



Bu Dosya
<https://ziraatweb.com>'dan
İndirilmiştir.

Eğer bu dosya size aitse ve kaldırılmasını istiyorsanız lütfen ziraatweb.com adresinde bulunan "İletişim" kısmından bize bildirin. Bize bildirilmeyen dosyalar konusunda sorumluluk kabul etmiyoruz.

[ders notları](#)

Mail Adresimiz: iletisim@ziraatweb.com

İnstagram Adresimiz: [@ziraatweb](#) Forum Adresimiz: [Forum](#)



Milletimiz çiftçidir. Milletin çiftçilikteki çalışma imkanlarını, asri ve iktisadi tedbirlerle en yüksek seviyeye çıkarmalıyız.

Mustafa Kemal ATATÜRK

Balık Üretiminde Su Kalitesi

Prof. Dr. Serap Pulatsü

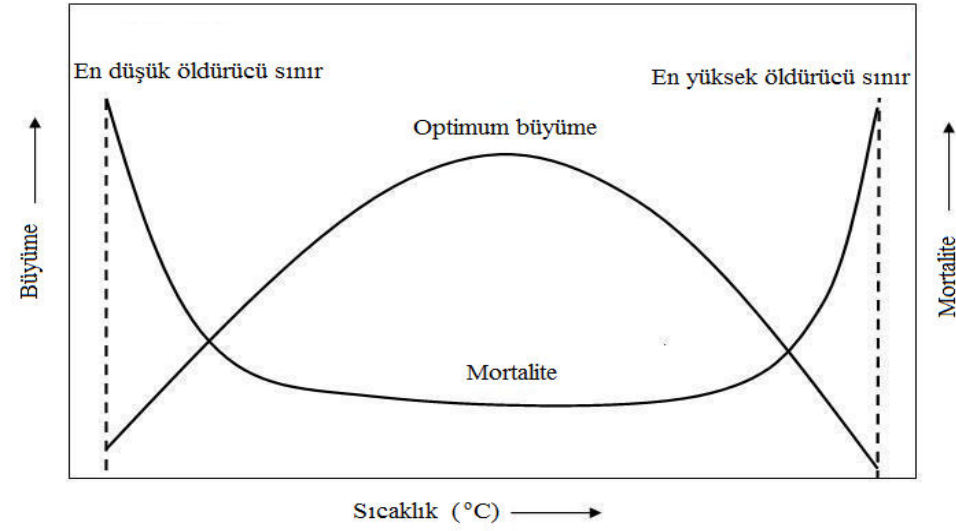
SU KALİTE ÖZELLİKLERİ

- Su sıcaklığı

- Su sıcaklığı, balıklar üzerinde etkisi en önemli olan ve yetiştiriciliği yapılacak türün pazar ağırlığına ulaşma süresini belirleyen su kalite özelliğidir. Su sıcaklığına adaptasyon; balığın yaşına, mevsime ve fizyolojik şartlara bağlıdır. Su sıcaklığı, balıkların solunum hızı, yem değerlendirme oranı, büyüme, davranış ve üreme gibi fizyolojik işlemlerini büyük ölçüde etkiler. Su sıcaklığındaki 10 °C'lik bir artış, kimyasal ve biyolojik reaksiyonlarda iki veya üç katlık artışa sebep olur. Örneğin, balıkların 30 °C'de tükettikleri oksijen 20 °C'de tükettikleri oksijenden iki-üç kat fazladır, bu nedenle balıkların çözünmüş oksijen gereksinimleri ılık sularda soğuk sulara göre daha fazla kritik önem taşır.

- Balıklar, gereksinim duydukları optimum su sıcaklığına göre soğuk su balıkları ($\leq 15^{\circ}\text{C}$), ılık su balıkları (15-24 $^{\circ}\text{C}$) ve sıcak su balıkları ($\geq 25^{\circ}\text{C}$) olarak adlandırılır. Balıkların buldukları ortamlarda su sıcaklığı değişimleri kademeli olmalı ve bir gün içerisinde birkaç dereceyi aşmamalıdır; bir dakikadaki 0,9 $^{\circ}\text{C}$ 'den fazla su sıcaklığı değişimleri balıklarda termal (ısısal) sıcaklık şoku ve ölüme neden olmaktadır. Ayrıca balıkların taşıma ve stoklama sularında sıcaklık farkı 2 $^{\circ}\text{C}$ 'den fazla olmamalı, 5 $^{\circ}\text{C}$ 'den fazla ani değişimlere ise izin verilmemelidir (Lawson 1995).

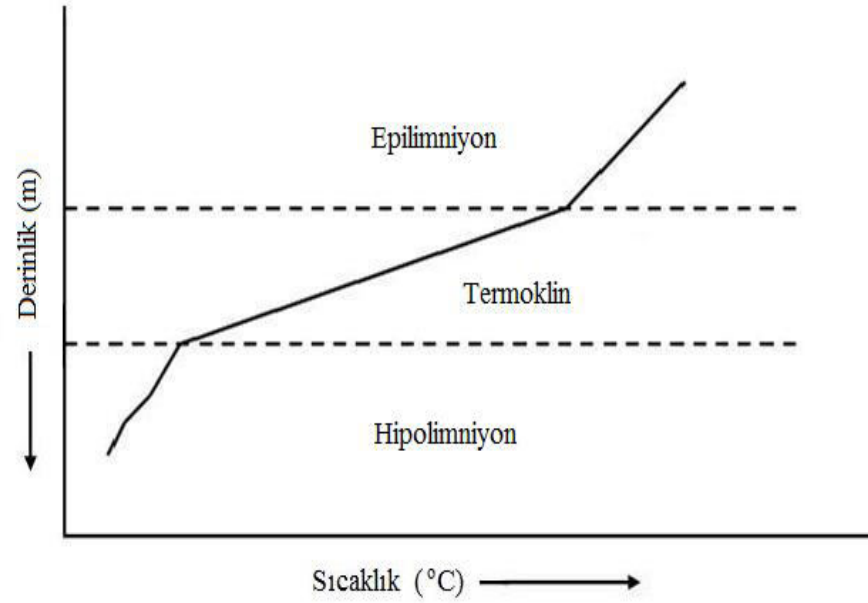
- Balıklar poikiloterm (soğukkanlı) omurgalılarıdır; vücut sıcaklığı pasif olarak ortam suyu sıcaklığına uyum sağlar. Türe uygun olmayan su sıcaklığı veya su sıcaklığındaki yüksek ve ani sapmalar balıklar için stres faktörü oluşturur. Bazı balık türleri yavaş gerçekleşen su sıcaklığı değişimlerine uyum sağlarken (eurytherm), bazı türlerin su sıcaklığı değişimlerine toleransı daha fazladır (stenotherm). Her bir balık türü, su sıcaklığı ve balık büyüklüğü ile değişen karakteristik büyüme eğrisi ve optimum büyüme oranına sahiptir (Lawson 1995) (Şekil 2.1).



Şekil 2.1. Balık büyümesi ve su sıcaklığı arasındaki ilişki (Lawson 1995)

- Su sıcaklığı, oksijenin sudaki çözünürlüğü başta olmak üzere diğer tüm su kalite özelliklerinin birbiriyle etkileşimini belirler. Daha yüksek sıcaklıklar daha az çözünmüş oksijen içerirken su sıcaklığı arttıkça, amonyak ve ağır metallerin zehirliliği artmaktadır.
- Yetiştiricilik yapılan sudaki istenmeyen sıcaklık artışları; balıklarda davranış değişikliklerine yol açar; denge kayıpları ve solungaç fonksiyonlarında (solunum sayısında yükselme) sorun oluşturur. Aynı zamanda kanın oksijen taşıma kapasitesi düşer. Su sıcaklığının düşmesi ise metabolizma sorunlarına neden olur. Su sıcaklığının 15 °C'nin altına inmesi metabolizmayı etkin şekilde sınırlandırır. Örneğin; ılık su balıklarında 15 °C'nin altında yem alımı azalır, 10 °C'nin altında ise hemen hemen durur. Düşük su sıcaklığının ilk stres reaksiyonları, çoğunlukla denge kaybı ve ani oluşan kramp benzeri hareketler olup, osmoregülasyon fonksiyonunda da bozukluklar ortaya çıkar.

- Su sıcaklığı balık havuzlarındaki termal tabakalaşmadan sorumludur ve suyun belirgin katmanlara ayrılmasını sağlar. Daha sıcak olan yüzey tabakası epilimniyon, daha az yoğun olan alt tabaka hipolimniyon, su sıcaklığının hızlı değişim gösterdiği ve epilimniyon ile hipolimniyon arasında yer alan ince tabaka ise termoklin olarak adlandırılır (Şekil 2.2). Ilıman kuşakta yer alan havuzlarda bahar aylarında oluşan tabakalaşma, sonbahar mevsimine kadar sürebilir. Sığ havuzlarda termoklin tabakası, yüzey ve alt katman arasında oksijen değişimini engellediğinden, balıklar termoklinin üst tabakasında yoğunlaşır ve su sütunu tümüyle kullanılamayabilir. Su karıştırıcıları ve havalandırıcılar termal tabakalaşmanın bozulmasında etkindir (Lawson 1995).



Şekil 2.2. Balık havuzlarında termal tabakalaşma (Lawson 1995)

- Yoğunluk

- Sudaki bütün maddelerin yoğunluğu su sıcaklığına bağlıdır. Soğuk sular sıcak sulara oranla daha yoğundur ve bu durum derinlik arttıkça azalır. Saf su +4 °C'de en yüksek yoğunluğa (1,0 g/cm³) sahiptir. Bu sıcaklığın altında yoğunluk tekrar yavaş yavaş azalır. Su 0 °C civarında donar ve buz olarak suda yüzer. Bu özellik ise soğuk iklimlerde de sudaki organizmalara yaşama olanağı sağlar. Sular yüzeyden derine doğru donar ve böylece tabanla yüzey arasında yeterli derinlikte su tabakası oluşur. Böylece derin su katmanlarında +4 °C ya da daha yüksek su sıcaklığında buz oluşamayacağından, balıkların kış aylarını geçirebilecekleri kısmen sıcak sudan oluşan doğal bir sığınak ortamı oluşur.

- Deniz yüzeyinde su yoğunluğu, suyun sıcaklığına ve tuzluluğuna bağlı olarak 1,020 - 1,029 kg/m³ arasında değişebilir. Deniz suyunun en önemli özelliklerinden biri olan yoğunluk, türbülans, tabakalaşma ve suyun dikey doğrultudaki hareketlerini etkiler. Saf su 0 °C'de donarken, deniz suyu -1,4 °C'de donar; deniz suyu (tuzluluk 24.7 g/L) maksimum yoğunluğa -1,4 °C'de ulaşır (Lawson 1995).

- Renk

- Sucul ekosistemlerde renk yüzeyde dağılan güneş ışığının spektral yapısına dayanır. Işığın çeşitli dalga boyları, suya eşit biçimde nüfuz etmez. Güneş ışığının hiç nüfuz etmediği çok derin sularda yaşayan balıklar, genellikle koyu renklidir ve çoğu lüminesans gösterir. Balıkların renkleri, gözlerinin büyüklüğü ve yeri, lüminesans organlarının bulunup bulunmaması, diğer duyu organlarının gelişme derecesi gibi morfolojik özelliklerin çoğu ortamdaki ışığın özellikleriyle ilgilidir. Işık ayrıca balıkların hareketlerini ve göçlerini düzenler, üreme zamanını belirler ve büyüme oranı üzerine etki eder.

- Deniz suyu çeşitli yapı ve boyutta askıda organik, inorganik ve çözünmüş maddeleri içerir. Bu maddelerin varlığı deniz suyunun optik özelliğine etkiyerek ışık geçirgenliğini azaltır. Pratikte suların ışık geçirgenliği (berraklık) Secchi Diski ile ölçülmektedir. Disk suya daldırılarak gözden kaybolduğu ve görünür olduğu derinliğin ortalaması alınarak cm cinsinden okunur. Diskin gözden kaybolduğu derinlik ışık şiddetinin % 5'i kadardır. Çok kirli sularda berraklık 1 m'nin altındadır (genellikle 20-30 cm) (Tanyolaç 2009).
- Sucul ortamlarda humik maddelerin bulunması suyun renginin kırmızımsı, demir içeren humik maddeler ise sarı renk almasına yol açar. Balık havuzları gibi yüksek verimlilikteki suların rengi, ortamda fazla miktarda bulunan fitoplankton türlerinin rengine bağlıdır (örneğin; yeşil alglerin yoğun olduğu durumda suyun rengi yeşil olur). Verimsiz sular ise mavimsi renkte ve oldukça berraktır. Çözünmüş oksijendeki olası eksiklikler suyun rengindeki değişimlerden saptanabilir (Lawson 1995).

- Bulanıklık

- Sucul ortamlarda ışık geçirgenliğinin bir ölçütü olan bulanıklık, askıda katı maddelerden kaynaklanır. Askıda katı maddeler çözünmemiş halde bulunan 0,45 mikrondan büyük katı maddelerdir. Bulanıklık (türbidite), türbidimetre (bulanıklık ölçer) denilen ve birimi Nephelometric Turbidity Unit (NTU) olan cihaz yardımıyla ölçülebilir. Suyun bulanıklığı, havuzlarda ve ağ kafeslerde yapılan yetiştiricilikte balığı doğrudan etkiler. Askıda katı maddelerin birikimi ve sudaki renk değişimi kapalı dolaşımli sistemlerde de balıkları olumsuz etkileyerek, hastalanmalarına neden olur. Balıklarda istenmeyen tat oluşturan bazı askıda katı maddeler filtrasyonla sudan uzaklaştırılmalıdır (Buttner et al. 1993).

a) Toprak partiküllerinden ileri gelen bulanıklık

- Sudaki bu tür bulanıklık, güneş ışınlarının suya geçişini azaltacağından filamentli algler ve su bitkilerinin aşırı gelişmesini önler; sudaki ışık azlığı primer prodüktiviteyi de azaltacağından balıkların beslenmesinde eksikliklere yol açabilir. Ayrıca askıda katı maddelerin, balıkların solungaç filamentlerinde tıkanmalara neden olarak solunumda olumsuz etkiler yaratması söz konusudur.

b) Organik kaynaklı bulanıklık

- Suda yüzen katı maddeler; genellikle organik kökenli olup su bitkileri, ölmüş hayvansal organizmalar, arıtılmamış atık sulardan gelen kanalizasyon kaynaklı maddeler ile biyoendüstri atıklarından oluşur. Bunların tamamı doğal kökenli olduklarından fiziksel ve biyokimyasal parçalanma sonucunda çözünmüş bileşikler veya onların son ürünleri haline dönüşür. Bu olay esnasında atmosferden suya oksijen difüzyonu yeterli olmazsa, suda oksijensiz (aneorobik) bir ortam oluşur.

c) Planktonik bulanıklık

- Sularda yeterli miktarda plankton olduğunda suyun rengi koyulaşarak bulanık bir görünüm alır. Planktonik bulanıklık sularda plankton gelişiminin işaretidir. Secchi Diski kullanarak ölçülen ışık geçirgenliği değerleri ile plankton gelişimi arasında önemli bir ilişki bulunur. Işık geçirgenliği değerleri 30-60 cm arasında ise, plankton gelişiminin yeterli olduğu, ışık geçirgenliği 30 cm'den az ise oksijen yetersizliğinin olduğu söylenebilir. Işık geçirgenliği 60 cm'den fazla ise ışık derinlere nüfuz edeceğinden su altı bitkilerinin gelişimi hızlanır ve balıklar için besin azalır.

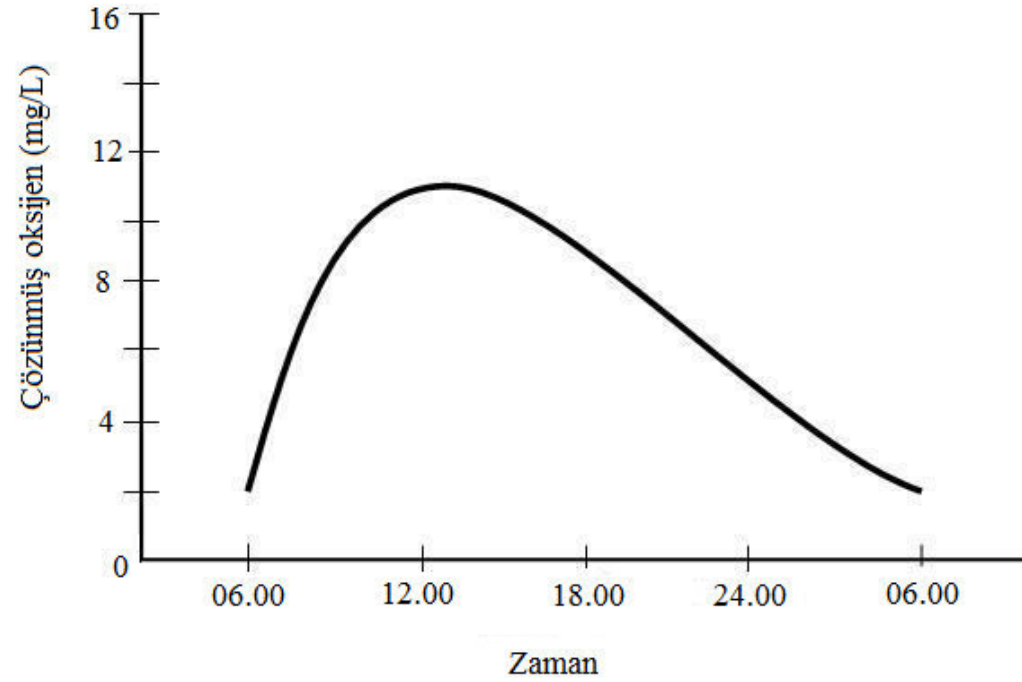
- Çözünmüş oksijen

- Sudaki çözünmüş oksijen miktarı, su ürünleri üretimini etkileyen en önemli kalite özelliklerinden biridir. Sıcak ortamlardaki en büyük oksijen kaynağı olan atmosfer % 21 oranında oksijen gazı içerir ve atmosferik oksijenin suda çözünürlüğü oldukça yavaştır. Suyun sıcaklığı ve tuzluluğu arttıkça oksijenin sudaki çözünürlüğü azalır (Çizelge 2.1).

Çizelge 2.1. Farklı su sıcaklığı ve tuzluluk değerlerinde oksijenin çözünürlüğü (Boyd 2001a)

Sıcaklık (°C)	Tuzluluk (‰)					
	0	5	10	20	30	35
20	9,08	8,81	8,56	8,06	7,60	7,38
25	8,24	8,01	7,79	7,36	6,95	6,75
30	7,54	7,33	7,14	6,75	6,39	6,22
35	6,93	6,75	6,58	6,24	5,91	5,61

- Durgun su havuzlarında çözünmüş oksijenin başlıca kaynaklarından biri, fitoplanktonun fotosentezle ürettiği oksijendir. Suda bulunan çözünmüş oksijen, fitoplankton dahil sudaki organizmaların solunumları ve atmosfere geçişi ile tükenir. Havuzlarda çözünmüş oksijen miktarı gün içerisinde değişim gösterir. Oksijen miktarındaki günlük dalgalanmalar, plankton gelişimi yoğun olan havuzlarda daha belirgindir. Sabah güneş doğduğunda en az olan oksijen miktarı, akşamüstü saatlerinde (yaklaşık saat: 18.00) en fazla olup sabaha kadar giderek azalır (Şekil 2.4) (Boyd 2001a).



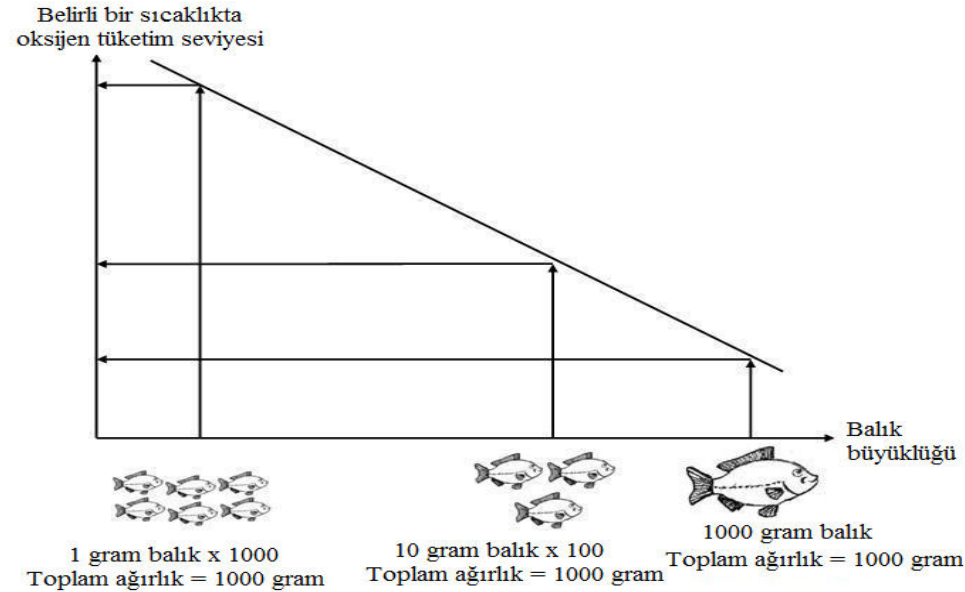
Şekil 2.4. Yoğun plankton gelişimi olan havuzlarda çözülmüş oksijenin gün içerisindeki değişimi (Boyd 2001a)

- Genel olarak ılık su balıklarının gereksinim duydukları en düşük çözünmüş oksijen konsantrasyon değeri 5 mg/L, soğuk su balıkları için 6 mg/L'dir. Bu nedenle kanal veya tanklarda çıkış suyundaki oksijen konsantrasyonunun da en az 5 mg/L olması istenir. Çözünmüş oksijen miktarının düşük olması, balıkları öldürmese bile parazitlere ve hastalıklara dayanma gücünü azaltır. Düşük oksijen konsantrasyonlarında, bütün balıklarda yem alımı durur, aktivite azalır ve alınan oksijen yaşama payı ihtiyaçları için kullanılır (Buttner et al. 1993).

