users/ekin/Downloads/European %20waters%20-%20assessment%20of%20status%20and%20pressures.pdf, 2012.
- [21] Kazancı N., Girgin S., Dügel M., Oğuzkurt D., “Akarsuların Çevre Kalitesi Yönünden değerlendirilmesinde ve İzlenmesinde Biyotik İndex Yöntemi”, *Türkiye İç suları Araştırma Dizisi: II*, Ankara, 100s, 1997.
- [22] Kazancı G., Girgin S., “Distribution of Oligochaeta species as bioindicators of organic pollution in Ankara stream and their use in biomonitoring”, *Turkish Journal of Zoology*, 22, 83-87, 1998.
- [23] Kazancı G., Dügel M., “An evaluation of the water quality of Yuvarlakçay stream, in the Köyceğiz-Dalyan protected area, SW Turkey”, *Turkish Journal of Zoology*, 24, 69-80, 2000.
- [24] Duran M., Tuzen M., Kayım M., “Exploration of biological richness and water quality of stream Kelkit, Tokat-Turkey”, *Fresenius Envir. Bull.*, 12, 368-375, 2003.
- [25] Dügel M., Kazancı N., “Assessment of water quality of the Büyük Menderes river (Turkey) by using ordination and classification of macroinvertebrates and environmental variables”, *Journal of Freshwater Ecology*, 19, 605-612, 2004.
- [26] Duran M., “Monitoring water quality using benthic macroinvertebrates and physicochemical parameters of the Behzat Stream (Tokat, N TURKEY)”, *Polish Journal of Environmental Studies*, 15, 709-717, 2006.
- [27] Duran M., Suiçmez M., “Macroinvertebrate fauna and ecological quality of the Stream Çekerek (N. Turkey)”, *Journal of Environmental Science*, 28, 213-236, 2007.
- [28] Kalyoncu H., Yorulmaz B., Barlas M., Yıldırım M.Z., Zeybek M., “Aksu Çayı'nın Su Kalitesi ve Fizikokimyasal Parametrelerinin Makroomurgasız Çeşitliliği Üzerine Etkisi”, *Fırat Üniv. Fen ve Müh. Bil. Dergisi*, 20, 23-33, 2008.
- [29] Çiçek N.L., Ertan Ö.O., “Köprüçay Nehri Epilitik Alg Çeşitliliğinin Bazı Fizikokimyasal Değişkenlerle İlişkisi”, *Eğirdir Su Ürünleri Fakültesi Dergisi*, 8, 22-41 2012.

- [30] Arslanargun H, Çelekli A., Topyürek A., Gültekin E., Bozkurt H. Soysal Ç.A., “Gaziantep İli Karkamış-Nizip Bölgesi Filamentli Alglerin Ekolojik Özellikleri ve Biyomarkır Potansiyelleri”, *VI. Ulusal Limnoloji Sempozyumu*, 25-28 Ağustos, 2014, Bursa, 2014.
- [31] Kazancı N., Ekingen P., Türkmen G., Ertunç Ö., Dügel M., Gültutan Y., “Assessment of ecological quality of Aksu Stream (Giresun, Turkey) in Eastern Black Sea Region by using Water Framework Directive (WFD) methods based on benthic macroinvertebrates”, *Review of Hydrobiology*, 3, 165-184, 2010.
- [32] Sukatar A., Yorulmaz B., Ayaz D., Barlas M., “Emiralem Deresi'nin (İzmir-Menemen) Bazı Fiziko-Kimyasal ve Biyolojik (Bentik Makroomurgasızlar) Özelliklerinin İncelenmesi” *Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 10, 328-333, 2006.
- [33] Kazancı N., Öz B., Dügel M., Ertunç Ö., Türkmen, G., “First faunistic survey and canonical correspondance analysis of interstitial aquatic insect assemblages of running waters in Turkey”, *Review of Hydrobiology*, 2, 1-10, 2009.