Çizelge 2.2. Ilık su balıklarında çözünmüş oksijen konsantrasyonunun genel etkileri (Boyd 2001a)

Çözünmüş oksijen (mg/L)	Etki
< 0,5	Küçük balıklar yaşayabilir.
0,5-1,5	Birkaç saat ya da günlük maruz kalmada birçok tür ölür.
1,5-5,0	Birçok tür hayatta kalır, ancak oluşan stres hastalıklara karşı dayanıklılığı azalttığından yavaş büyüme gözlenebilir.
> 5	İstenen konsantrasyon

- Balıkların oksijen tüketimi su sıcaklığına, balık stok büyüklüğüne ve toplam ağırlığına bağlı olarak değişir. Aynı türdeki küçük balıklar aynı türün büyük olanlarına göre birim ağırlık başına daha çok oksijen tüketir (Anonymous 2008a) (Şekil 2.5).



Şekil 2.5. Belirli su sıcaklığında balık büyüklüğüne bağlı oksijen tüketimi (Anonymous 2008a)

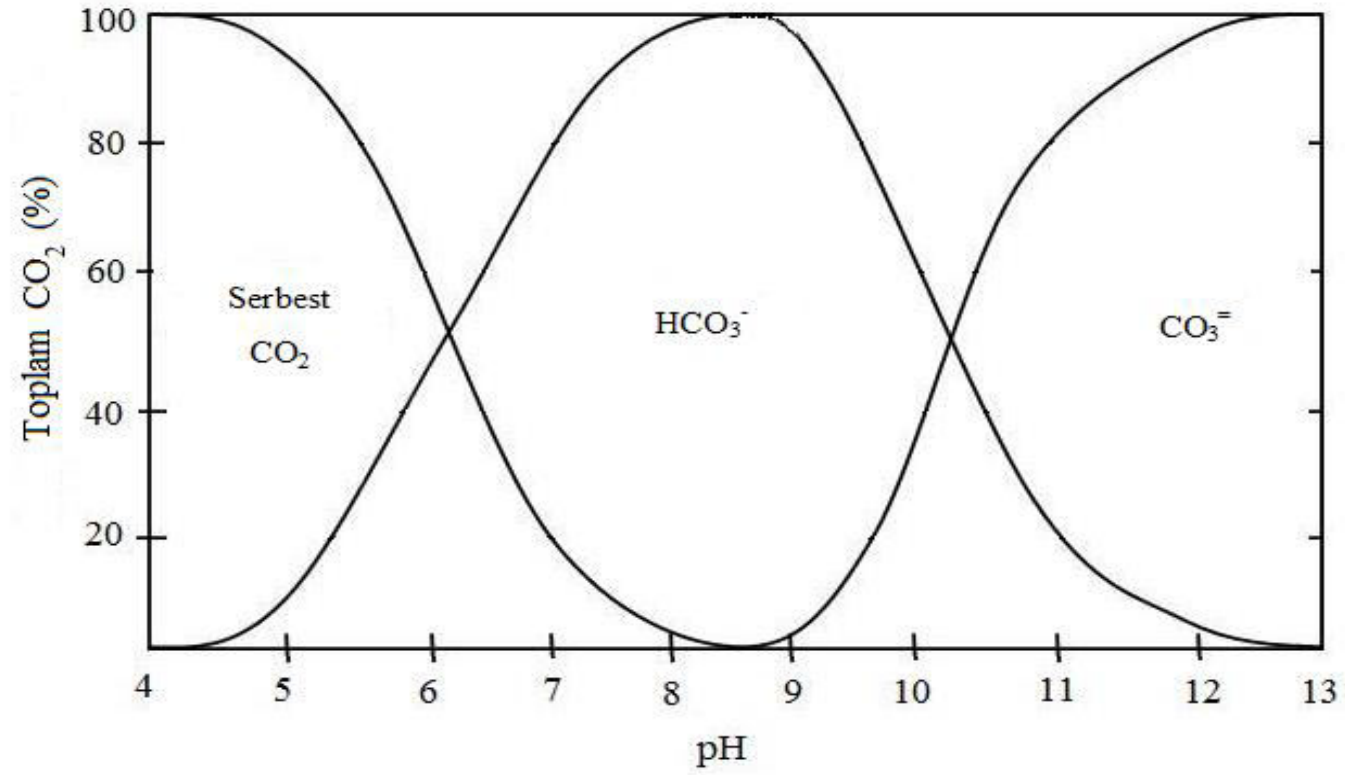
(Anonymous

- Biyokimyasal oksijen ihtiyacı

- Yetiştiricilik yapılan sulardaki organik kirlenmenin bir ölçüsü olan biyokimyasal oksijen ihtiyacı, organik maddelerin aerobik şartlarda bakteriler tarafından parçalanması için gerekli olan oksijen miktarı olarak tanımlanır. Suyun biyokimyasal oksijen ihtiyacı değerinin alabalıkların yetiştiriciliğinde 3,0 mg/L, sazangiller içinse 6,0 mg/L'den küçük olması istenir (Atay ve Pulatsü 2000).

- pH

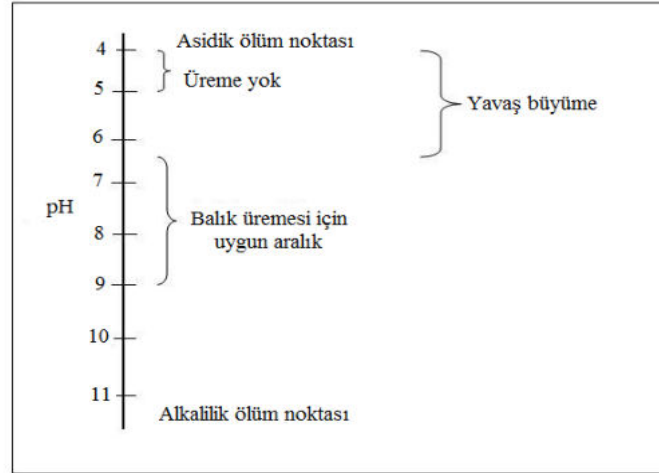
- Sulara hidrojen iyonu derişiminin ölçüsü olan pH; bir bileşikteki hidrojen iyonu konsantrasyonunun negatif logaritması olarak tanımlanır ve matematiksel olarak $\text{pH} = -\log [\text{H}^+]$ şeklinde ifade edilir. Suların pH değerleri 0-14 arasında değişir; hidrojen iyonları yoğunluğunun artması pH'nın düşmesine, hidrojen iyonlarının azalması veya hidroksit iyonlarının artması ise pH'nın yükselmesine neden olur. Buna göre oluşturulan pH cetvelinde pH= 0-7 asidik, pH= 7-14 bazik, pH= 7 nötr'dür. Bir suyun pH'sı suda erimiş olarak bulunan karbonat, bikarbonat ve serbest karbondioksit derişimine bağlıdır. Serbest karbondioksit (CO_2) sadece pH 5'in altında olduğu zaman, bikarbonat iyonları (HCO_3^-) pH 7-9 arasında çoğunlukta iken, karbonat iyonları ($\text{CO}_3^{=}$) ise pH 9,5-10'dan sonra önem kazanır (Şekil 2.6).



Şekil 2.6. Toplam karbondioksit fraksiyonlarının pH ile ilişkisi (Wetzel 1983)

- Su kütlesinde pH düzeyi mevsimlere ve günün farklı zaman dilimlerine göre değişim gösterir. Fitoplankton ile yüksek yapılı sucul bitkiler, fotosentez sırasında sudaki karbondioksiti kullandıklarından suların pH değerleri gündüz yükselir gece ise düşer. Ayrıca sucul ortama ilişkin değişiklikler de (asit yağmurları, kirlenme, solunum, organik maddenin parçalanması gibi) pH değerlerinde değişime yol açar (Lawson 1995).
-
- Sucul ortamlarda pH değerindeki bir birimlik değişim, hidrojen iyonları yoğunluğunda 10 katlık bir değişimi ifade ettiğinden, yetiştiricilik esnasında suyun pH'sında en fazla 0,3 birimlik değişimlere izin verilir. Karbondioksitle doymuş suyun pH'sı; sıcaklık, tuzluluk ve alkaliniteye bağlı olarak değişir. Doğal sularda pH kimyasal ve biyolojik sistemler açısından önemli bir faktördür. pH değişiklikleri ile zayıf asit ve bazlar ayrışabilir. Bu ayrışma birçok bileşiğin (amonyak, hidrojen sülfür, hidrojen siyanür, ağır metaller vb.) zehirliliğini etkiler (Svobodova et al. 1993).

- Balık yetiştiriciliği açısından uygun pH aralığı 6-9'dur. pH değerleri bu aralığın dışında olduğunda balığın büyümesi yavaşlar, 4,5'in altında ve 10'un üzerindeki pH seviyelerinde ölüm gözlenir (Buttner et al. 1993). Yetiştiriciliği yapılan balık türlerinden levrek için optimum pH aralığı 7,0-8,5 çipura içinse 7,5-8,0'dir. Alabalık yetiştiriciliğinde tercih edilen pH aralığı 6,0-8,0'dir. Şekil 2.7'de ılık su balıkları yetiştiriciliğinde farklı pH değerlerinin balıklara etkileri gösterilmiştir (Lawson 1995).



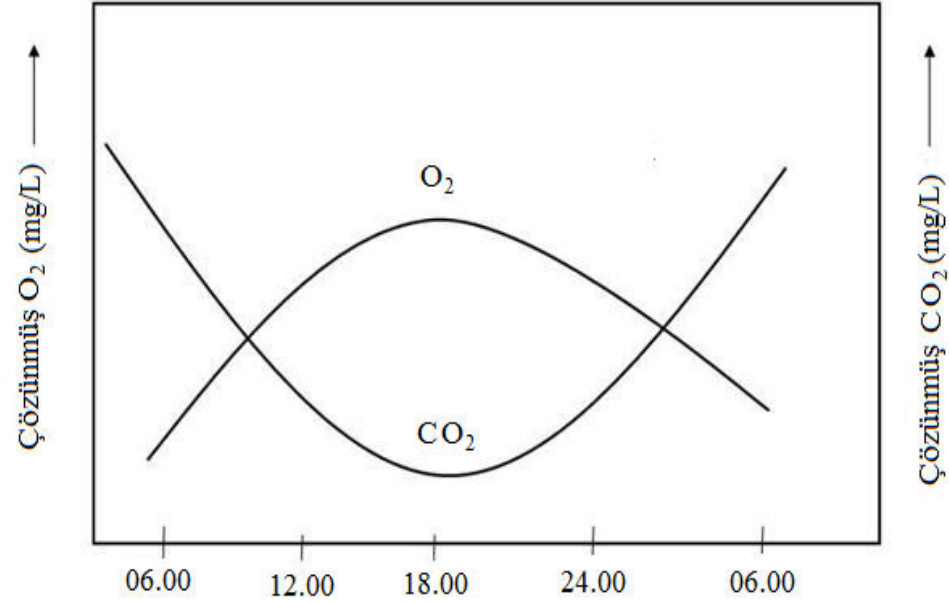
Şekil 2.7. Ilık su balıkları yetiştiriciliğinde pH'nın etkisi (Lawson 1995)

- Yetiştiriciliğin yapıldığı suda pH değerinin 5,5'in altına düşmesiyle balıklarda asit hastalığı ortaya çıkar. Asidik ortamda kanın oksijen taşıma kapasitesi azalır ve solungaç hücreleri tahriş olur. Solungaçlar ile deri üzerinde aşırı mukus ve kızarıklıklar görülür. Baz hastalığı ise, pH değeri 9'un üzerine çıktığı durumlarda meydana gelir. Fizyolojik ve biyolojik davranış reaksiyonları asit hastalığına benzerdir, ek olarak solungaç ve yüzgeç dokularında parçalanmalar göze çarpar (Svobodova et al. 1993).

- Karbondioksit

-
- Sucul canlılar için önemli olan karbondioksit atmosferde çok düşük yoğunlukta (% 0,03) bulunduğu halde, suda çözünürlüğü oldukça fazladır. Karbondioksit doğal sulara, doğrudan atmosferden difüzyonla geçtiği gibi organik maddelerin bakteriler tarafından ayrıştırılması veya bitki ve hayvanların solunumu sonucu da yan ürün olarak karışır. Bu nedenle, havuzlardaki karbondioksit miktarı solunum ve fotosentez olaylarıyla yakından ilgilidir. Karbondioksit derişimi genellikle gece artar ve gündüz azalır (Şekil 2.8).

- Havuzlarda günlük karbondioksit konsantrasyon değişimi genellikle znmş oksijen derişiminin tam tersi düzeydedir. Gün içerisinde algler sudaki serbest karbondioksiti kullanır ve böylece akşamstn takiben sudaki karbondioksit konsantrasyonu düşer (sıklıkla 0 mg/L), oksijen konsantrasyonu ise en yüksek düzeye ulaşır. Gece boyunca havuzdaki organizmaların solunumu sonucunda karbondioksit üretilir ve sabaha karşı genellikle 10-15 mg/L arasında değişen maksimum düzeye ulaşır. Karbondioksitin potansiyel zehirlilik etkisi znmş oksijen ve karbondioksit konsantrasyonlarının günlük dalgalanmalarıyla ilişkili olarak ortaya çıkar. Balıklar karbondioksiti, kanları ile su içerisindeki karbondioksit farkları sayesinde solungaçları yoluyla atarlar. Sudaki karbondioksit konsantrasyonunun yüksek olduğu durumda balık kanındaki karbondioksit konsantrasyonunu düşürmede zorluk eker ve kanda karbondioksit birikimi olur. Bu birikim ise, balık kanında oksijen taşıyan moleküllerin (hemoglobin) oksijeni bağlama kapasitesini azaltarak balığın strese girmesine yol açar (Hargreaves and Brunson 1996).

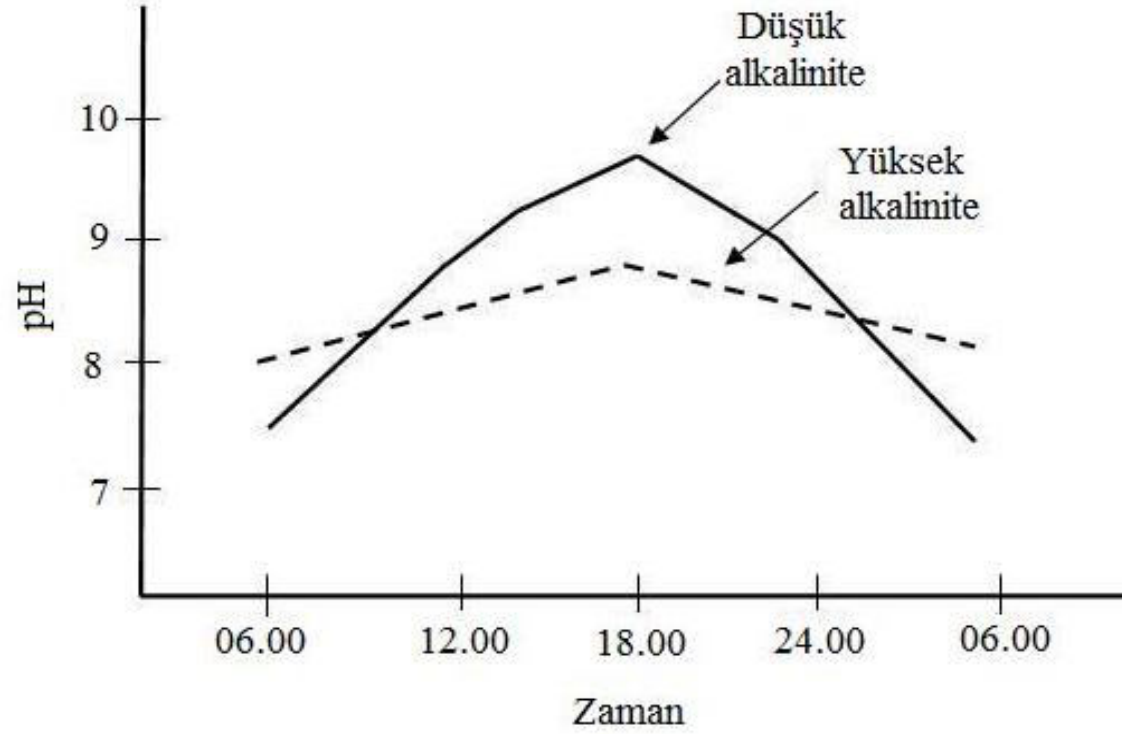


Şekil 2.8. Havuzlarda çözülmüş oksijen ve karbondioksitin gün içerisindeki değişimi (Lawson 1995)

- Toplam alkalinite

-
- Toplam alkalinite, sudaki titre edilebilir bazların toplam derişimi olup litrede bulunan kalsiyum karbonat (CaCO_3) miktarı olarak ifade edilir. Doğal sulardaki başlıca bazlar, karbonat ve bikarbonatlardır. Toplam alkalinite, pH-tamponlama kapasitesi veya suların asit nötralizasyon gücü olarak da tanımlanabilir. Yüksek alkaliniteye sahip sular, pH değişimlerine karşı daha stabildir. Doğal tatlı sularda alkalinite, yumuşak sularda 5 mg/L'den azken, sert sularda 500 mg/L'nin üzerindedir. Doğal deniz suyunun toplam alkalinitesi ise ortalama 116 mg/L'dir.

- Toplam alkalinite balıklar üzerinde doğrudan bir etkiye sahip olmamakla birlikte genellikle toplam alkalinitesi 30 mg/L'nin altında olan sular, hızlı pH değişimlerine karşı zayıf tampon gücüne sahiptir. Ayrıca çözülmüş metaller (bakır gibi), sucul organizmalar için düşük alkalinite ve sertlikteki sularda daha zehirlidir. Bu nedenle, toplam alkalinitesi 50 mg/L'den az olan sularda bakır sülfat kullanımında dikkatli olunmalıdır. Su ürünleri yetiştiricilik sistemleri için önerilen toplam alkalinite değişim aralığı 20-400 mg/L'dir. Toplam alkalinitesi 20-150 mg/L olan sular ise, fotosentezin gerçekleşebilmesi için yeterli karbondioksit içeren sulardır; karbondioksitin ortamdan uzaklaştırılması pH'nın hızla yükselmesi ile sonuçlanır (Lawson 1995).



Şekil 2.9. Düşük ve yüksek alkaliniteli sulara pH'nın zamana bağlı değişimi (Anonymous 2011a)

Sucul ekosistemlerde toplam alkalinite ile pH arasındaki ilişki Çizelge 2.3’de sunulmuştur.

Çizelge 2.3. Toplam alkalinite ile pH arasındaki ilişki (Boyd and Tucker 1998)

Toplam alkalinite (mg/L CaCO₃)	pH
0	5,6
1	6,6
5	7,3
10	7,6
50	8,3

- Toplam sertlik

-
- Suların toplam sertliği, sertliğe yol ačan metal iyonlarının genellikle mg/L cinsinden kalsiyum karbonat (CaCO_3) eşdeğeri olarak ifadesidir. Suyun sertliği geçici ve kalıcı sertlik olarak ikiye ayrılır; geçici sertlik suyun karbonat ve bikarbonat miktarını gösterir ve suyun kaynatılması ile giderilebilir, kalıcı sertlik ise suyun içerdii klorür ve sülfatlardan kaynaklanır. Suların sertliği çöktürme ve iyon değişimi yöntemleriyle giderilir. Suların sertlik derecesinin değerlendirilmesi ülkelere göre değişir; ülkemizde daha çok Fransız sertlik derecesi ($^{\circ}\text{FS}$) kullanılmaktadır (Çizelge 2.4).

Çizelge 2.4. Sularda çeşitli sertlik dereceleri (Erençin ve Köksal 1981)

Sertlik derecesi	Birimi
Fransız sertlik derecesi	10 mg/L CaCO_3
Alman sertlik derecesi	10 mg/L CaO
İngiliz sertlik derecesi	10 mg/0,7 L CaCO_3
Amerikan sertlik derecesi	1 mg/L CaCO_3

Sular sertlik derecelerine göre Çizelge 2.5’de gösterildiği gibi sınıflandırılmaktadır.

Çizelge 2.5. Suların kalsiyum karbonat (CaCO_3) miktarlarına göre sertlik sınıfları
(Lawson 1995)

Sertlik sınıfı	CaCO_3 (mg/L)
Yumuşak	0-75
Orta sert	75-150
Sert	150-300
Çok sert	> 300

- Balıkların yaşam ortamlarındaki fizyolojik fonksiyonları su sertliğinden etkilenir. Balıklar için normal olan su sertliği değerlerinin üzerine çıkıldığında ya da iyon bileşimi değişkenlik gösterdiğinde balık osmotik strese girer. Kuluçkahanelerde yüksek alkalinite ve sertlikteki yeraltı sularının kullanımı, kalsiyum karbonatın çökmesi nedeniyle balık yumurta ve larvaları için zararlı olabilir. Kuluçkahanelerde düşük kalsiyum karbonat içeren suların kullanımı ise yumurta açılım oranının düşmesi ile sonuçlanır (Buttner et al. 1993, Boyd 2007a).
- Su sertliği ağır metallerin zehirliliğini de etkiler; genellikle sert sular ya da sudaki yüksek kalsiyum miktarı ağır metallerin zehirliliğini azaltır. Fakat sert sulardaki amonyak alkaliniteden dolayı zehirli etki gösterir. Sucul ortamlarda alkalinite ve sertlik konsantrasyonları genellikle birbirine yakındır ancak alkalinite negatif iyonların (karbonat, bikarbonat), sertlik pozitif iyonların (kalsiyum, magnezyum) ölçümü olarak adlandırılır (Buttner et al. 1993). Balık yetiştiriciliğinde toplam alkalinite ve toplam sertlik değerlerinin 20-300 mg/L arasında bulunması ve her iki değer birbirene eşit veya yakın olması arzu edilir. Örneğin; toplam alkalinitesi 100 mg/L ve toplam sertliği 100 mg/L olan sular balık yetiştiriciliği için uygun iken, toplam alkalinitesi 100 mg/L ve toplam sertliği 10 mg/L olan sular balık yetiştiriciliği açısından elverişli değildir (Anonymous 2011a).

- Tuzluluk

- Tuzluluk bir litre sudaki çözünmüş iyonların toplam derişimidir. Çözünmüş ana iyonlar; sodyum (Na⁺), potasyum (K⁺), kalsiyum (Ca⁺²), magnezyum (Mg⁺²), bikarbonat (HCO₃⁻), klor (Cl⁻), karbonat (CO₃⁻²) ve sülfat (SO₄⁻²)'tır. Tuzluluğun sembolü olan ‰, binde bir kısmı (g/L) ifade etmek için kullanılır. Deniz suyunun tuzluluğu ortalama 34 g/L iken, iç suların tuzluluğu 2-3 g/L'den azdır. Tuzluluğu ‰ 34'ten düşük sular ise acı su olarak tanımlanmaktadır. Bu tip sulara lagünler, nehir ağızları, Baltık Denizi ile Karadeniz'in suyu örnek gösterilebilir (Kocataş 2003).
- İç suların tuzluluğu, su yataklarındaki kayaçların özelliğine, yağışlara ve buharlaşma-yağış arasındaki dengeye göre, denizlerde ise yüzey sularının tuzluluğu yağışlara ve nehirlerin getirdiği su miktarına bağlı olarak değişir. Tuzluluk artışına paralel olarak deniz suyunun yoğunluğu, viskozitesi, elektrik iletkenliği ve osmotik basıncı artarken, özgül ısı, donma noktası ile ısı iletkenliği azalır (Egemen 2006).

- Sucul ortamın tuzluluk derecesi, türlerin morfolojisi ile yaşamsal aktivitelerinde ve dağılışlarında önemli etkiler yaratmaktadır. Bazı bakteri ve algler düşük tuzluluk farklarına tolerans gösterirken (homeosmotic), ilkel bitki ve hayvanların çoğu büyük tuzluluk farklarına dayanabilir (eurihalin) (Kocataş 2003).

- Balık hücrelerinin gereksinimi olan iç ortamları yani vücut sıvıları, çözülmüş tuzlar ve organik bileşikler içerir ve belli bir asiditeye sahiptir. Bu maddelerin miktarı, vücut sıvılarının 1 kg suda 1 mol maddenin çözünmesiyle elde edilen osmotik yoğunluğu belirler.
- Balıkların vücut sıvıları ile balıkların içerisinde buldukları su, ayrı iki sıvı olup yoğunlukları farklı olduğunda, yoğunluğu az olan taraftan çok olan tarafa doğru bir su akışı meydana gelir. Tatlı suda bulunan tatlı su balığının vücut sıvısının osmotik basıncı, dış ortamın osmotik basıncından daha yüksektir. Yani vücut sıvısı hipertonic, tatlı su ise hipotonik bir ortamdır. Bu nedenle dış ortamdaki tatlı su, devamlı olarak balığın vücudundan içeri girer ve bu durumda balık iç ortamının osmotik basıncını ayarlayabilmek için içeri giren suyu dışarı atmak zorundadır. Bu amaçla, tatlı su balıkları böbrekleri yoluyla çok idrar üreterek vücutlarından devamlı olarak tuz kaybeder. Vücut sıvılarındaki tuz yoğunluğunu koruyabilmek içinse yine solungaçlardaki klorid hücreleri yardımıyla dış ortam suyundan tuz alırlar. Deniz suyunda bulunan deniz balığında ise, dış ortamın osmotik basıncı, iç ortamından daha yüksektir. Yani deniz suyu hipertonic, vücut sıvısı ise hipotonik ortamdır. Bu durumda, iç ortam ile dış ortam arasındaki su akışı, tatlı suda bulunan tatlı su balığındakinin aksine, balığın vücudundan deniz suyuna doğrudur. Deniz balıkları, derilerinden ve solungaçlarından daimi bir şekilde vücut suyu kaybeder (osmosis). Bu su kaybını karşılamak ve iç ortamın osmotik basıncını ayarlayabilmek içinse deniz balıkları devamlı su içmek zorundadır. İçilen deniz suyu ile alınan miktardaki tuz, solungaçlarda bulunan klorid hücreleri tarafından dışarı atılır. Bu nedenle deniz balıklarının böbrekleri, tuz yoğunluğu düşük olan çok az miktarda idrar oluşturur (Egemen 2006).

- Tuzluluk balıklarda yalnızca osmoregölasyon mekanizmasını değil aynı zamanda sudaki iyonize olmamış amonyak konsantrasyonunu da etkiler. Tuzluluk arttıkça suyun osmotik basıncı da artar (Buttner et al. 1993). Balık türlerinin osmotik basınç ihtiyaçları farklı olduğundan optimum tuzluluk derecesi balık türlerine göre farklılık gösterir. Deniz balıklarından çipura ve levrek balıklarının yetiştiriciliği için gerekli en düşük tuzluluk değeri ‰ 5, en yüksek ise ‰ 50'dir. Balıklar tuzluluktaki ani değişimlere karşı oldukça hassas olduklarından belli oranda tuz içeren ortamdan alınıp daha fazla veya daha az tuzlu sulara ani olarak bırakılmamalıdır.

- Elektrik iletkenliği (Kondüktivite)

- Elektrik iletkenliği suyun çözünmüş mineral içeriğinin başka bir deyişle tuzluluk derecesinin bir göstergesidir. Birimi micromho/cm olup, saf suyun kondüktivitesi 1 micromho/cm, doğal suların kondüktivitesi 20-1500 micromho/cm arasında değişir. Suyun tuzluluğunun artmasına koşut olarak elektrik akımını iletme kapasitesi de artar (Lawson 1995).

- - **Azotlu bileşikler**

- Su ürünleri yetiştiricilik sistemlerinde oksijen gereksinimi karşılandığı takdirde üretimi sınırlayan ikinci faktör azotlu bileşiklerin birikimidir. Ana azotlu bileşikler; azot gazı (N_2), iyonize olmamış amonyak (NH_3), iyonize olmuş amonyak veya amonyum (NH_4^+), nitrit (NO_2) ve nitrattır (NO_3). Amonyum ve amonyağın toplamı ($NH_4^+ + NH_3$), toplam amonyak (TAN) olarak adlandırılır. Toplam amonyağın zehirliliği; yüksek konsantrasyonlar dışında zehirli olmayan iyonize olmuş form (amonyum) ile özellikle yüksek pH değerlerinde oldukça zehirli olan iyonize olmamış formun (amonyak) toplam içerisindeki payına bağlıdır. Pekçok ortamda amonyum (NH_4^+) fazla miktarda bulunmasına karşın, hangi fraksiyonun payının fazla olacağını ortamın pH, sıcaklık ve tuzluluk değerleri belirler. Çizelge 2.6'da farklı pH ve sıcaklık değerlerinde sudaki iyonize olmamış amonyak düzeyi (toplam amonyağın yüzdesi olarak) verilmiştir. Örneğin; su sıcaklığı $28\text{ }^\circ\text{C}$, pH'sı 8,4 ve TAN konsantrasyonu 2 mg/L olan sudaki iyonize olmamış amonyak yüzdesi 14,98'dir. Bu verilere göre amonyak-azotu konsantrasyon değeri $2 \times 0,1498 = 0,30$ mg/L'dir (Boyd 2008a).

-

- Su sıcaklığı ve pH yanında, çözünmüş oksijen konsantrasyonu da amonyağın zehirliliğini etkiler; düşük çözünmüş oksijen konsantrasyonlarında amonyak zehirliliği artar.

Çizelge 2.6. Farklı pH ve su sıcaklığı değerlerinde amonyak düzeyi (toplam amonyağın yüzdesi olarak) (Boyd 2008a)

pH	Su sıcaklığı (°C)				
	16	20	24	28	32
7,2	0,47	0,63	0,82	1,10	1,50
7,6	1,17	1,56	2,05	2,72	3,69
8,0	2,88	3,83	4,99	6,55	8,77
8,4	6,93	9,09	11,65	14,98	19,46
8,8	15,76	20,08	24,88	30,68	37,76
9,2	31,97	38,69	45,41	52,65	60,38

- - **Amonyak**

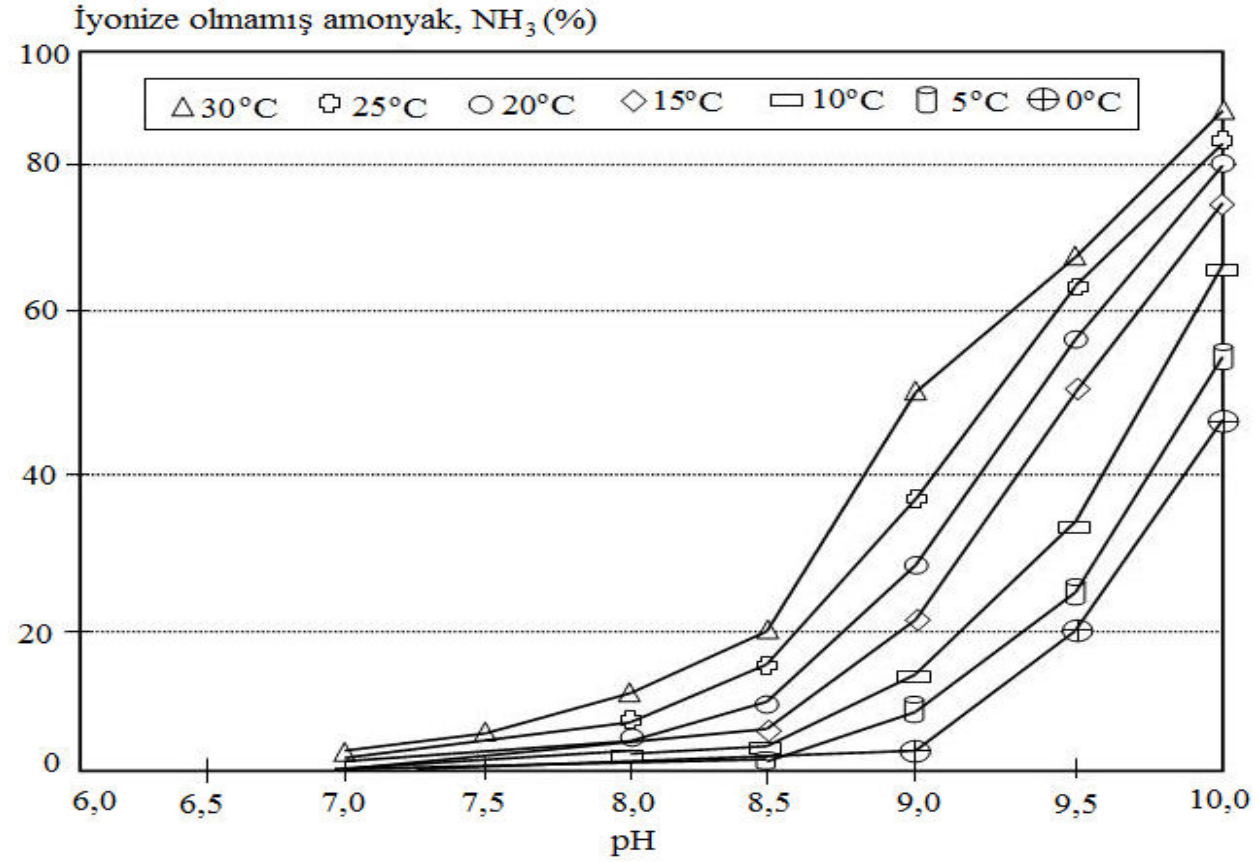
-
- Amonyak, su ürünleri yetiştiriciliğini tehdit eden en zehirli azot bileşimidir. Amonyak, sulara balıkların metabolizma ürünü, tüketilmeyen yemler ve organik maddelerin parçalanması sonucu girer. Su ürünlerinin sağlıklı yetiştiriciliği açısından suda iyonize olmamış amonyak düzeyi 0,22 mg/L'den az olmalıdır. pH değerinin bir birim artması sudaki iyonize olmamış amonyak miktarını 10 kat artırır (Lawson 1995).
-
- Balıkların yoğun üretimi ve proteince zengin yemlerle beslenmesi sudaki amonyak konsantrasyonunun artmasına neden olur. Gübreler de su ürünleri yetiştiricilik sistemlerinde amonyak kaynaklarından biridir. Gübreler havuzlara normal miktarda verildiğinde, amonyağın zehirli düzeye çıkması olası değildir; gübredeki amonyum fitoplankton tarafından absorbe edilir ve proteindeki organik azota dönüştürülür, fitoplankton öldüğünde ise ayrışarak amonyağı serbest bırakır. Organik bir bileşik olan üre de amonyumlu gübre olarak tanımlanır; suda hidrolize olarak amonyaga ve karbondioksite dönüşür. Amonyak ve diğer metabolizma atıklarının sudan uzaklaştırılması havuzlarda doğal işlemlerle, kapalı dolaşımli sistemlerde ise biyolojik filtreler kullanılarak sağlanır (Buttner et al. 1993, Boyd 2007b). Çizelge 2.7'de yaygın olarak kullanılan amonyumlu gübrelerdeki azot yüzdeleri ve potansiyel asiditeleri verilmiştir.

Çizelge 2.7. Yaygın olarak kullanılan amonyumlu gübrelerdeki azot konsantrasyonu ve potansiyel asiditeleri (Boyd 2007b)

Gübre	Azot (%)	Potansiyel asidite (kg kalsiyum karbonat/100 kg gübre)
Üre	45	161
Amonyum nitrat	34	118
Amonyum sülfat	20	151
Diamonyum fosfat	18	97
Amonyum polifosfat	13	72
Monoamonyum fosfat	11	79

- Su ürünleri yetiştiricilik sistemlerinde tüketilmeyen yemler ve dışkılar azot kaynağı olduğundan her ikisinin de ayrışması karbondioksit, amonyak ve diğer inorganik besin elementlerinin serbest bırakılmasıyla sonuçlanır. Balık yemleri ile balıktaki azot ve ham protein arasındaki ilişki aşağıdaki eşitlikle ifade edilir;
- % Ham protein= % Azot x 6,25
- Örneğin; % 32 ham protein içeren (% 5,12 azot) 2000 kg yem kullanarak, 2000 m³'lük bir havuzda % 15 ham protein içeren (% 2,40 azot) 1000 kg balık yetiştirildiğinde; sisteme 102,4 kg azot girdisi (2000 kg yem x 0,0512) olacak ve sistemden 24 kg azot (1000 kg balık x 0,024) balıklar ile uzaklaştırılacak böylece sisteme 78,4 kg azot (102,4 kg azot yem – 24 kg azot balık) girecektir.

- Yetiştiriciliği yapılan türlere ve suyun pH ile sıcaklık değerlerine göre zehirli olabilecek toplam amonyak-azotu konsantrasyonlarının değişebileceği, nitrifikasyon ve diğer doğal işlemlerle (amonyağın uçması, çıkış suları ile olan kayıplar vb.) maksimum düzeyde birikimin önlenebileceği unutulmamalıdır (Boyd 2007b). Şekil 2.12'de suda amonyağın pH ve sıcaklığa bağlı değişimi gösterilmiştir.

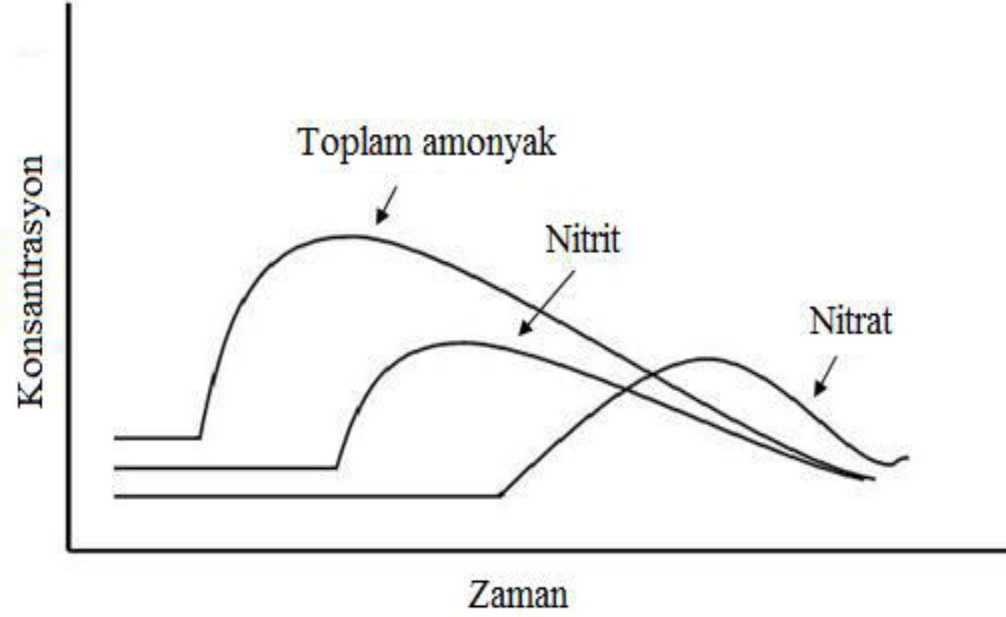


Şekil 2.12. Amonyakın pH ve sıcaklığa bağlı değişimi (Lawson 1995)

- Sedimentte nitratın moleküler azota (N_2) ve sonrasında azot okside (N_2O) indirgenmesi denitrifikasyon olarak tanımlanır. Mikrobiyal ortamda gerçekleşen bu indirgenmede, nitrat oksijen yokluğundaki son elektron alıcısı olarak kullanılır. Sedimentteki nitrat, amonyum ve moleküler azotun suya geçişinde, yalnızca difüzyon değil canlıların sedimenti karıştırmalarının da payı bulunmaktadır. Azotlu bileşiklerin sedimentteki değişimi Şekil 2.13'te sunulmuştur.
- Balık yetiştiricilik sistemlerine kronik amonyak yüklenmesinde osmoregülasyon mekanizması ve eritrositler zarara uğrar. Solungaçların mukoza katının parçalanması ve şişmesi sonucunda solunum etkilenir. Solungaçlardaki bu yıpranma, solungaç lamellerinin üst yüzeyinde yeni hücre katı oluşumuna neden olur. Bu durum solungaçlardan su geçişini ve oksijen alımını engeller (Lawson 1995). Yüksek amonyak konsantrasyonu, birçok hastalığın (bakteriyel solungaç hastalığı, ektoparazit enfeksiyonları gibi) ortaya çıkışını da kolaylaştırır (Svobodova et al. 1993).

- Nitrit

- Nitrit, nitrifikasyon ve denitrifikasyon reaksiyonlarında ara ürün olduğundan sularda amonyak ve nitrata göre daha düşük oranlarda bulunmaktadır. Ancak yoğun balık yetiştiriciliğinin yapıldığı tekrar dolaşımli sistemlerde oldukça fazla zehir etkisi gösterebilir. Nitrit suda; fitoplankton ölümleri veya herbisitlerle su bitkilerinin öldürülmesini takiben, amonyak konsantrasyonlarındaki ani artışlardan sonra birikebilir. Ölen bitkilerin dekompozisyonu ile suyun amonyak konsantrasyonu artış gösterdiğinden amonyağı yükseltgeyen bakterilerin aktivitesi teşvik edilir ve nitrit üretilir (Şekil 2.14).



Şekil 2.14. Havuz suyunda toplam amonyak konsantrasyonundaki ani artışa bağlı sonuçlar (Boyd and Tucker 1998)

Nitrit balıklar için toksiktir; hemoglobini kahverenkli methemoglobine dönüştürerek oksijen transferini engeller ve kahverengi kan hastalığına neden olur. Sudaki 0,5 mg/L nitrit konsantrasyonu büyümeyi yavaşlatarak balığı olumsuz yönde etkiler. Nitrit zehirlenmesi ortamın klor, pH ve kalsiyum derişimlerine bağlı olarak değişir (Durbarow et al. 1997).