- [34] Çelekli A., Öztürk B., Kapı M., İlgün G., “Alleben Göleti (Gaziantep) Fitoplankton Kompozisyonu ve Limnoekolojik Özelliklerinin Çok Yönlü Analizler ile Değerlendirilmesi”, *V. Ulusal Limnoloji Sempozyumu*, 27-29 Ağustos 2012, Isparta, 2012.
- [35] Kazancı N., Gökçe D., Dügel M., “Multivariate analysis of phytoplankton assemblages in Beyşehir Lake (Turkey) as a tool of water quality monitoring and management”, *Review of Hydrobiology*, 2, 45-56, 2009.
- [36] Kalyoncu H., Gülboy H., “Benthic Macroinvertebrates from Daniören and Isparta Streams (Isparta/Turkey) - Biotic Indices and Multivariate Analysis”, *Journal of Applied Biological Sciences*, 3, 100-107, 2009.
- [37] Kalyoncu H., Barlas M., Ertan Ö.O., “Aksu Çayı'nın Su Kalitesinin Biotik İndekslere (Diyatomlara ve Omurgasızlara Göre) ve Fizikokimyasal Parametrelere Göre İncelenmesi, Organizmaların Su Kalitesi ile İlişkileri”, *Türk Bilim Dergisi*, 2, 46-57, 2009.
- [38] Zeybek M., Kalyoncu H., “Köprüçay Nehri'nde Biyotik İndeksler ile Çeşitlilik İndekslerinin Karşılaştırmalı Olarak İncelenmesi”, *Eğirdir Su Ürünleri Fakültesi Dergisi*, 8, 42-50, 2012.
- [39] Kalyoncu H., Şerbetçi B., “Applicability of Diatom-Based Water Quality Assessment Indices in Dari Stream, Isparta-Turkey”, *World Academy of Science, Engineering and Technology*, 1891-1899, 2013.
- [40] Zeybek M., Kalyoncu H., Karakaş B., Özgül S., “The use of BMWP and ASPT indices for evaluation of water quality (according to macroinvertebrates) in Değirmendere Stream (Isparta, Turkey)”, *Turkish Journal of Zoology*, 38, 603-613, 2014.
- [41] Dirican S., Barlas M., “Dipsiz ve Çine (Muğla-Aydın) Çayı'nın Fiziko-Kimyasal Özellikleri ve Balıkları”, *Ekoloji*, 14, 25-30 2005.
- [42] Akbulut B., “Çoruh Nehri'nde Bulunan Balık Türlerinin Sıcaklık, Oksijen, Besin ve Habitat İstekleri Üzerine İncelemeler”, *Artvin Çoruh Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, 10: 29-36, 2009.
- [43] Kazancı N., Türkmen G., Ekingen P., Başören Ö., “Preparation of a biotic index (Yeşilirmak-BMWP) for water quality monitoring of Yeşilirmak River (Turkey) by using benthic macroinvertebrates”, *Review of Hydrobiology*, 6, 1-29, 2013.

- [44] Champ W.S.T., Kelly F.L., King J.J., “The Water Framework Directive Using Fish as a Management Tool”, *Biology and Environment: Proceedings of the Royal Irish Academy*, 109, 191-206, 2009.
- [45] Grabarkiewicz J., Davis W., “An introduction to freshwater fishes as biological indicators”, EPA-260-R-08-016. U.S. Environmental Protection Agency, Office of Environmental Information, Washington, DC, 2008.
- [46] Simon T.P., Emery E.B., “Modification and assesment of an index of biotic integrity to quantify water resource quality in great rivers”, *Regulated Rivers: Research and Management*, 11: 283-298, 1995.
- [47] FAME CONSORTIUM, “Manual for the application of the European Fish Index - EFI. A fish-based method to assess the ecological status of European rivers in support of the Water Framework Directive”, Version 1.1, January 2005.