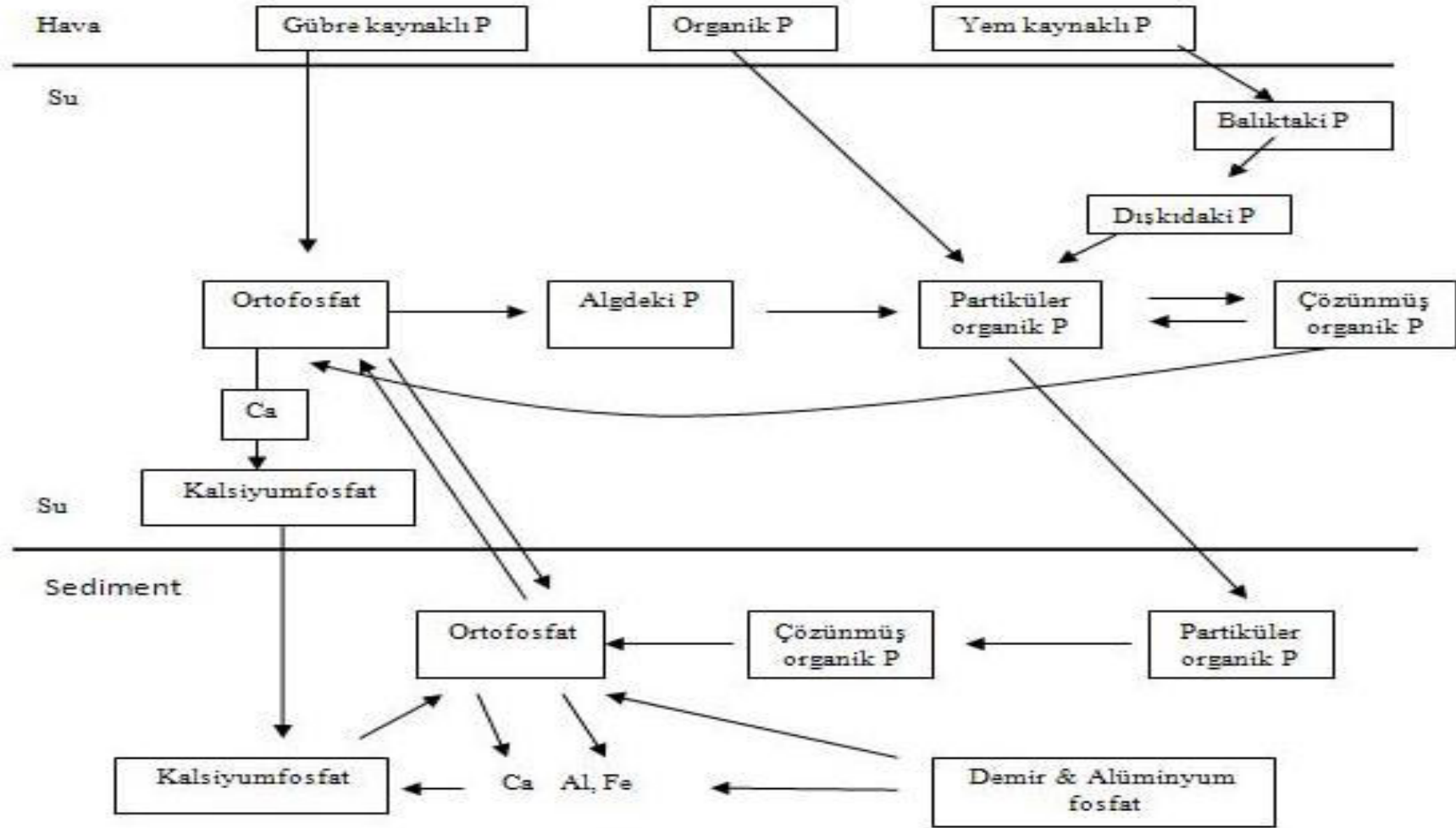
- Nitrat

- Azotlu bileşiklerden nitratın su ürünlerine zararlı etkisi diğer azot bileşiklerine göre daha azdır. Bununla birlikte yüksek nitrat konsantrasyonları, balıkların osmoregülasyon sistemini, oksijen taşınımını olumsuz etkileyebilir; sucul ortamlarda ise ötrofikasyona ve alg patlamalarına yol açar. Su ürünleri yetiştiriciliğinde, sudaki nitrat düzeyi 0-3 mg/L arasında olmalıdır (Lawson 1995).

- Fosfor

- Doğal sularda fosfor, inorganik ve organik fosfatlar (PO_4) halinde bulunur. Fosfor, canlı protoplazmanın yaklaşık % 2'sini oluşturduğundan yetersizliğinde, özellikle fotosentezle üretim yapan ototrof canlıların dolayısıyla heterotrof canlıların büyümesi sınırlanır. Fosfor suda pek çok formda bulunur. Organik fosfor canlı organizmalar ve onların partiküler artıklarından köken alırken, çözülmüş fosfor; inorganik ortofosfat (H_2PO_4^- veya HPO_4^{2-}) ve çözülmüş organik madde ile birleşmiş fosforu kapsar. Ayrıca askıdaki mineral toprak partikülleri de fosfor içerir. Partiküler fosfor havuz tabanına çöker ve sedimentin bir parçası haline gelir. Ortofosfat suda kalsiyum fosfat olarak çöker; asidik sedimentte demir ve alüminyum bileşikleri tarafından kuvvetli bir şekilde absorbe edilir.
- Havuzlarda balık yetiştiriciliğinde yüksek toplam fosfor konsantrasyonları; aşırı stoklama ve yemleme oranlarında, yoğun fitoplankton patlaması durumunda, askıda katı madde miktarının fazla olduğu havuzlarda, yoğun fosfatlı gübre uygulamalarını izleyen dönemlerde ve işletme suyu ötrofik düzeyde ise tespit edilir.

- Toplam fosfor düzeyleri gün içerisinde pH, çözünmüş oksijen ve diğer su kalite özelliklerine göre değişim göstermez. Bununla birlikte gübrelemeyi takiben bir değişim söz konusu olabilir ve bu değişim birkaç gün içerisinde ortaya çıkabilen fitoplankton yoğunluğundaki veya askıda katı madde konsantrasyonundaki değişimlerle karakterize edilir (Boyd 2001b).
- Su ürünleri yetiştiriciliğinde kullanılan yemler genellikle % 1,0-1,5 fosfor içerir. Yemdeki fosforun büyük kısmı organik kombinasyonludur ancak bazı yemler kalsiyum fosfatla desteklenir. Yemdeki fosforun kabaca % 25'i hasat edilen su ürünleri biyomasından sağlanır, kalan kısmı ise tüketilmeyen yemler, mikrobiyal dekompozisyona uğramış dışkı, fosfat salınımı ya da yetiştiriciliği yapılan su ürünlerinin metabolik atıklarından oluşur. Fosfat iyonları fitoplankton tarafından hızlı bir şekilde absorbe edilir. Havuzlarda gübrelemeyi takiben uygulanan fosforun büyük bir kısmı fitoplankton hücreleri tarafından birkaç saat içerisinde kullanılır. Ancak fitoplanktonun bir-iki haftalık kısa yaşam süresinden dolayı ölümü sonrası hücredeki fosfor kısa sürede çözülmüş fosfata mineralize olur. Fitoplankton tarafından kullanılmayan fosfat iyonları hızlı bir şekilde taban toprağı tarafından absorbe olur (Boyd 2007c). Şekil 2.15'te su ürünleri yetiştiriciliği yapılan havuzlarda fosfor döngüsü gösterilmiştir.



Şekil 2.15. Su ürünleri yetiştiriciliği yapılan havuzlarda fosfor döngüsü (Boyd and Tucker 1998)

- Hidrojen sülfür

- Hidrojen sülfür, içinde kükürt bulunan organik moleküllerin oksijensiz koşullarda heterotrof bakterilerce parçalanması sonucu meydana gelir. Ayrıca sülfat ve sülfid gibi inorganik bileşiklerin oksijensiz şartlarda heterotrof bakterilerce parçalanması sonucu da oluşabilir (Tanyolaç 2009).
- Çürük yumurta kokusundaki hidrojen sülfür gazı (H_2S) balıklar için çok zehirlidir. Oksijence fakir ve organik madde birikimi olan havuz tabanı uygun koşullarda hidrojen sülfürü serbest bırakabilir. Yoğun besleme yapılan ağ kafeslerin tabanında tüketilmeyerek biriken yemler ve balık dışkıları da oksijen eksikliğinde hidrojen sülfür gazı oluşumunu körükler (Buttner et al. 1993). Hidrojen sülfürün zehir etkisi pH'ya bağlı olarak değişir. Asidik karakterde bir gaz olan H_2S bazik ortamda nötralize edilir; pH değeri arttıkça H_2S 'in zehirliliği azalır (Çizelge 2.8).

Çizelge 2.8. Suda farklı pH ve sıcaklık değerlerinde iyonize olmamış hidrojen sülfürün yüzdesi (Lawson 1995)

pH	Sıcaklık (°C)				
	16	20	24	28	32
5,0	99,3	99,2	99,1	98,9	98,9
5,5	97,7	97,4	97,1	96,7	96,3
6,0	93,2	92,3	91,4	90,3	89,1
6,5	81,2	80,2	77,0	74,6	72,1
7,0	57,7	54,6	51,4	48,2	45,0
7,5	30,1	27,5	25,0	22,7	20,6
8,0	12,0	10,7	8,8	8,0	7,6
8,5	4,1	3,7	3,2	2,9	2,5
9,0	1,3	1,2	1,0	0,9	0,8

- Su ürünleri yetiştiriciliğinde hidrojen sülfürün en belirgin olumsuz etkisi akut oksijen eksikliğine yol açmasıdır (hypoxia). İyonize olmamış hidrojen sülfür (H_2S) düşük konsantrasyonlarda bile balık ve omurgasızlar için zehirlidir; 0,05 mg/L'ye maruz bırakılan pek çok balık türünün öldüğü 0,01 mg/L'den düşük konsantrasyonlarda ise üremenin engellendiği bildirilmiştir (Lawson 1995).

- - **Demir**

- Demir klorofil sentezi için esas bir element olup hemoproteinler ile balık ve diğer omurgalılarda kanın oksijen taşıma kapasitesini artıran hemoglobinin bir bileşenidir. Mikroorganizmaların gelişmesinde ve çoğalmasında gerekli birkaç eser elementten biri olan demir, sucul ortamlarda çoğunlukla ferröz (Fe^{+2}) ve ferrik (Fe^{+3}) iyon durumunda bulunur.
- Su ürünleri yetiştiriciliğinde önemli su kalite özelliklerinden biri olan demire sucul bitki ve hayvansal organizmalar düşük düzeyde de olsa gereksinim duyar. Acı su veya deniz suyunda fitoplankton gelişimini artırmada yaklaşık ‰ 05 oranında demir içeren gübrelerin kullanımı önerilir. Ferröz sülfat ve ferröz oksit formundaki mineraller, gübreler için daha ucuz kaynaklar iken şelatlı demir bileşikleri demirin çözünürlüğü ve gübrenin etkinliğini artırmak için kullanılır. Havuzlarda taban çamuru ve sedimentteki demir minerallerinin çözünürlüğü pH azaldıkça artar. Toplam çözünür demir konsantrasyonları, asidik çamur, sediment ve sularda, nötr veya alkali özellik taşıyanlara göre daha yüksek düzeyde bulunur (Boyd 2008a).
- Yeraltı sularında yüksek miktarda bulunan çözünmüş demir, oksijenle reaksiyona girdiğinde çözünmeyen kırmızı bir çökelti meydana getirir. Demir bileşikleri balıkların solungaçları üzerinde çökerek solungaçların tıkanmasına ve balığın ölümüne neden olur (Buttner et al. 1993).

- Ağır metaller

- Denizel ortamlara giren ya da bu ortamlarda bulunan ağır metaller hem doğal hem de yapay orijinlidir. Ağır metallerin denizel ortamlardaki konsantrasyonları; deniz dibindeki volkanik hareketler, atmosferik taşınım, nehirler veya erozyon gibi doğal kaynaklardan veya madenciliğin, arıtma ve rafine sistemlerinin hızlı artışı, fosil yakıtların aşırı tüketimi, metal ürünlerinin tarımda kullanımı (arsenikli pestisitler gibi) yolu ile yapay kaynaklardan oluşur (Topçuoğlu 2005).

- Ağır metaller, balıklar tarafından solunum yoluyla (solungaç ve deri yüzeyi), vücut yüzeyine tutunma (adsorbsiyon) veya besin yoluyla alınabilmektedir. Su ürünleri yetiştiriciliğinde potansiyel zehirli etkileri nedeniyle önem taşıyan ağır metallerin alınması ve organizmada birikimini; ortama giren metal miktarındaki değişiklik, organizmanın durumu ve organizmanın içinde bulunduğu su ortamının fiziksel ve kimyasal özellikleri (sıcaklık, tuzluluk, pH, çözünmüş oksijen) etkiler. Besin zincirinde biyolojik olarak birikime uğrayan ağır metalleri yüksek düzeyde içeren su ürünleri tüketildiğinde, insan sağlığı açısından risk oluşturmaktadır. Ağır metallerden civa, kurşun, bakır, krom ve kadmiyum çok düşük konsantrasyonlarda bile sucul organizmalarda zehir etkisi gösterir. Çizelge 2.9'da sucul yaşam açısından önemli bazı ağır metallerin zehirliliğine ilişkin güvenilir düzeyler ile 96 saatlik LC 50 değerleri verilmiştir.

Çizelge 2.9. Sucul yaşam açısından önemli bazı metallerin zehirliliği (Lawson 1995)

Metal	96 saat LC 50 (µg/L)	Sınır değerler (µg/L)
Kadmiyum	80-420	10
Krom	2000-20000	100
Bakır	300-1000	25
Kurşun	1000-40000	100
Civa	10-40	0,10
Çinko	1000-10000	100

Su ürünleri yetiştiricilik havuzlarında ağır metal zehirliliği ile ilgili en yaygın sorun, bakır sülfatın veya diğer bakır bazlı kimyasalların havuzlarda alg kontrolü ve dış kaynaklı parazitlerin tedavisinde kullanımından kaynaklanır (Boyd and Tucker 1998).

- Biyolojik özellikler

- Suyun biyolojik özelliklerini aldığı kaynağa bağlı olarak bakteri, virüs, parazit gibi mikroskobik canlılar oluşturur. Yerleşim ve sanayi bölgelerine yakın sular ile kanalizasyon sisteminin bozuk olduğu bölgelerdeki suların su ürünleri yetiştiriciliğinde kullanılması, balıklar ile bunları tüketen insan sağlığını doğrudan ve olumsuz yönde etkiler.
- Su kalitesi açısından olumsuz bir diğer durum ise deniz ya da tatlı su ortamlarında yaşayan tek hücreli mikroalglerin suyun rengini, tadını ve kokusunu değiştirecek derecede aşırı üremeleridir. En önemli olumsuz etki, aşırı üremiş zehirli mikroalgin sudan besin olarak alınması ile başlar; örneğin midye veya istiridye besin tüketirken fazla miktarda suyu filtre ettiğinden, çok kısa bir sürede zehirli mikroalglerin vücutta birikimi ve insan ya da diğer tüketiciler için zehirli hale gelmesi söz konusudur. Bu nedenle iç organları temizlense de zehirli mikroalg aşırı üremesine maruz kalmış kabuklu ve deniz salyangozlarını yiyen balıkların tüketilmesi ile kuşların, memelilerin dolayısı ile insanların zehirlenmesi mümkündür (Koray 2005).

- Yoğun su ürünleri yetiştiriciliği yapılan havuzlarda fazla yem girdisi nedeniyle fitoplankton patlamalarına rastlanır. Fitoplankton yoğunluğundaki artış özellikle azot ve fosfor gibi besin elementlerinin bulunabilirliğine bağlıdır. Havuz sularında ışık geçirgenliğindeki farklılıklar fitoplankton yoğunluk ve kompozisyonundaki farklılıklardan kaynaklanır. Su ürünleri yetiştiricilik havuzları çeşitli fitoplankton türlerinin gelişimi için ideal koşulları sağlar. Yetiştiriciler tarafından tatlı su havuzları için yeşil algler arzu edilirken, karides yetiştiriciliği için acı su veya deniz suyu içeren havuzlarda diatomlar tercih edilir. Mavi-yeşil alg (*Cyanobacteria*) patlamaları, çözünmüş oksijen konsantrasyonunda geniş çaplı günlük dalgalanmalara neden olurken diğer alg veya yetiştiriciliği yapılan organizmalara zehirli olabilen kötü kokulu bileşikler de üretebilir (Boyd 2009).

SU KALİTESİ YÖNETİMİ

- Su ürünleri yetiştiriciliğinde su kalitesi yönetimi; su kalite özelliklerinin yetiştiricilik açısından uygun sınır değerlerde tutulmasını ve temel su kalite değerlerinden olan sapmalarda alınabilecek önlemleri kapsamaktadır. Balığın gelişiminde optimum koşulları sağlamak içinse rutin olarak su kalite özellikleri izlenmelidir.
- Su ürünleri üretiminde havuz taban toprağı, anahtar eleman olmasına karşın su temini ve su kalitesine göre daha az çalışmaya konu olmaktadır. Birçok havuz, toprak taban üzerine kurulmuştur; sudaki çözünmüş ve askıdaki maddelerin çoğı taban toprağından köken almaktadır. Havuz taban toprakları havuz ekosisteminde biriken birçok maddeye kaynak oluşturmakta, toprağın yüzey alanında oluşan kimyasal ve biyolojik işlemler su kalitesi ile su ürünleri üretimini doğrudan etkilemektedir. Dolayısıyla bu bölümde havuzlarda su ürünleri üretiminin sürdürülebilirliğı bağlamında su ve sediment yönetimine ilişkin uygulamalar, bazı özellikler açısından birlikte ele alınmıştır.

- Çözünmüş oksijen

- Yoğun su ürünleri yetiştiriciliğinde ortaya çıkabilen çözünmüş oksijen eksikliğinde, öncelikli işlem mekanik havalandırma tekniklerinin kullanımı veya suya saf oksijen enjeksiyonunun yapılmasıdır.
- Havuzlarda yapılan yetiştiricilikte balıkların oksijen ihtiyacı; ortamdaki balık yoğunluğunun azaltılması, balıklara yem verilmesinin kesilmesi, ölü bitkisel ve hayvansal organizmaların ortamdan uzaklaştırılması ile azaltılabilir veya havuz suyunun bir bölümünün yenilenmesi önerilir. Oksijenin çözünürlüğünü artırmak için mümkünse su sıcaklığı düşürülmelidir. Başka bir deyişle, havuzlarda gece oluşan düşük çözünmüş oksijen konsantrasyonu;
- Mekanik havalandırma yapılmaksızın Secchi Diski derinliğinin 30-35 cm'in üzerinde tutulması,
- Stoklama ve yemleme oranlarının optimal düzeyde yapılması,
- Gübrelemenin plankton patlamalarını teşvik edecek seviyede uygulanmaması,

- İy kalitedeki yem seçimi ve yönetimi,
- Yoğun yetiştiricilik yapılan karides havuzlarında mekanik havalandırma yapılması,
- Mümkün olabildiğince su değışiminin gün içerisinde yapılması,
- Havuz tabanının üretim periyodu aralarında kuruya bırakılması ve organik madde dekompozisyonunu sağlamak için kireç uygulaması,
- Atıkların çöktürme havuzlarında bekletilmesi ve söz konusu havuzlarda tekrar havalandırma yapılması ile önlenabilir (Boyd 2001a).

- Sudaki çözünmüş oksijen eksikliğini gidermede kullanılan bir diğer yöntem ise suya 6-8 mg/L düzeyinde potasyum permanganat (KMnO_4) ilavesidir; potasyum permanganat sudaki organik maddeyi okside eder ve çözünmüş oksijen gereksinimini azaltır (Lawson 1995).
- Havuzlarda oksijen eksikliğine yol açan yoğun fitoplankton üretimi ise, bazı kimyasal maddelerin (bakır sülfat gibi) balıklara zarar vermeyecek miktarda suya ilavesi veya fitoplankton tüketen balık kullanımı (biyolojik kontrol- gümüş sazanı, tilapia gibi) ile kontrol altına alınabilir.

- Havuzların oksijensiz sediment katmanında biriken birçok metabolik atık özellikle hidrojen sülfür, sucul organizmalar için toksik etki gösterir. Bu nedenle suya giriş yapan bu bileşiklerin etkisini engellemek için sediment-su ara yüzeyinde oksijenli bir katman oluşumu istenir. Bunun içinse en iyi yöntem, havuz suyu oksijen seviyesinin 3 mg/L'nin altına düşmesini engellenmek ve sedimentin hemen üstünde iyi bir su sirkülasyonu sağlamaktır. Havuz suyuna nitrat ilavesi, sediment-su ara yüzeyinde denitrifikasyonu sağlayarak düşük redoks potansiyelini engeller. Ayrıca havuz tabanının kuruya bırakılarak havalandırılması, çözünen organik maddenin parçalanma işlemini hızlandırır. Oksijenli tabanda Fe^{+2} Fe^{+3} 'e yükseltgenirken, hidrojen sülfür sülfata dönüşerek bir sonraki üretim için oksijen kaynağı temin eder. Asidik sedimente ise mikroorganizmalar organik maddeyi pH 7-8 aralığında parçalayacağından kireç uygulaması önerilir. Bunun yanısıra havuz taban toprağının sürülmesi havalandırmayı sağlayan bir başka uygulamadır. Havuz suyu boşaltılmadığı zaman taban toprağının havalandırılması için nitratlı gübre uygulanır (Boyd 2004).

pH

- Yetiştiricilik sistemlerinde pH ölçümleri, günlük değişimi belirleyebilmek amacıyla sabah erken ve akşamüstü saatlerinde yapılmalıdır. Balık üretim havuzlarında pH seviyesini yükseltmek için kireçleme uygulanır. Kireçleme hem toplam alkalinite hem de toplam sertliği artırır, kalsiyum konsantrasyonunu artırmada jips (CaSO_4) veya alum (AlSO_4) ilavesi önerilir (Anonymous 2011a).
- Havuzlarda pH seviyesini düşürmek içinse taze su girişi önerilir, düşük besin elementi girdisi ve bitki gelişimi açısından yemleme oranı azaltılır. Ayrıca havuz tabanında asit sülfatlı toprak kullanılır, kurumayı önlemek amacıyla havuz suyu hızlı bir şekilde yeniden doldurulur ve gerektiğinden fazla derinleştirilmez. Amonyaklı gübre uygulaması da pH'yı düşürmek için önerilir. Kapalı dolaşımli sistemlerde pH düzeyi, sodyum bikarbonat (NaHCO_3) ilavesi ile düzenlenebilir (Wurts and Masser 2004).

- Akvaryum suyunda pH'yı düşürmek ve bikarbonatları ortamdan uzaklaştırmak için filtre ortamında torf ve tampon tuzlarının kullanımı tavsiye edilir. Alkali suya gereksinim duyan akvaryum balıklarının üretimi içinse kireç içeren materyaller (kireçtaşı, koral kumu ve midye kabukları), dekorasyon malzemesi olarak veya filtre ortamında kullanılabilir (Boyd 2007a, Tucker and D'Abramo 2008).

- Havuz tabanındaki fosforun çözünlüğü yüksek değildir ve sediment-su arasındaki fosforun dengede olabilmesi için gerekli konsantrasyon değeri genellikle litrede birkaç mikrogramdır. Havuzlarda pH seviyesi 6,5-7,0 aralığında iken demir, alüminyum ve kalsiyum gibi fosfatla çözünmez bileşikler oluşturan maddelerin konsantrasyonu düşük olduğundan taban toprağındaki fosfor organizmalar tarafından kullanılabilir. Bu nedenle asidik taban toprağı olan havuzlarda, pH'yı artırmak ya da gübre içeriğindeki fosforun yayıllılığını sağlamak için kireçtaşı kullanılır. Bu bağlamda yapılan bazı araştırmalar, demirklorür ve demirsülfat konsantrasyonu 6 mg/L düzeyinde tutulduğunda, çözünmüş fosfat konsantrasyonunun en az % 80'inin ortamdan uzaklaştırılabildiğini bildirmiştir. Ancak bu kimyasalların dozuna, düşük pH'ya neden olacağından ve demir ile alüminyum konsantrasyonları sucul organizmalarda zehir etkisi göstereceğinden dikkat etmek gerekir (Boyd 2007c). Su ürünleri yetiştiriciliğı yapılan havuzlarda taban toprağı pH'sına dayalı kireç (CaCO_3 , kalsiyumkarbonat) uygulamalarına ilişkin bilgiler Çizelge 3.1'de sunulmuştur.

Çizelge 3.1. Havuzlarda taban toprağı pH'sına dayalı kireç uygulamaları (Boyd 2007a)

pH	CaCO₃ (kg/ha)
5,0-5,5	2,500
5,6-6,0	2,000
6,1-6,5	1,500
6,6-7,0	1,000
7,1-7,5	500
> 7,5	0

- Karbondioksit

- Su ürünleri yetiştiriciliği yapılan havuzlarda karbondioksit birikimi, genellikle yoğun stoklamalarda solunum nedeniyle ortaya çıkabilir. Yetiştiriciliğin yapıldığı suda istenmeyen düzeydeki fazla serbest karbondioksit, kuvvetli havalandırma veya kalsiyum hidroksit ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) ilavesi ile pH artırılarak uzaklaştırılabilir. Kapalı dolaşım sistemlerinde serbest karbondioksit birikimi ise, alkalinite değeri düşükse sistemin pH seviyesini düşürür (Lawson 1995).
- Havuzlarda karbondioksitin uzaklaştırılması için kalsiyum oksit (CaO), kalsiyum hidroksit ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) veya sodyum karbonat (Na_2CO_3) gibi kireç türevleri kullanılır. Kalsiyum oksit ve kalsiyum hidroksit yüksek pH'da uygulanabilirken, sodyum karbonat yüksek pH'da etkili değildir (Hargreaves and Brunson 1996).

- Karbondioksit konsantrasyonunun yüksek olduğu durumlarda, balıkta denge, uyum bozukluğu ve ölüm meydana gelebilir. Bu nedenle yetiştiricilikte su kaynağı olarak yeraltı suyunun kullanımından kaçınılmalı, kullanımı gerekiyse havalandırılmadan önce analiz edilerek karbondioksit seviyesi kabul edilebilir sınırlara düşürülmelidir. Kapalı dolaşımli sistemlerde yoğun balık stokları üretiminde karbondioksit seviyesini kabul edilebilir sınırlarda tutmak için dikkatli bir planlama, havalandırma veya alkalinitenin artırılması önerilir (Buttner et al. 1993).

- Alkalinite ve sertlik

- Su ürünleri yetiştiriciliğinde havuzlara kireç (kalsiyum karbonat) ilavesi, toplam alkalinite ve toplam sertliği aynı oranda artıracaktır. Toplam alkaliniteyi etkilemeksizin toplam sertlik artırılmak istenirse, jips (kalsiyum sülfat) kullanılabilir. Su sertliğini 1mg/L artırmak için 2 mg/L kalsiyum sülfat gerekir. Kalsiyum klorid de sertliği artırmak için kullanılır ancak genellikle jipsten daha pahalıdır. Toplam sertlik ve alkalitenin çok yüksek olduğu durumlarda, her iki özelliğin düşük seviyelere çekilmesi ise büyük sistemler için pratik olmamakla birlikte su değişimleri ile sağlanabilir. Asidik gübreler kullanılarak da suların alkalitesi düşürülebilir (Boyd 2007a). Alkalinite havuzlarda oransal olarak sabittir, ilave suyun olmadığı kapalı dolaşımli sistemlerde ise yavaş bir şekilde düşer. Havuzlara kireçtaşı, dolaşımli sistemlere sodyum bikarbonat ilavesi ile suyun alkalitesi arttırılabilir (Buttner et al. 1993). Balık yetiştiriciliğinde kuluçkahane suyunun düşük kalsiyum konsantrasyonu genellikle düşük oranda yumurta açılımına neden olur. Kuluçkahanelerde yeraltı su kaynağı kullanıldığında ise, yüksek alkalinite ve sertlik düzeyinin su ürünleri yumurtaları ile larvalarına olan zararlı etkilerini azaltmak için kalsiyum karbonatla çöktürme uygulaması veya mekanik havalandırıcılarla suyun havalandırılması önerilir (Boyd 2007a).

- Klor

- Su ürünleri yetiştiriciliğinde öldürücü klor düzeyi balıkların türüne bağlı olarak 0,3-4,0 mg/L arasında değişmekte, 0,02 mg/L düzeyindeki klor konsantrasyonu balıklarda strese neden olabilmektedir (Buttner et al. 1993). Klorun dezenfekte edici etkisi pH'daki artışla azalır. Akvaristler genellikle su kaynağı olarak musluk suyu kullanmaktadır. Musluk suyunun insan sağlığı için dezenfeksiyonunda kullanılan klor ya da kloramin balıklara zehir etkisi gösterebileceğinden, musluk suyunun doğrudan ortama eklenmemesi, bir kap içerisinde en az üç gün küçük bir hava taşı yardımıyla havalandırılarak uzaklaştırılması gerekmektedir.
- Balık kuluçkahane ve havuzlarının dezenfeksiyonunda geniş çapta klorlama uygulanmaktadır. Ayrıca fitoplankton yoğunluğunun kontrolünde ve balıkların stoklanacağı havuzlardaki su kalitesini iyileştirmede de (amonyak kontrolü vb.) kullanıldığı bildirilmiştir (Boyd and Tucker 1998).

- Hidrojen sülfür

- Havuzlarda zararlı hidrojen sülfür gazı çıkışı, oksijensiz katmanı yok etmek amacıyla kuvvetli havalandırıcıların kullanımı veya su değişimi ile önlenabilir (Buttner et al. 1993, Lawson 1995). Ayrıca havuzların periyodik olarak boşaltılması ve havuz tabanının kurutulması sedimentteki sülfürün yükseltgenmesi ile sonuçlanacak ve sedimentteki organik madde dekompozisyonunu artırarak hidrojen sülfür oluşumunu engelleyecektir. Hidrojen sülfürün zehirliliği, kireçleme ile pH'nın artırılması ve böylece hidrojen sülfürün daha az toksik olan sülfite iyonizasyonu yoluyla azaltılabilir (Boyd and Tucker 1998).

- Demir

- Havuzlarda balık yetiştiriciliğinde sudan demiri uzaklaştırmak için kullanılan en basit yöntem, suyun küçük bir havuzda havalandırıldıktan sonra ana havuza pompalanmasıdır. Böylece demir ferrik (Fe^{+3}) forma okside olur ve çökerek sudan uzaklaştırılır. Suda fazla miktardaki demirin ortamdan hızlı uzaklaştırılması için kuvvetli havalandırma yapılmalı veya su balık havuzlarına girmeden önce kum filtre ya da çöktürme havuzundan geçirilmelidir. Havuza girmeden önce suyun kireçlenmesiyle de demir çökeltme işlemi yapılabilir (Buttner et al. 1993).
- Havuzlara uygulanan demir takviyeli gübreler fitoplankton gelişimini destekler. Havuz sedimentindeki Fe^{+2} mikrobiyal aktivite sonucu üretilen hidrojen sülfür gazının sedimente çökmesini sağlar. Ancak asidik pH'ya sahip sedimentlerde kireçleme, sedimentteki yüksek demir konsantrasyonlarını azaltır (Boyd 2008b).

Azotlu bileşikler

- Ticari balık havuzlarında iyonize olmuş veya iyonize olmamış amonyağın konsantrasyonlarını azaltmak için pratik bir yöntem yoktur. Balık havuzlarında stoklama ve yemleme oranlarının azaltılması ilk olarak yapılması gereken işlemlerdir. Küçük çaplı yetiştiricilik sistemlerinde ise toplam amonyak azotu konsantrasyonu, suyun değiştirilerek seyreltilmesi ve pH'nın düşürülmesi ile azaltılabilir (Anonymous 2011a).

- Akvaryum veya küçük havuzlarda amonyağın daha az zehirli olan nitrit ve nitrata dönüştürülmesi için gerekli olan bakteri popülasyonunu (nitrifikasyon bakterileri) içeren biyolojik filtreler kullanılabilir. Bu bağlamda suyun pH'sının hafif alkali ve su sıcaklığının 25-35 °C arasında olması istenir. Nitritin balıklara zehir etkisi suyun çözünmüş tuz miktarı arttıkça azaldığından, sudaki nitritin zehirliliği ve balıklarda oluşturduğu stres suya tuz ilavesi (1 mg/L nitritin uzaklaştırılabilmesi için 3 g/L sodyum klorür) ile giderilebilir. Yüksek nitrat derişimlerinde de su değişimi sağlanmalıdır (Anonymous 2011b). Ayrıca sucul ortamlarda havanın suya difüzyonu ile meydana gelen ve istenmeyen azot gazına aşırı doymuşluk durumu, suyun havalandırılması ile düzeltilebilir.

- Balık havuzlarında amonyağın temel kaynağı yemdeki proteindir; yemdeki protein tamamen metabolize olduktan sonra amonyak solungaçlar yoluyla suya bırakılır. Bu nedenle havuz suyundaki amonyak seviyesi yemleme oranının ya da yemin protein seviyesinin düzenlenmesi ile kontrol altına alınır. Ancak bu durum, kısa (günlük) ya da uzun süreli (haftalık ya da aylık) kontrol sürecine göre değişim gösterir. Kısa süreli azot yönetiminde yemleme oranının ani bir şekilde azaltılmasının amonyak konsantrasyonu üzerine dikkate değer bir etkisi yoktur. Amonyanın uzun dönemli kontrolünde ise, yemleme oranı ile birlikte yemin protein seviyesi ayarlanır ve balıkların tüketebileceği miktarda yem verilir (Hargreaves and Tucker 2004).

- Bazı üreticiler havuz suyunun havalandırılmasının, zehirli amonyak gazının sudan havaya difüzyonunu sağlayacağından sudaki amonyak düzeyini azaltmakta etkili olduğunu savunmaktadır. Ancak havalandırılabilen su miktarının toplam havuz hacmiyle karşılaştırıldığında oldukça az olduğu dikkate alındığında, havalandırmanın sudaki amonyak konsantrasyonunu düşürmede etkili olmadığı, özellikle yoğun havalandırma ile havuz taban sedimenti suya karışacağından sudaki amonyak konsantrasyonunun artabileceği de belirtilmektedir.

- Havuzlarda kireçleme yapılması, yüksek amonyak konsantrasyonunun düşürülmesini sağlamamakta; sadece akşamüstleri sudaki yüksek pH düzeyini azaltarak amonyağın balıklar için toksik olan formdan toksik olmayan forma dönüşümünde etkili olmaktadır. Balıklar tarafından suya bırakılan amonyağın büyük bir kısmı algler tarafından alındığından alg büyümesinin artması sudan amonyak alımının artması anlamını taşır. Bu bağlamda havuzlarda fosfor içerikli gübre kullanımı sudaki amonyak seviyesini azaltır (Hargreaves and Tucker 2004).

- Entansif balık yetiştiriciliği yapılan havuzlarda çözünmüş oksijen konsantrasyonu yeterli düzeyde ise organik karbon ilavesi amonyak konsantrasyonunu azaltır. Suyu zeolit ilavesi amonyak adsorpsiyonunu sağlayacağından amonyakın sudaki konsantrasyonunu düşürür. Ancak bu uygulama büyük hacimli balık havuzları için değil yalnızca akvaryum ya da küçük ölçekli balık üretim üniteleri için uygundur. Zeolitler 2-5 meq/g'lık toplam katyon-değişim kapasitesine sahiptir; 1 meq $\text{NH}_4\text{-N}$ (amonyum azotu) 14 mg ağırlıkta olup, zeolit teorik olarak 28-70 mg $\text{NH}_4\text{-N/g}$ 'ı bünyesinde tutar. Acı suda katyon konsantrasyon miktarının daha yüksek oluşu, zeolitin amonyum azotunu uzaklaştırma etkinliğinin tatlı suya oranla daha düşük olmasına neden olur (Boyd and Tucker 1998).

- Su ürünleri yetiştiriciliği yapılan havuz tabanında azotun büyük bir kısmı organik maddede bulunur. Yüksek miktarda organik madde yüküne maruz kalan havuzlarda C:N oranı uygun değerlerden (8:1 - 12:1) daha düşüktür, bu nedenle sediment-su ara yüzeyinde oksijensiz bir katman oluşur. Entansif üretim yapılan havuzlarda taban toprağındaki C:N oranı düşükken, ekstansif üretim yapılan havuzlarda yüksek oranlar saptanabilir. Tabandaki organik karbon konsantrasyonlarına ilişkin olası sonuçlar Çizelge 3.3'de sunulmuştur (Boyd 2008b).

Çizelge 3.3. Havuz tabanındaki organik karbon konsantrasyonlarına bağlı sonuçlar (Boyd 2008b)

Organik karbon (%)	Sonuçlar
0-0,50	Çok düşük, iyi bentik büyümeyi desteklemez.
0,51-1,00	Gübrelenmiş havuzlar için düşük, yemleme yapılan havuzlar için oldukça uygundur.
1,01-2,50	Gübrelenmiş havuzlar için ideal, yemleme yapılan havuzlar için kabul edilebilir.
> 2,5	Çok yüksek, taban toprağında oksijensiz koşulların ortaya çıkmasına olanak sağlar.

- Fosfor

- Havuz suyunda yüksek toplam fosfor konsantrasyonu; fazla stoklama ve yemleme yapıldığında, yoğun fitoplankton üremelerinde, yüksek askıda katı madde varlığında, yoğun gübre uygulamalarında ortaya çıkabilir. Ayrıca işletme giriş suyunun ötrofik olması durumunda veya havuzun boşaltılması esnasında çıkış suyunda da yüksek miktarda toplam fosfor tespit edilebilir. Toplam ortofosfat konsantrasyonu, havuzlarda biyolojik aktivite nedeniyle hızla değişirken toplam fosfor konsantrasyonları su ürünleri işletmeleri çıkış suları ve doğal sularda daha fazla stabildir.
- Balık üretim havuzlarında toplam fosfor konsantrasyonunu düşürmek için, fitoplankton üremesini teşvik eden gübreler gerektiğinde ve uygun dozda kullanılmalıdır. Ayrıca havuzdaki su kalitesine zarar verecek düzeyde stoklama ve balıkların tüketemeyeceğinden fazla yemleme yapılmaması önerilir (Boyd 2001b).

- Metaller

- Metallerin balıklara zehir etkisi, sudaki kimyasal formlarına ve su sertliği başta olmak üzere suyun sıcaklık, pH, tuzluluk, çözünmüş oksijen gibi diğer kalite özelliklerine bağlıdır. şehir kullanım suları farklı konsantrasyonlarda metal içerebildiğinden (demir, kurşun, bakır, çinko) akvaryumlarda suya metal iyonları bağlayıcı maddelerin ilavesi tavsiye edilir. Örneğin; zeolitler, iyon değişimi ile sıvı akışkanlardan ayrılabilen çeşitli metal katyonları yüksek bir seçicilikle yakalar. Doğal zeolitler içme suyu ve atık sulardan ağır metal katyonlarının (Pb, Cu, Cd, Zn, Co, Cr, Mn ve Fe; Pb, Cu) yüksek bir seçicilikle ayrılmalarını sağlar (Anonymous 2011a).

Plankton ve sucul bitki yönetimi

- Su ürünleri yetiştiriciliği yapılan havuzların gübrenmesinin amacı, fitoplankton verimliliğini ve dolayısıyla su ürünleri üretim miktarını artırmaktır. Fitoplankton verimliliği ve biyokütlesi iki unsur tarafından kontrol edilir. Bu unsurlardan ilki kaynakların kullanılabilirliği ile sağlanan aşağıdan-yukarıya doğru etkileşimli kontrol olarak adlandırılır. Aşağıdan-yukarıya doğru etkileşimli kontrol; bitki besin elementleri ve gün ışığının kontrolüne dayanır. Kaynak kullanılabilirliği her bir besin zincirinin; birincil üreticilerden (bitkiler) ikincil üreticilere (bentik omurgasızlar ve zooplanktonlar), ikincil üreticilerden üçüncül (tersiyer) üreticilere (balıklar) doğru olan besin seviyesini etkiler.

- Yukarıdan-aşağıya doğru etkileşimli kontrolda ise besin zincirinin üst seviyesindeki predasyon, besin zincirinin alt seviyelerindeki toplulukların yapı ve biyokütlelerini etkiler. Örneğin, besin zincirinin üst halkalarındaki predatörler doğrudan planktivor balıkların bolluğunu belirleyeceğinden zooplankton ve fitoplankton topluluklarının taksonomik ayırım ve kompozisyonu ile biyokütleleri etkilenir. Su ürünleri yetiştiriciliği yapılan havuzların gübrelenmesi aşağıdan-yukarıya doğru uygulanan ekosistem verimliliğinin kontrolüne örnek olarak verilebilir. Benzer şekilde fitoplankton biyokütlesini sınırlamak ya da kontrol etmek için kimyasal uygulaması ile çöktürme ya da sucul makrofitlerin büyümesi ile sudaki fosforun uzaklaştırılması da kullanılabilir. Aşırı yemleme ile yüksek oranda besin elementi girişi olan su ürünleri yetiştiricilik havuzlarında fitoplankton bolluğunun kontrolü için yukarıdan-aşağı etkilerin ayarlanması (manuplasyonu) daha etkin olabilir. Yukarıdan-aşağı yöndeki plankton bolluğu ve su kalitesinin kontrolü biyomanuplasyon olarak adlandırılır. Su ürünleri yetiştiriciliği yapılan havuzlardaki birçok biyomanuplasyon çalışması plankton tüketen balıkların kullanımı ile fitoplankton bolluğunun azaltılabildiğini ortaya koymuştur (Boyd 2009).

- Su ürünleri yetiştiriciliği yapılan havuzlardaki bazı sucul bitki türleri sudaki inorganik besin elementlerini ortamdan uzaklaştırırken fitoplankton büyümesini de sınırlar. Örneğin; su ürünleri hasatı sırasında sudan uzaklaştırılmasının kolaylığı nedeniyle su üstü bitkisi olan su sümbülü (*Eichhornia crassipes*), fitoplankton büyümesinin kontrolünde kullanılabilir. Bunun yanısıra su sümbülleri yüksek konsantrasyondaki azot ve fosfor gibi besin elementlerini de sudan uzaklaştırır (Boyd 2009).

- Sucul ortamda su içi bitkilerinin varlığı, su ürünleri üretimiyle rekabet oluşturmayacak ölçüde fazla değilse sorun oluşturmaz. Aksi halde sucul bitkileri yok etmek ve fitoplankton topluluklarının tekrar oluşumuna olanak sağlamak için herbisitler kullanılır. Su ürünleri yetiştiriciliği yapılan havuzlarda ot kontrolünde kullanılan kimyasallar, yoğun bitki ölümünü takiben su kalitesinde kötüleşme meydana getirebilmektedir. Işığın tabana ulaştığı sığ havuzlarda birçok sualtı bitkisi büyümeye başlar, bu sorun havuz tabanının derinleştirilmesi ile aşılabılır. Bu durumda havuzların yeterli su kaynağı olmalı ve olabildiğince çabuk suyla doldurulmalıdır. Su derinliği artırıldığı takdirde söz konusu sualtı bitkilerinin büyüme olanağı azalır. Ayrıca üretim havuzunda fitoplankton patlamasını destekleyici etkili bir gübreleme programı da sorun yaratan aşırı su bitkileri gelişimini engelleyici iyi bir yöntemdir. Böylece sığ sular hariç tutulduğunda fitoplankton toplulukları, sucul bitkilerle besin elementi ve ışık için rekabet ederek su içi bitkilerinin gelişimini engeller.

- Bu yöntem kimyasal ot kontrolüne alternatif bir biyolojik kontrol yöntemidir. Sucul bitki kontrolü için mekanik olarak ya da elle uzaklaştırma yöntemi de tercih edilebilir. Su ürünleri üretimi yapılan havuzlarda su içi bitkilerinin uzaklaştırılması için biyolojik kontrol unsuru olarak bazı balık türleri tercih edilebilir. Bu amaçla filamentöz makroalgler dahil olmak üzere yüksek yapılı su bitkilerinin kontrolünde ot sazanı (*Ctenopharyngodon idella*), sazan (*Cyprinus carpio*) ve tilapianın bazı türleri kullanılır. Fitoplankton popülasyonlarının yoğun olduğu havuzların yönetiminde ise plankton tüketen balıklardan gümüş sazanı (*Hypophthalmichthys molitrix*), büyükbaş sazan (*Aristichthys nobilis*) ve bazı tilapia türlerinden yararlanır (Boyd and Tucker 1998).

- Havuzlarda besin elementinin azaltılması ve fitoplankton yönetimi için uygulanan su değişimi, su kalitesini iyileştirmek amacıyla özellikle acı su havuzlarında kullanılır. Havuzlarda fitoplankton bolluğunun azaltılması adına en etkili su değişimi, havuz suyunun % 50'sinin boşaltılması ve taze suyla tekrar doldurulmasıyla sağlanır. Entansif su ürünleri yetiştiriciliği yapılan havuzlarda mekanik havalandırma özellikle gece ölçülen aşırı düşük çözünmüş oksijen konsantrasyonlarının artırılması için uygulanır (Boyd 2009).

- Algisit uygulamaları sudaki fitoplankton biyokütlesini azaltarak çevresel faktörlerin iyileştirilmesini sağlar. Tatlı su havuzlarında toksik alglerin öldürülmesi için bakırsülfat kullanılır. Mavi-yeşil alglerin havuz suyu ve tabanında oluşturduğu kalitedeki azalmayı önlemek için havuzlara toplam alkalinitenin % 1'ine eşit olacak düzeyde bakırsülfat ilavesi yapılır. Bu uygulama sonrasında su içerisinde kalan alg kaynaklı toksinlerin oksidasyonu için 2-4 mg/L potasyum permanganat önerilir. Kıyı bölgelerdeki su ürünleri havuzlarında toksik algleri, su değişimini sağlayacak bir su akışıyla ortamdaki uzaklaştırmak mümkündür.
- Su ürünleri yetiştiriciliği yapılan havuzlarda fitoplankton bolluğunu azaltmak için fosforun sudan tabana çökmesini sağlayacak kalsiyum, demir ve alüminyum bileşikleri havuz suyuna belli konsantrasyonlarda ilave edilir. Fosforun sudan uzaklaştırılması fotosentez oranını azaltarak, sudaki karbondioksit miktarını artıracak ve mavi-yeşil alglerin büyümesi için uygun olmayan düşük pH'ya neden olacaktır (Boyd 2009).

Çizelge 3.4. Secchi Diski değerleri ile havuz yönetimi arasındaki ilişki (Boyd and Tucker 1998)

Secchi Diski değerleri (cm)	Sonuçlar
20 cm'den az	Havuz suyu oldukça bulanıktır. Havuz suyu fitoplanktonca zenginse çözülmüş oksijen konsantrasyonu azalır. Bulanıklık askıda katı maddelerden kaynaklanıyorsa verimlilik düşer.
20-30 cm	Bulanıklık artmaya başlamıştır.
30-45 cm	Bulanıklığın kaynağı fitoplankton ise havuz koşulları iyi durumdadır.
45-60 cm	Fitoplankton bolluğu azalmaya başlar.
60 cm'den fazla	Su oldukça temiz ve berraktır. Verimlilik düşer ve sucul bitki artışı gözlenir.

- Probiyotikler

- Su ürünleri yetiştiriciliği yapılan havuzlarda su ve taban toprağı kalitesini iyileştirmek için canlı bakteriyel aşılama ve enzim karışımları kullanılır. Bakteriler havuz suyu ve tabanındaki mikrobiyel toplulukların sayısını artırmak için uygulanır. Bu bakteriler; selüloz parçalayan bakteriler, nitrifikasyon bakterileri, denitrifikasyon bakterileri, sülfid yükseltgeyici bakteriler ve diğer bakteri türleridir. Su kalitesinin artırılması amacıyla canlı karışım içeren bakteri solüsyonu içeriğinde *Bacillus*, *Nitrobacter*, *Pseudomonas*, *Enterobacter*, *Cellulomonas*, *Rhodopseudomonas* gibi bakterilerin kullanıldığı bildirilmiştir (Boyd and Tucker 1998). Su ürünleri yetiştiricilik havuzlarında bakteriyel ıslah çalışmalarını izleyen olaylar aşağıda sıralanmıştır:
 - - Kötü su kalitesi önlenir,
 - - Mavi-yeşil alg yoğunluğu azalır,
 - - Nitrat, nitrit, amonyak ve fosfat konsantrasyonu azalır,
 - - Çözünmüş oksijen seviyesi artar,
 - - Organik madde parçalanma düzeyi yükselir.

- Katalizörler, kimyasal reaksiyonların hızlı bir biçimde dengeye gelmesi için ileri ve geri yönde gerçekleşen reaksiyonların hızını artırır. Reaksiyona giren moleküllerin reaksiyon için ihtiyaç duydukları bir aktivasyon enerjisi vardır. Katalizörler, moleküllerin daha hızlı reaksiyona girmesini kolaylaştırmak için aktivasyon enerjisini azaltarak reaksiyonlarda tüketilmeden tekrar kullanılır. Biyokimyasal reaksiyonlarda katalizörler, canlı hücrede bulunur ve protein molekülleri olarak katalize ettikleri reaksiyonlarda özelleşerek enzim adını alır. Enzimler katalizör oldukları reaksiyon için adlandırılır. Örneğin; selüloz selülozun daha küçük moleküllere parçalanmasını katalize ederken, oksidaz oksidasyonları katalize eder.
- Su ürünleri alanında havuzların su ve tabanında reaksiyonları hızlandırıcı katalizörler için enzimler kullanılır. Ancak ortamda bakteri bulunmadığında enzim ilavelerinin organik madde ya da toksik bileşenlerin parçalanmasını hızlandıramayacağı açıktır (Boyd and Tucker 1998).

- İzleme sıklığı

- Yoğun balık yetiştiriciliğinde, su sıcaklığı, çözünmüş oksijen, amonyak, nitrit ve pH değerleri gibi değişken özellikler için günlük ölçümler önerilirken; sertlik, alkalinite, tuzluluk gibi genel parametrelerin daha az sıklıkla (haftada bir veya iki kez) izlenmesi tavsiye edilir. Yetiştiricilik sistemlerinde, belirli zamanlarda ölçülen su kalite özellikleri düzenli bir şekilde kaydedilmelidir. Havuz ve ağ kafeslerde çözünmüş oksijen ölçümlerinin sabahın erken saatlerinde, sıcaklık ve pH ölçümlerinin ise akşamüstü saatlerinde yapılması önerilir (Anonymous 2008b). Balık üretimi yapılan sularda kullanılan arazi tipi çözünmüş oksijen, pH ve elektrik iletkenliği ölçüm cihazlarına ait bazı örnekler Şekil 3.2'de sunulmuştur (Anonim 2011c).

İÇ SU BALIKLARI YETİŞTİRİCİLİĞİNDE SU KALİTESİ

- Karada bir su ürünleri işletmesi kurulacaksa, su kaynağı olarak kaynak suyu, dere, ırmak, akarsu, göl, baraj suları veya yeraltı suları kullanılabilir. Yetiştiriciliğin başarısını, su kaynağının su kalitesi açısından uygun olup olmadığı tayin eder.
- Yetiştiricilikte su kaynağı olarak dere, ırmak veya akarsu seçildiğinde; bu tip suların mevsimlik su sıcaklığındaki değişimlerin fazla olması ve debilerinin değişkenliği birer dezavantaj iken, oksijence zengin olmaları avantajlı yönleridir. Ayrıca sel ve yağmur suları ile bu tip suların bulanarak taşıdıkları mil, balıkların solungaç yüzeylerini tıkayarak solunumlarını engelleyebilir. Böyle suların işletmede kullanmadan önce mutlaka dinlendirilmesi ya da filtrasyon havuzlarında bekletilmesi gerekir (Atay ve Çelikkale 1983).

- Yetiştiricilikte su kaynağı olarak kaynak veya yeraltı suyu kullanılacaksa, bu tip suların oksijence fakir, karbondioksit ve azot gibi gazlarca oldukça zengin olduğu unutulmamalı, havuzlara verilmeden önce ön havalandırılma yapılarak oksijence zenginleştirilmeli, içerdikleri istenmeyen gazlar da uçurulmalıdır. Bu tip suların, parazit veya hastalık yapıcı organizmaları taşımaması ve sıcaklıklarının fazla değişken olmaması akarsulara göre avantajlı yönleridir. Yetiştiricilik için seçilen su kaynağına evsel ve sanayi atık suların karışmaması gerekir. Zira bu tip sular balıklar için son derece zararlı olan ağır metal, deterjan vb. zehirli maddeleri içerebilir. Tarım arazilerinin yakınındaki işletmelerin ise yüzey akışları ile tarımsal mücadele ilaçlarından veya gübrelere etkilenmesi söz konusu olabilir (Çelikkale 1994a,b).

Çizelge 4.1’de su ürünleri yetiştiriciliğinde yeraltı ve yüzey sularının karşılaştırmalı olarak bazı su kalite özellikleri sunulmuştur.

Özellikler	Yeraltı suyu	Yüzey suyu
Sıcaklık	Kuyu derinliği veya enleme göre değişir.	Mevsimlik değişimler saptanabilir.
Bulanıklık	Düşük (temiz su)	Değişken, genellikle inorganik katılardan (kil ya da silt) ve/veya alglerden kaynaklanan orta dereceden yüksek dereceye kadar bulanık olabilir.
Toplam gaz basıncı	Yüksek (N doygunluğu)	Düşük
Azot (N)	Yüksek	Düşük
Çözünmüş oksijen	Düşük (genellikle <1 mg/L)	Değişken (> 5 mg/L)
Karbondioksit	Yüksek (0-50 mg/L)	Değişken (> 5 mg/L)
Hidrojen sülfür- Metan	Nadir	Tabakalaşma gösteren göletlerin anaerobik hipolimniyonunda bulunur.
pH	Düşük, yüksek orandaki karbondioksit yüzünden (genellikle <7,0) küçük günlük değişimler saptanabilir.	Günlük değişimler (6,5-8,5) olabilir.
Toplam çözünmüş katılar (mg/L) (tuzluluk)	Değişken ancak çok tuzlu olabilir (> 1500 mg/L NaCl)	Değişken (genellikle < 400 mg/L NaCl)
Fosfor	Yüzey sularından genellikle daha düşük	Yeraltı suyuna göre genellikle daha yüksek olabilir.
Amonyak	Düşük (< 1,0 mg/L)	Değişken, civardaki büyükbaş hayvan çiftliklerinden dolayı bazen yüksek de saptanabilir.

Çizelge 4.1. Su ürünleri yetiştiriciliğinde yeraltı ve yüzey sularının karşılaştırmalı olarak bazı su kalite özellikleri (Summerfelt 2011)

Çizelge 4.1. Su ürünleri yetiştiriciliğinde yeraltı ve yüzey sularının karşılaştırmalı olarak bazı su kalite özellikleri (Summerfelt 2011) (Devamı)

Özellikler	Yeraltı suyu	Yüzey suyu
Nitrat	Değişken, tarımsal faaliyetin fazla olduğu havzalardaki sığ kuyularda daha yüksek olabilir.	Değişken, tarımsal faaliyetin fazla olduğu havzalarda yüksek saptanabilir.
Alkalinite	Granit ya da killi yapılardaki havzalarda düşük, kireçtaşı aküferlerinde ortadan yüksek dereceye kadar değişir	Değişken, tabanı kireçtaşı olan havzalarda daha yüksektir.
Sertlik (Ca⁺⁺ ve Mg⁺⁺ iyonları)	Değişken (genellikle 50-250 mg/L)	Değişken
Çözünür demir (Fe⁺⁺) ve manganez (Mn⁺⁺)	Havada çözünmeyen formlarında (Fe ⁺⁺⁺ , Mn ⁺⁺⁺) hızlı bir şekilde yükseltgenir.	Sadece tabakalaşma gösteren göletlerin anaerobik hipolimniyonunda bulunur.

- Çizelge 4.2'de iç sularda yaygın olarak yetiştiriciliği yapılan alabalık ile sazan balıkları için önemli su kalite özellikleri ve bu özelliklere ilişkin sınır değerler sunulmuştur.
- Çizelge 4.3'de ise iç sularda ağ kafeslerde alabalık ve sazan yetiştiriciliği açısından önemli su kalite özelliklerine ilişkin değerler sunulmuştur. Bu kapsamda ağ kafeslerde balık yetiştiriciliğinde kafes tabanı ile su tabanı arasında belirli mesafe bulunmalı (örneğin; sazan yetiştiriciliğinde göllerde en az 1,0 m- akarsularda 0,5 m), tüketilmeyen yem ve balık dışkılarının bozuşma etkilerinin balıkları olumsuz etkilememesi için yeterli su sirkülasyonu sağlanmalıdır.

Çizelge 4.2. Alabalık ve sazan yetiştiriciliğinde su kalite özellikleri ve sınır değerleri (Çelikkale 1994a-b, Anonim 2006)

Özellik	Alabalık	Sazan
Su sıcaklığı (°C)	4-18 (Yetiştiricilik) 6-13 (Kuluçkahane)	16-28 (Yetiştiricilik) 18-20 (Kuluçkahane)
Ph	6,5-8,5	6,5-8,5
Çözünmüş oksijen (mg/L)	> 5	5 (Kuluçkahane)
Amonyak (NH ₃ , mg/L)	0,1 (Yetiştiricilik) 0,02 (Kuluçkahane)	0,02 (Yetiştiricilik)
Nitrit (NO ₂ , mg/L)	0,06-0,1 (Yumuşak sularda) < 0,2 (Sert sularda)	0,06-0,1 (Yetiştiricilik)
Nitrat (NO ₃ , mg/L)	0-3 (Kuluçkahane)	0-3 (Kuluçkahane)
Toplam sertlik ve alkalinite (CaCO ₃ , mg/L)	10-400 (Kuluçkahane)	50-400 (Kuluçkahane)
Hidrojen sülfür (H ₂ S, mg/L)	< 0,002 (Yetiştiricilik)	
Karbondioksit (CO ₂ , mg/L)	< 60 (Kuluçkahane)	0-15 (Kuluçkahane)
Bakır (mg/L)	0,006 (Yumuşak sularda) 0,01 (Sert sularda)	0,005 (Yumuşak sularda) 0,112 (Sert sularda)
Kadmiyum (mg/L)	< 0,0004 (Yumuşak sularda) < 0,003 (Sert sularda)	0,004 (Yumuşak sularda) 0,012 (Sert sularda)
Kurşun (mg/L)	0,001 (Yetiştiricilik)	0,1 (Yetiştiricilik)
Demir (mg/L)	< 0,5 (Kuluçkahane)	0-0,9 (Kuluçkahane)
Çinko (mg/L)	0-0,1 (Yetiştiricilik)	0-0,05 (Kuluçkahane)
Fosfor (mg/L)	0,1-3 (Kuluçkahane)	0,01-3 (Kuluçkahane)
Askıda katı madde (mg/L)	< 25 (Yetiştiricilik) < 5 (Kuluçkahane)	-

Çizelge 4.3. İç sularda ağ kafeslerde yetiştiricilik için önemli su kalite özellikleri
1994a,b)

(Çelikkale

Özellik	Alabalık	Sazan
Su sıcaklığı (°C)	< 20	> 20
Çözünmüş oksijen (mg/L)	> 6	> 5,5
pH	7,0	6,0-8,5
Amonyum (NH ₄ , mg/L)	< 0,5	<1,0
Su derinliği (m)	> 4 m (Göllerde) > 3,5 m (Akarsularda)	> 3 m (Göllerde) > 2 m (Akarsularda)

DENİZ BALIKLARI YETİŞTİRİCİLİĞİNDE SU KALİTESİ

- Su ürünleri yetiştiriciliği açısından önemli su kalite özellikleri ve bu özelliklere ilişkin sınır (standart) değerler uzun yıllar süren araştırma ve deneyimler sonucu elde edilmiştir. Yine de bu değerler, türden türe ve suyun diğer tüm kalite özelliklerine göre değişim gösterdiğinden yalnız bir yol gösterici olabilir. Bu bölümde sadece günümüzde yaygın olarak yetiştiriciliği yapılan deniz balıklarından çipura ve levrek için dikkate alınması istenen su kalite özellikleri ve sınır değerleri Çizelge 5.1'de verilmiştir. Farklı ülkelerde deniz balıkları yetiştiriciliğinde baz alınan su kalite özelliklerine ilişkin standart değerler ise Çizelge 5.2'de sunulmuştur.

- Denizel ortamlarda ağ kafeslerde yetiştiriciliğin başarılı olabilmesi; suyun kaliteli yani yetiştiricilik açısından çözünmüş oksijen, tuzluluk ve sıcaklığının uygun olmasına, ortamın besin düzeyine, suyun akıntı hızına ve doğal suyun yenilenme kapasitesine bağlıdır. Kafeslerden kaynaklanan atıkların dağılımı da suyun yenilenmesi ile ilişkili olduğundan su kalitesini belirleyen başlıca faktörler, işletmenin büyüklüğü ve yeridir. Uygun olmayan ortamlarda (kapalı ve yarı kapalı koılar gibi) yapılan faaliyetler dışında, yetiştiriciliğin su kalitesini olumsuz etkilemesi söz konusu değildir.

- Ülkemizde denizlerde ağ kafeslerde yetiştiriciliğe ilişkin olarak son yıllarda uygulanmakta olan yasal düzenlemelere göre; denizlerde çevre düzeni planı çalışmaları sonucunda su ürünleri yetiştiriciliğine ayrılan alanlardaki yetiştiricilik tesisleri arası mesafe, proje kapasitesi, su derinliği, akıntı hızı ve yetiştiricilik teknikleri dikkate alınması gereken kriterlerdir. Açık denizde (off-shore) yetiştiriciliğin ise deniz, kapalı koy ve körfezlerin dışında su derinliği en az kırk metre olan yerlerde uygun teknolojiler kullanılarak yapılması gerektiği bildirilmiştir (Anonim 2004).

Çizelge 5.1. Deniz balıkları yetiştiriciliğinde su kalite özellikleri ve sınır değerleri (Anonim 2006)

Su kalite özellikleri	Çipura		Levrek		Not
	Larva	Ergin	Larva	Ergin	
Oksijen (mg/L)	5-6	4-8	5-6	4-8	4 mg/L'nin altına düşülmesi istenmez 2 mg/L'ye kadar dayanırlar.
Tuzluluk (‰)	Doğal deniz suyu 36-38	5-44	26-38	0-60	Larval dönemin 0-20. günleri arasında tuzluluk doğal deniz suyu tuzluluğundan ‰ 26'ya kadar düşürülür. Amaç daha iyi hava kesesi gelişim oranı ve daha yüksek yaşama oranıdır. ‰ 0-64 tuzluluk değerinde levrek, ‰ 0-42 tuzluluk değerinde ise çipura yaşayabilir. Levrek için ‰64 üzeri, çipura için ‰ 5 tuzluluk düzeyi altında % 100 ölüm meydana gelir. Larva yetiştirmede alt limit ‰ 26 olmalıdır.
Sıcaklık (°C)	16-20	20-25	14-20	20-25	Larval dönemde sıcaklık değişimleri çok önemlidir. Ani sıcaklık değişimleri olmamalıdır. Ergin bireylerde 20-25 °C en iyi yem değerlendirme sıcaklığıdır. 6 °C altında yem alımı durur. 1 °C altında ölüm olur 28 °C üzerinde yem alımı durma eğilimi gösterir.
pH	7,5-8,0	7,5-8,0	7,5-8,2	7,3-8,3	7' nin altına düşmesi istenmez.
Serbest karbondioksit (mg/L)		Maksimum	20		
Amonyak (NH ₃ , mg/L)	0,01-0,05	0,02-0,05	0,01-0,05	0,02-0,05	
Amonyum- azotu (NH ₄ -N, mg/L)		0,2-0,3			
Nitrit (NO ₂ , mg/L)	0, 01-0,02	0,02	0,013-0,016	0,02	0,02 mg/L'yi geçmemelidir. Larva için 2 mg/L öldürücü dozdur.
Nitrat (NO ₃ , mg/L)	0,08-1,1	0,1-1,0	0,062-0,068	0,1-1,0	
Fosfat (mg/L)		0,1-1,0			
Silikat (mg/L)		2-5			
Total demir (mg/L)		Maksimum 0,1			

Çizelge 5.1. Deniz balıkları yetiştiriciliğinde su kalite özellikleri ve sınır değerleri (Anonim 2006)
(Devamı)

Kükürt (mg/L)	Maksimum 1,0	
Askıda katı madde (mg/L)	Maksimum 2,0	Larval dönemde kullanılan su çok berrak olmalı ve süspansiyon madde içermemelidir. Mekanik filtre sistemleri çok iyi kurulmalıdır.
Turbitide (ITU)	8,5-12	Larval dönemde kullanılan su çok berrak olmalı ve süspansiyon madde içermemelidir. Mekanik filtre sistemleri çok iyi kurulmalıdır.
Hidrokarbonlar Fekal koliform (100 ml'de)	Maksimum 1000	Su yüzeyinde görülen renklenme olmamalı
Klor (mg/L)	Maksimum 0,02	
Toplam civa (mg/L)	Maksimum 0,05	
Kadmiyum (Cd, mg/L)	Maksimum 0,01	
Kurşun (Pb, mg/L)	Maksimum 0,1	
Krom (Cr ⁺⁶ , mg/L)	Maksimum 0,05	
Arsenik (As, mg/L)	Maksimum 0,05	
Bakır (Cu, mg/L)	Maksimum 0,02	
Çinko (Zn, mg/L)	Maksimum 0,1	

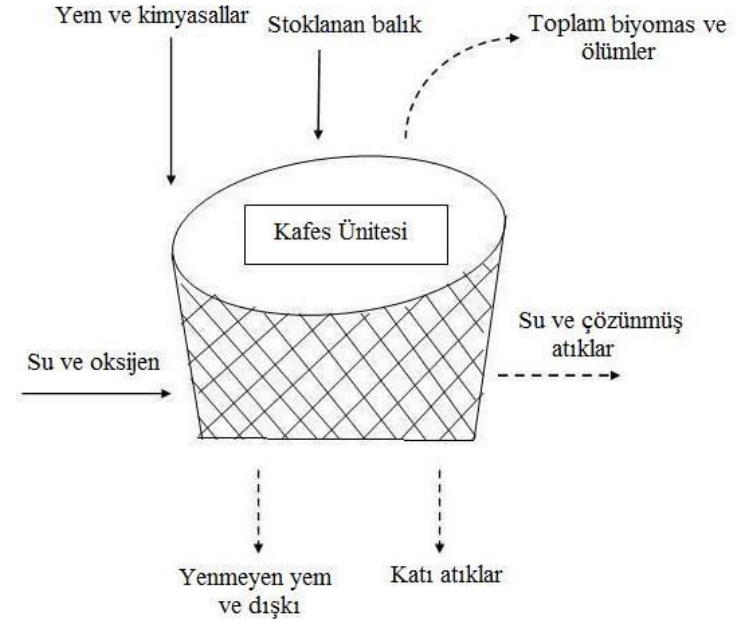
PESTİSİTLER

DDT (mg/L)	Maksimum 0,025	Bu değerler çipura ve levrek için ortak değerlerdir. Bunların özellikle larval dönemi kapsayan 0-40 günleri arasında daha sonra ise kafesten çıkma dönemine kadar (0.5-1 g) ortamda minimum oranlarda tutulması zorunludur. İlerleyen dönemde belirtilen oranlar aşılmadığı takdirde üretimi olumsuz yönde etkilemez.
Aldrin (mg/L)	Maksimum 0,01	
Dieldrin (mg/L)	Maksimum 2	
2.4 DEP (mg/L)	Maksimum 1	
BHC (mg/L)	Maksimum 0,03	
Endrin (mg/L)	Maksimum 0,08	
Heptaklor (mg/L)	0,03	
Pentaklorofenol (mg/L)	0,01	

NOT 1- Larval dönem olarak 0-40 günler arası alınmıştır. Bu dönem sonunda balık ağırlığı ortalama 30-40 mg'dır. 40-55 günler arası balık ağırlığına göre sevrage (mikrokapsül) geçilir. Bu günden sonrada ön büyütme ve büyütme dönemi başlar. **NOT 2-** Toplam amonyak tercihen 1 mg/L'in altında olmalı ve 5 mg/L'yi asla geçmemelidir. % 25-30' luk tuzlulukta acı su kullanıldığında besinlerin bünyede ete dönüştürülmesi ve balıkların hayatta kalma oranları artar. Çözünmüş oksijen oranı su çıkışında mümkün olduğunca yüksek tutulmalıdır. Yavru balıkların yoğunluğuna, metabolik oranlara ve organik madde oranına bağlı olarak, oksijen ihtiyacı yetiştirme tanklarında nispeten yüksek değerlere ulaşabilir. Bundan dolayı, saf oksijene dayalı oksijenasyon sistemi benimsenmelidir. Su sıcaklığı 18-20 °C arasında tutulmalıdır. Sıcaklık daha yüksek olduğunda balıklar daha hızlı gelişmektedir, fakat aynı zamanda bakterilerin gelişmesi, metabolizma, oksijen ihtiyacı, toplam amonyak nitrojen üretimi ve dış uyarıcılara cevap gibi biyolojik ve kimyasal reaksiyonlar da hızlanmaktadır. **NOT 3-** Diğer türlerle ilgili su kalite kriterleri, bu konuda yayınlanmış temel kitaplardan faydalanılarak değerlendirilebilir.

AĞ KAFESLERDE BALIK YETİŞTİRİCİLİĞİNİN SU KALİTESİNE ETKİSİ

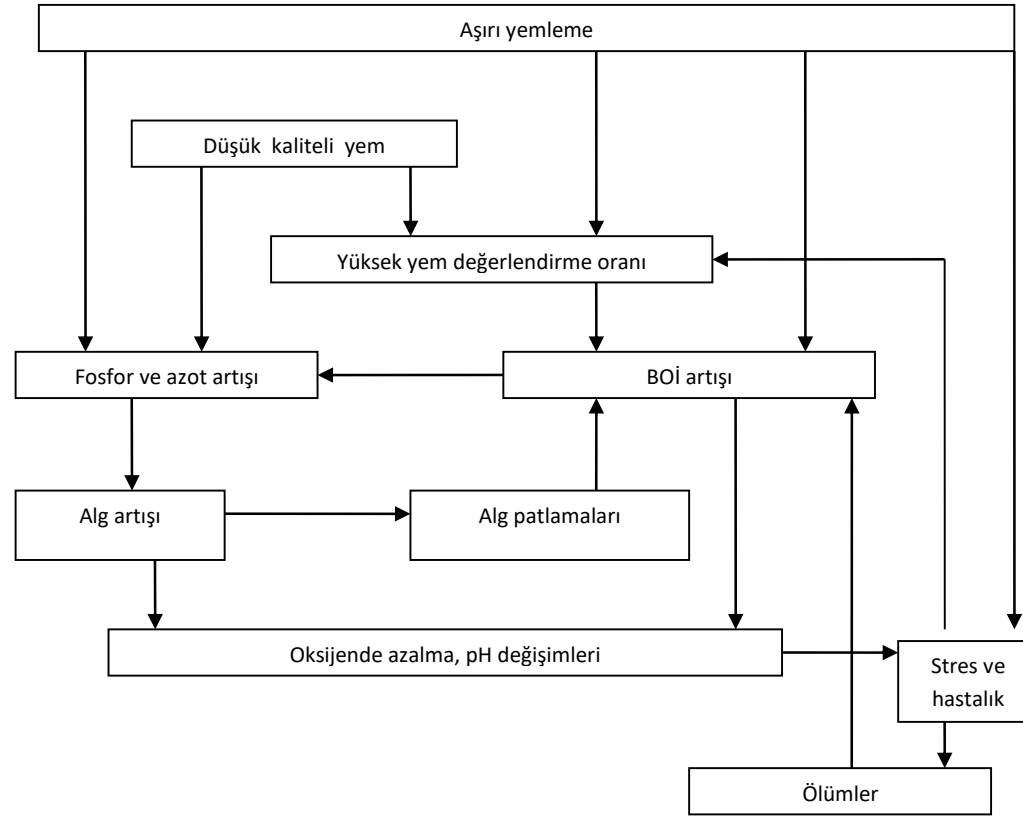
- Gelişmiş ülkelerde bir taraftan su ürünleri yetiştiriciliğinin sağladığı sosyo-ekonomik yararlar dikkate alınırken bir taraftan da çevrenin korunması ve yetiştiriciliğin çevre üzerindeki potansiyel etkilerinin en aza indirgenmesi yönünde bilimsel araştırmalar yapılmakta; elde edilen veriler ışığında, gerekli düzenlemeler ve işletme amenajmanına dönük önlemler geliştirilerek sürdürülebilir bir üretim sağlanmaktadır. Ağ kafeslerde su ürünleri yetiştiriciliğinin, su kaynaklarının kirlenmesine yol açıp açmadığını cevaplayabilmek için öncelikle yetiştiricilik-çevre etkileşimi boyutunun belirlenmesi ve diğer sektörler ile karşılaştırılması gerekmektedir. Bir ağ kafes sistemindeki ana girdi ve çıktılar Şekil 6.1'de gösterilmiştir.



Şekil 6.1. Ağ kafeslerde yetiştiricilikten kaynaklanan ana girdi (düz çizgiler) ve çıktılar (kesikli çizgiler)
(Kelly and Elberizon 2001)

- Ağ kafeslerde uygun olmayan koşullarda yapılan balık yetiştiriciliğinin alıcı ortamlar üzerindeki etkileri; su kalitesindeki olumsuz değişiklikler, alg patlamaları, alıcı sedimentin organik zenginleşmesi başta olmak üzere, hidrolojik düzen, drenaj, fiziki yapıların etkilenmesi ve kimyasal maddelerin kontrolsüz kullanımına bağlı olarak ortamın bozulması şeklinde sıralanabilir. Balık kafeslerinden çevreye giren ve esas olarak karbon ve azot içeren katı organik materyalin bir kısmı (% 15 civarında) askıda katı madde olarak su kolonunda kalır ve az da olsa kafes dışındaki balıklar tarafından tüketilir. Önemli bir kısmı ise sediment kimyasında ve tabanda yaşayan organizmaların tür ile sayısında önemli değişimlere yol açar (Atay ve Pulatsü 2000).

- Ağ kafes sistemlerinde balık yetiştiriciliğinden kaynaklanan atıkların su sütununa yapmış olduğu etkilere ilişkin çalışmalar, bu tip yetiştiriciliğin ortamın besin elementi ve askıda katı madde miktarını artırdığını, ışık geçirgenliği, çözünmüş oksijen, elektriksel iletkenlik ve pH değerlerini düşürdüğünü göstermiştir (Beveridge 1984, Phillips et al. 1985, Weglenska et al. 1987). Entansif balık yetiştiriciliğinde yem ve dışkı atıkları sedimentte birikirken, çözünebilir atıklar su kolonunda dağılmaktadır. Balık tarafından tüketilen azotlu bileşiklerin yaklaşık % 70'i çözünebilir amonyum ve üre olarak atılmaktadır (Çelikkale vd. 1999). Kelly and Elberizon (2001) tarafından ise, ılıman sularda kafes sistemlerinden atılan fosforun yaklaşık % 60'ının ve azotun % 30'unun katı formda olduğu belirtilmiştir. İç sularda ağ kafeslerde balık yetiştiriciliğine bağlı olarak gelişen çevresel koşullardaki genel olumsuzluklar Şekil 6.2'de sunulmuştur.



Şekil 6.2. İç sularda ağ kafeslerde balık yetiştiriciliğinden kaynaklanan çevresel değişimler (Laird and Needham 1988)

- Yemlerle sucul ortama giren organik madde, suda çözüldüğünde veya sedimentten suya geçtiğinde özellikle besin elementlerinin sınırlayıcı olduğu ortamlarda ötrofikasyona yol açabilmekte ve ışık geçirgenliğini azaltabilmektedir (Gowen and McLusky 1988). Bu nedenle, su ürünleri işletmelerinde yem yönetimi; su ürünleri işletmelerinin çevre üzerindeki etkilerinin azaltılması bakımından önemli bir araç olup, yalnız yemleme şekli ve zamanı değil yemin besin elementleri içeriği de önem taşımaktadır. Yemi oluşturan tüm bileşenler metabolizma ürünleri olarak atık haline gelmekte; bu ürünler organik karbon, organik azot (karbonhidrat, yağ, protein), amonyum, üre, bikarbonat, fosfat, vitaminler ve pigmentlerden oluşmaktadır. Sözü edilen dışkı ve metabolik atıkların miktarı stok yoğunluğuna ve kullanılan yemin kalitesine göre değişmektedir (Pillay 2004).

- Su ürünleri yetiştiriciliğinde yem kayıplarının oluşumu ve kayıp miktarı farklı faktörlerin etkisi altındadır. Bunların başında beslenecek türün yem alma alışkanlığı gelmektedir. Kimi türler yüzeyden yem alırken kimileri dipten veya su kolonundan yem almaktadır, yavaş yem alan türlerin beslenmesinde suda daha stabil kalabilen yüzen yemlerin kullanılması yararlıdır (Yıldırım ve Korkut 2004). Yem yönetimi bağlamında, yüksek enerjili ekstrude yemlerin seçimi ve kullanılmasının işletmelerin atık yükünün azaltılmasında etkili olduğu saptanmıştır (Aşır and Pulatsü 2008).
- Balık yetiştiriciliği işletmelerinden kaynaklanan kirletici miktarı veya besin elementi yükü; yemleme oranı, yem değerlendirme oranı, yemin azot ve fosfor içeriği veya yemin sindirilebilirliğine ilişkin veriler kullanılarak tahmin edilebilmektedir. Genel olarak pelet yemlerle beslenen kültür balıklarında, yemlemeden kaynaklanan besin elementi yükünün yaklaşık %25'i balık etinde tutulmakta, %75'i doğaya bırakılmaktadır (Dominguez et al. 1997). Farklı sistemlerde gökkuşuğu alabalığı yetiştiriciliğinden kaynaklanan azot ve fosfor yükü değerleri Çizelge 6.1'de sunulmuştur.

Çizelge 6.1. Gökkuşığı alabalığı yetiştiricilik sistemlerinde azot ve fosfor yükü (kg/ton balık üretimi) (O'Connor et al. 1992)

Yetiştiricilik sistemi	Azot yükü	Fosfor yükü
Havuz/tank, kuru yem	83	11,0
Kafes, kuru yem	104	27,0
Kafes, yaş yem	97	23,0
Kafes, kuru yem	87	13,5

- Kaliteli yemlerin kullanılması ile alabalık işletmelerinde yemin ete dönüşüm oranı da olumlu yönde etkilenecek daha az yemle üretim seviyesi korunmakta ve alıcı ortama daha düşük oranda fosfor ve azot bileşimleri bırakılmaktadır. 1974 yılında İskandinav ülkelerinden Danimarka ve Norveç'teki alabalık işletmelerinde yemin ete dönüşüm oranı 2,08 iken, bu oran 1995 yılında 1,0-1,1'e düşmüştür. Bu olumlu gelişme işletmelerin çıkış suyu kalitesini de olumlu yönde etkilemiştir. 1974 yılında 1 ton balık üretiminin alıcı ortama bıraktığı azot ve fosfor yükü sırasıyla 132 ve 31 kg iken, bu değerler 1995 yılında sırasıyla 55 ve 4,8 kg olarak tespit edilmiştir (Anonim 2003).

- Ağ kafeslerde balık yetiştiriciliğinde çevreye verilen toplam fosfor miktarı, yemin fosfor miktarına ve sindirilebilirliğine bağlıdır. Alabalık yetiştiriciliğinde yem değerlendirme oranı 1,5-2,0:1 ve her ton alabalık üretimi için çevreye verilen fosfor miktarı 17-32 kg arasındadır. Entansif alabalık yetiştiriciliğinde toplam yem kaybı, toz yem ve tüketilmemiş yem olarak yaklaşık % 20'dir. Havuz ve ağ kafeslerde yetiştiricilikte yemin ete dönüşüm oranı karşılaştırıldığında, ağ kafeslerde yem kaybının % 20'den daha fazla olduğu bildirilmiştir (Atay 1987).

- Göl ve rezervuarlar denizel ortamlarla karşılaştırıldığında alansal olarak oldukça küçük, zayıf akıntıya sahip ve suyun değişimi günden çok ay veya yıl bazında olan alıcı ortamlardır. Bu nedenlerle iç su alanlarında ağ kafeslerde yetiştiricilikten kaynaklanan atıkların etkisi denizlerdeki yetiştiriciliğin çevresel etkilerinden çok daha fazla olabilmektedir. Yine de iç sulardaki araştırmalar, deniz ortamındaki yetiştiriciliğin çevresel etkilerine ilişkin çalışmalara oranla oldukça azdır (Kelly and Elberizon 2001).

- Son yıllarda yetiştiriciliğin geliştirilmesi amacı ile baraj göllerimizde yaygınlaşan ağ kafeslerde su ürünleri yetiştiriciliği bazı kaygı ve sorunları da beraberinde getirmiştir. Bu kaygıların başında su ürünleri yetiştiriciliğinin alıcı ortamlarda oluşturabileceği çevresel baskı gelmektedir. Ancak proje safhasındaki yer seçimi ve işletme kapasitesinin ortamın taşıma kapasitesine göre belirlenmesi, ağ kafeslerde yetiştiriciliğin ekolojik etkilerinin ve ortaya çıkabilecek riskin azaltılmasında son derece önemlidir. Su ürünleri yetiştiriciliği kapsamında taşıma kapasitesi; genellikle büyüme oranlarını olumsuz yönde etkilemeden belirli bir tür stokunun maksimum üretim kapasitesi çerçevesinde ortama vereceği kirlilik yükünü ifade etmektedir (Pulatsü 2003, Büyükcapar and Alp 2006).

- Ülkemizde baraj göllerinde su ürünleri üretimi 1994 yılında 100 ton/yıl kapasiteli alabalık işletmesi ile başlamış olup, 2008 yılı itibariyle baraj göllerinde 160.933 ton/yıl kapasiteli 1587 adet ağ kafes işletmesi bulunmaktadır (Anonim 2011d). Baraj göllerinde su ürünleri üretim faaliyetlerini düzenlemek üzere Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü (DSİ) ve Tarım ve Köyişleri Bakanlığı Tarımsal Üretim ve Geliştirme Genel Müdürlüğü (TÜGEM) arasında 28.12.2004 tarihinde bir protokol imzalanarak uygulamaya konulmuştur. Bu protokol ile içme suyu amacıyla yapılmış olan barajlar dışındaki sulama, taşkın ve elektrik üretimine ayrılan baraj göllerinde uygulanmak üzere su ürünleri üretimi amacıyla tahsis edilen yüzey alanı % 1'den % 3'e çıkarılmıştır. Ayrıca, baraj göllerinde ekstansif ve yarı-entansif üretim sistemi ile yetiştiricilik yapılmasına olanak tanınarak sektörün gelişimi için yeni bir açılım sağlanmıştır. Baraj göllerinde yetiştiricilikte en az kapasite 25 ton/yıl olarak belirtilmiş, tesisler arasındaki mesafenin 250 metreden ve kiralanacak alanın üretim yapılacak alanın iki katından az olamayacağı bildirilmiştir (Anonim 2004).

- Günümüzde denizel ekosistemlerdeki balıkçılık faaliyetleri de izlenmektedir. ‘Denizlerde Balık iftliklerinin Kurulamayacağı Hassas Alan Niteliğindeki Kapalı Koy ve Körfez Alanlarının Belirlenmesine İlişkin Tebliğ’ (24 Ocak 2007, 26413 Sayılı Resmi Gazete) kapsamında tanımlanan hassas bölge, ötrofik olduğu belirlenen veya gerekli önlemler alınmazsa yakın gelecekte ötrofik hale gelebilecek doğal tatlı su gllerini, diğer tatlı su kaynaklarını, haliçler ve kıyı sulara etki eden bölgeleri içermektedir. Bu bağlamda balık iftliği kurulamayacak hassas alan niteliğindeki alanlara ait kriterler izelge 6.2’de verilmiştir.

Çizelge 6.2. Balık çiftliği kurulamayacak hassas alan niteliğindeki alanlara ait kriterler (Anonim 2007)

Parametre	Kriter
Derinlik	≤ 30 m.
Kıyıdan uzaklık	≤ 0.5 deniz mili
Akıntı hızı	≤ 0.1 m/sn.

KARADA KURULU SU ÜRÜNLERİ İŞLETMELERİ ÇIKIŞ SULARINDA KALİTE YÖNETİMİ

- Karada kurulu su ürünleri yetiştiriciliği çıkış suları; ötrofikasyona yol açan özellikle fosfat ve nitrat gibi besin elementleri ile biyolojik oksijen ihtiyacı (BOI_5) ve kimyasal oksijen ihtiyacı (KOİ) gibi parametreleri kullanarak ölçülen oksijen dengesi üzerinde istenmeyen etkiye sahip maddeleri içermesi nedeniyle önem taşımaktadır. Bu bağlamda su ürünleri yetiştiriciliği-çevre etkileşiminde, balık işletmeleri çıkış suları özelliklerinin de belirlenmesi ve su ürünleri yetiştiriciliğinin çevre üzerindeki etkisinin nicel olarak tespiti kaçınılmazdır.

- Son yıllarda çevreci grupların da baskısıyla pek çok ülke, su ürünleri yetiştiriciliği çıkış sularına yönelik düzenlemeler yapmaya başlamıştır. Bazı Avrupa ülkeleri ağ kafeslerde balık yetiştiriciliği, Avustralya gibi bazı ülkeler ise havuzlarda balık ve karides yetiştiriciliği çıkış suları için belirli düzenlemeler getirmiştir. Su ürünleri yetiştiriciliği çıkış suları için Amerika Birleşik Devletleri'nde uzun yıllar "Ulusal Kirlilik Deşarjı Eliminasyon Sistemi" izinleri uygulanmış, 2004 yılından sonra ise 'Amerika Birleşik Devletleri Çevre Koruma Kurumu', ilgili düzenlemeler konusunda yaptırımında bulunmaya başlamıştır. Brezilya, Ekvator, Hindistan, Meksika, Tayland, Venezualla gibi pek çok tropik ülkede de su ürünleri yetiştiriciliği çıkış sularına yönelik düzenlemeler söz konusudur. Ayrıca balık işleme tesisleri çıkış suları için bazı parametreleri kapsayan standart değerlerin önerildiği belirtilmiştir (Boyd 2003).

- Karada kurulu gökkuşuğu alabalığı işletmeleri başta olmak üzere işletmelerin çıkış suları yönetimine ilişkin uygulamalar aşağıda maddeler halinde belirtilmiştir.
- - **Çöktürme tank ve havuzları**
- Su ürünleri yetiştiriciliğinde atıksu arıtım metotlarından biri, işlemin basitliği ve yapılabirliği açısından çöktürmedir. Çöktürme, akar-sularda salmonid üretimi ile soğuk su ve ılık su balıkları tekrar dolaşımli (resirkülasyon) üretim sistemleri, havuzlarda yetiştiriciliği yapılan yayın balığı ve karidesler gibi tüm su ürünleri yetiştiricilik faaliyetlerinde kullanılır (Sindilariu 2007). Su ürünleri işletmeleri çıkış sularındaki fosforun, organik maddenin ve balık kaynaklı ortama bırakılan azotun, çökertilerek uzaklaştırılması mümkün olduğundan çöktürme, işletmelerin atık yükünü azaltmada etkin bir yöntemdir (Şekil 7.1) (Midlen and Redding 1998).
- Balık yetiştiriciliği kaynaklı atıklar; çözünebilir besin elementleri ve biyokatılardan oluşmaktadır. Biyokatılar tüketilmemiş yem ve dışkılarından kaynaklanmakta, besin maddeleri ise balık boşaltım ve biyokatılardaki besin elementlerinin erimesiyle meydana gelmektedir. Katıların fiziksel özellikleri parçalanmalarını engellediğinden etkili katı atık yönetiminin anahtarı, katıların tekrar dağılımlarına yol açmaksızın olabildiğince hızlı bir şekilde çöktürme alanlarından uzaklaştırılmasıdır (Anonymous 2009).

- Yetiştiricilikten kaynaklanan mevcut katı atıklar, bir arıtım biriminin (durgun çöktürme havuzları, devamlı-akışlı çöktürme havuzları, uzun-sürelili çöktürme havuzları) yatık çöktürücülerin (tüp veya dönen seperatörler), mikrofiltrelerin ve granüler medya filtrelerin (bilye veya toprak filtreler) kullanılmasıyla tank çıkış suyundan uzaklaştırılabilir. Geleneksel sedimentasyon işlemi 40-100 μm 'den daha büyük katıların uzaklaştırılmasında kullanılmaktadır. Tane boy dağılımı ve katıların konsantrasyonlarına bağlı olarak geleneksel sedimentasyon süreci ile katıların % 30-80'i uzaklaştırılabilir (Anonymous 2006).

- Çöktürme havuzları; giriş, çöktürme, sulu çamur ve çıkış bölümünden oluşur (Şekil 7.2). Her bölümün farklı bir özelliği bulunmaktadır. Giriş bölümü su akışını havuz alanına paylaştırır. Çöktürme bölümünde sedimentasyon gerçekleşir ve katılar su sütunundan ayrılarak sulu çamur bölümünde toplanır. Çıkış bölümü ise arıtılmış suyu tahliye eder (Fornshell 2001).



Şekil 7.2 Çöktürme havuzunun fonksiyonel bölgeleri (Fornshell 2001)

- - **Filtre sistemleri ve eleklerin kullanımı**

- Norveç'te 250-120 μm göz açıklığında filtreler kullanılarak balık üretimi işletmelerinin çıkış sularında bulunan askıda katı madde % 16-94 oranında uzaklaştırılmıştır (Anonim 2003). Almanya'da bazı işletmelerde deşarj standartlarını sağlamak için mekanik arıtma araçlarından filtreler kullanılmakta, parçacıklar göz açıklıkları 60-100 mm arasındaki eleklerden geçirilmektedir (Bergheim and Brinker 2003).



Şekil 7.3. Mekanik filtrasyonda kullanılan tambur filtre (Anonim 2011a)

- Alabalık işletmelerinin çıkış suları hububat veya mera alanlarında kullanılabilir. Alabalık işletmelerindeki mikroeleklerin geri yıkanmasıyla ortaya çıkan kalınlaşmış çamur ve kalınlaşmış çökelti çamurunun tarımsal gübre olarak kullanımı Orta Avrupa'da yaygındır. Ancak akar-su kaynaklı alabalık üretiminin birincil atık sularının arazide kullanımının uygun olmadığı bildirilmiştir (Sindilariu 2007).

- - **Kritik kontrol noktalarının belirlenmesi**
- Akar-su sistemleri için bilinen atık yönetimi unsurlarının “En İyi Yönetim Çalışmasında ve Standart Operasyon Planında” ne şekilde yer alacağı önemlidir. Bu unsurlar sadece atık kontrolü için değil aynı zamanda “Uluslararası Kirlilik Yok Etme Sistemi” izinlerine uyum için de önemlidir. Bu bağlamda, akar-su sistemleri için dokuz kritik kontrol noktası tanımlamıştır. Bu noktalar; giriş suyu kalitesinin izlenmesi, kanala giren suyun debi kontrolü, yem ve yemleme, balık sağlığı, ölü bölge tespiti, atık yönetimi, çıkış suyu kalitesi izleme, çöktürme havuzu ve bu konularda personelin eğitimidir (MacMillan et al. 2003).

- - **İşletmeler arası mesafe**
- Çevre açısından en büyük sorun balık işletmelerinin belirli bir bölgede yoğunlaşmasıdır. Tek bir işletmenin çıkış suyu ekosistem açısından olumsuz bir sonuca yol açmazken, aynı bölgede lokalize olmuş işletmelerin etkileri birbirine eklenerek ekosisteme zarar verebilmektedir (Midlen and Redding 1998).

- **-Yapay sulak alanlar**

- Su ürünleri işletmelerinin atık yönetimi modellerinden biri olan yapay sulak alanlarda, işletmelerin çıkış suyundaki besin elementleri bitkiler tarafından kullanılır. Yapay sulak alanlar işletmeye yakın ve ucuz arazi varlığında ek bir enerjiye gereksinim duymadıkları için diğer atık uzaklaştırma yöntemlerine göre daha ekonomiktir. Ancak işletme çıkış sularının sulak alanlara verilmeden önce birincil çöktürme sisteminden geçirilmeleri gerekmektedir. Yükleme oranı 30 kg/m²yıl olduğunda yapay sulak alanlar ile askıda katı maddenin % 95, azotun % 80 ve fosforun % 90 oranında uzaklaştırıldığı saptanmıştır. Yapay sulak alan kullanımının çöktürme havuzları ile filtrasyon yöntemlerine göre en büyük dezavantajları; ikincil bir atık uzaklaştırma yöntemi olmaları ve geniş araziye gereksinim duyulmasıdır (Miller and Simmens 2002). Birçok araştırmacıya göre yapay sulak alanlarda çıkış suyu arıtımında kullanılan makrofitler besinleri uzaklaştırır, akışı azaltır, katı madde çökmesini artırır ve mikrobiyal biyofilmler için ek bir gelişim yüzeyi oluşturur (Sindilariu 2007).

- - **Mekanik sedimantasyon ve biyolojik arıtımın birlikte kullanıldığı havuzlar**
- Akar-su sistemli işletmelerde mekanik sedimantasyon ve biyolojik arıtımın birlikte kullanıldığı havuzlar, biyolojik arıtmalı mekanik çöktürmeyi kombine etmektedir. Biyolojik arıtmanın miktarı, devir oranına ve havuzdaki mikrobiyal aktif yüzey alanına bağlıdır. Mikro-filtreden geçen alabalık işletmesi çıkış suyunu alan mekanik sedimantasyon ve biyolojik arıtımın birlikte kullanıldığı havuzlarda yetiştirme mevsimindeki arıtım verimlilikleri, askıda katı madde için % 54, toplam fosfor için % 35 olarak belirtilmiştir (Sindilariu 2007).

- - **Yapay kanalların kullanımı**

- Su ürünleri işletmeleri çıkış suyunu arıtmak için akarsuların doğal temizleme özelliğinden yararlanacak biçimde yapay kanallar kullanılır. Yapay kanallarda; fiziksel çöktürme ve tanecikli besin maddelerinin elenmesi, askıdaki tanecikli ve çözünmüş besinlerin kimyasal ve biyolojik pıhtılaşması, topaklanması, soğrulması, şekil değiştirmesi ve tüketim işlemleri gerçekleşir (Sindilariu 2007).

- **- Kaliteli yem kullanımı**

- Su ürünleri yetiştiricilik faaliyetleri sonucu ortaya çıkan metabolik atıklar, askıda ve çözünmüş halde bulunur. Yetiştiricilik sistemlerinin atık yükünü, kullanılan yem miktarı belirler. İyi yönetilen bir işletmede kullanılan yemin % 30'u katı atığa dönüşür. Su sıcaklığı artışına paralel olarak yemleme oranı artacağından, yaz aylarında işletmelerin alıcı ortama bıraktıkları katı atık yükünde artışlar meydana gelir (Miller and Simmens 2002).
- Yüksek oranda yağ ve daha düşük oranda protein içeren yüksek enerjili ekstrude yemlerin geliştirilmesi ve kullanılması su ürünleri işletmelerinin çıkış sularının kalitesini olumlu yönde etkiler. Yetiştiricilikte azotlu atıkların minimuma indirgenmesi, yemdeki sindirilebilir proteinin sindirilebilir enerjiye dönüşüm oranının düşürülmesi ile azaltılabilir. Fosforlu atıklar ise yem bileşenlerinin dikkatli seçiminin yanı sıra yemde balığın gereksinimini karşılayacak düzeyde sindirilebilir fosfor içeriğinin optimizasyonu ile azaltılabilir (Cho and Bureau 2001).

- - **Kimyasal madde kullanımı**

- Alabalık işletmesi çıkış suyunun arıtımında; kimyasal pıhtılaşma ve topaklanma ile kimyasal çöktürme de kullanılır. Mikroelek geri yıkama çamuru veya çöktürme çamurunu daha da kalınlaştırmak ve suyunu çektiirmek için ikincil arıtımında kimyasal madde kullanımı ekonomik olabilir. Kimyasal madde kullanımı ile askıda katı maddeler % 99, fosfat ise % 97 oranında azaltılabilmektedir. Çöktürme işleminde Al^{+3} ve Fe^{+3} tuzlarından $Al_2(SO_4)_3$ ve demir klorid ($FeCl_3$) kullanılmaktadır ancak özellikle alüminyumun balıklara olan potansiyel zehirlilik etkisi dikkate alınmalıdır (Sindilariu 2007).

- - **Ultraviyole/Ozonlama Yöntemi**

- Çıkış suyunun dezenfeksiyonunda ultraviyole ışınları kullanılmaktadır. Virüsler de dahil çoğu patojen düşük seviyede ışınlama ile öldürülebilir. Ultraviyole yönteminin etkin olması için katı maddeler ortamdan uzaklaştırılmalıdır. Ultraviyole sistemler düşük bakım maliyeti gerektirir ve riski az dezenfeksiyon yöntemidir. Ozon sudaki organik çözünmüş maddeleri azaltırken partikül filtrasyonunu artırır (Miller and Simmens 2002).

- - **Biyolojik yöntemler, nitrifikasyon ve biyofiltrasyon**
- Çıkış suyunun biyolojik arıtımında solunum, nitrifikasyon ve denitrifikasyon ile çözünür fosforun tüketimi ve depolanması önemli işlemlerdir. Solunum oksijen tüketimiyle organik maddenin karbondioksite dönüşümüdür. Nitrifikasyon oksijenli şartlarda toplam amonyak azotunun ilk basamakta nitritten nitrata, denitrifikasyon ise oksijensiz şartlarda nitratin moleküler azota dönüştürüldüğü mikrobiyal işlemlerdir. Biyolojik arıtımda; çamur işleme, sızdırma filtre, su altı filtre, döner-malzemeli filtre, hareketli yatak filtre, sıvılaştırılmış yatak filtre ve düşük yoğunluklu malzemedan yapılmış filtre teknikleri kullanılmaktadır (Sindilariu 2007). Son yıllarda alabalık işletmeleri atıksularının arıtılmasında, suya dikey olarak batırılan ve etkili yüzey alanı olan bir çeşit sentetik halı özelliğindeki AquaMats adlı bir biyofiltrasyon aracı kullanılmaktadır. Çöktürme tankında AquaMats biyofiltrasyon ekipmanı kullanıldığında, askıda katı madde arıtımının arttığı, tankın ilk bölümünde hem normal çalışma sırasında (% 84) hem de temizleme ve hasat sırasında (% 94) askıda katı maddenin büyük bir bölümünün giderildiği belirtilmiştir (Stewart et al. 2006).
- Danimarka'da su ürünleri işletmeleri çıkış sularının alıcı ortam sıcaklığını en fazla 3 °C artırmaya izin verildiği belirtilmiştir. Çizelge 7.1'de işletme çıkış sularındaki diğer özellikler için zorunlu değerler sunulmuştur.

Çizelge 7.1. Danimarka'da su ürünleri işletmeleri çıkış suyuna ilişkin zorunlu değerler (Bergheim and Cripps 1998)

Özellikler	Konsantrasyondaki maksimum artış (mg/L)
Biyokimyasal oksijen ihtiyacı	1,00
Askıda katı madde	3,00
Toplam fosfor	0,05
Amonyak-azotu	0,40
Toplam azot	0,60

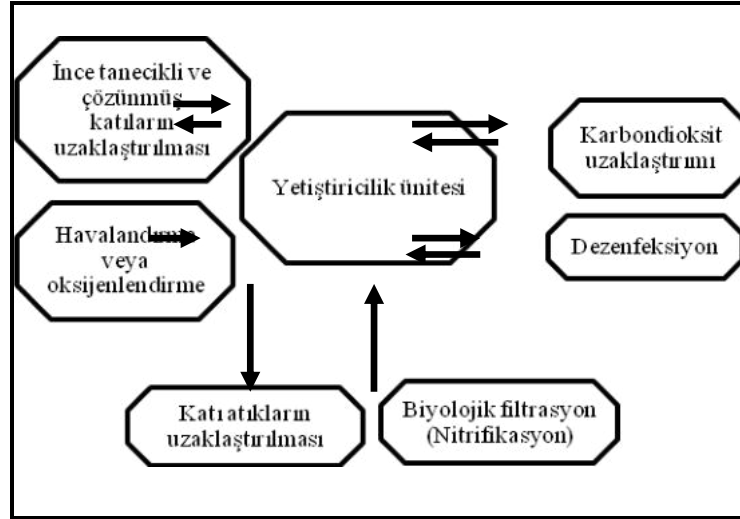
TEKRAR DOLAŞIMLI ÜRETİM SİSTEMLERİNDE SU KALİTESİ ve YÖNETİMİ

- Tekrar dolaşimli (resirkülasyonlu) su ürünleri yetiştiricilik sistemleri, günümüzde özellikle doğal su kaynaklarının tükenmeye başlamasıyla üretim miktarının artırılması, üretimin daha az riskle ve kontrol edilebilir olarak sürdürülebilmesi konusunda önemli bir alternatif oluşturmaktadır. Bu tip üretim sistemleri, çözünmüş oksijen konsantrasyonunu devamlı kontrol edebilme ve ayarlayabilme başta olmak üzere, yetiştiricilik için önemli diğer su kalite özelliklerinin de sorunsuz bir şekilde devamlılığı açısından oldukça avantajlıdır. Ayrıca tekrar dolaşimli su ürünleri yetiştiricilik sistemleri açık sularda yapılan yetiştiricilikle karşılaştırıldığında, hastalıklar ve parazitlerle mücadelede kullanılan antibiyotik ve kimyasal ihtiyacı ile atık boşaltımını azalttığı için avantaj teşkil eder. Tilapia, yayın balığı, levrek, salmon, karides, midye ve istiridye gibi çeşitli su ürünleri bu tür sistemlerde üretimi yapılan türlere örnek olarak verilebilir (Bijo 2007).

- Tekrar dolaşımli (veya kapalı devre) sistemlerde kullanılan su arıtılmakta ve bu suya toplam kullanılan su hacminin günlük % 10'u kadar su eklenmektedir; başka bir deyişle sistemin mantığı sürekli arıtılan suyun yeniden kullanılması ve kültürde oluşan organizmaların uzaklaştırılmasıdır. Genellikle kapalı devre yetiştiricilik sistemleri mekanik ve biyolojik filtre bileşenlerini, pompaları, ana tankları ve sistemde hastalık kontrolünü sağlamak ve su kalitesini artırmak için ek su arıtım elemanlarını kapsar (Küçük 2005). Şekil 8.1'de tekrar dolaşımli sistem dizaynının temel bileşenleri gösterilmiştir. Çizelge 8.1'de ise, tekrar dolaşımli sistemlere ilişkin su kalite özellikleri ve önerilen değerler verilmiştir.

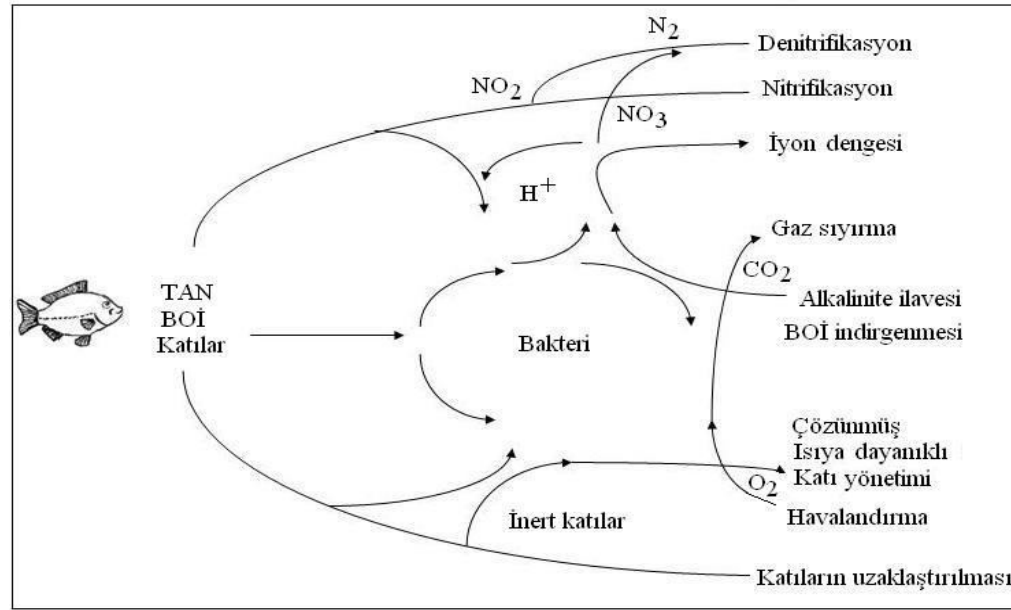
- Tüm yetiştiricilik sistemlerinde olduğu gibi, tekrar dolaşımli sistemlerde de ürünün büyümesini teşvik edecek uygun çevresel koşullar sağlanmak zorundadır. Kritik çevresel özellikler; su sıcaklığı, çözünmüş oksijen, iyonize olmamış amonyak, nitrit ve karbondioksitin yanısıra nitrat konsantrasyonu, pH ve alkalinite düzeyleridir. Yemleme oranı, yem tüketimi, metabolik hız ve atık yem miktarı, tank suyu kalitesini etkiler. Tüketilmeyen yemler ve balık metabolizma ürünleri (dışkıları); amonyak-azotu, karbondioksit, katı maddeler içerir ve bunların sistemde bakterilerce parçalanması esnasında oksijen miktarı azalacağından balıkların sağlığı doğrudan etkilenir (Losordo et al. 1998). Şekil 8.2’de, tekrar dolaşımli bir sistemde balık dışkılarının bakteriyel ve kimyasal etkileşimler üzerindeki etkilerine ilişkin diyagram sunulmuştur.

Şekil 8.1. Tekrar dolaşımı üretim sisteminin temel bileşenleri (Losordo et al. 1998)



Çizelge 8.1. Tekrar dolaşimli üretim sistemlerinde su kalite özelliklerine ilişkin önerilen değerler
(Masser et al. 1999)

Özellik	Önerilen değer
Sıcaklık	Yetiştiriciliği yapılan türe göre seçilmelidir. (- 5°F'tan daha düşük ani değişimler istenmez).
Çözünmüş oksijen	Ilık su balıkları için genellikle 5 mg/L (Biyofiltre çıkışında > 2 mg/L, doygunluk \geq % 60)
Karbondioksit	< 20 mg/L
pH	7,0-8,0
Toplam alkalinite	\geq 50-100 mg/L CaCO ₃
Toplam sertlik	\geq 50-100 mg/L CaCO ₃
NH ₃ -N	<0,05 mg/L
NO ₂ -N	<0,5 mg/L
NaCl	% 0,02-0,2



Şekil 8.2. Tekrar dolaşımli üretim sisteminde balık dışkılarının bakteriyel ve kimyasal etkileşimler üzerindeki etkileri (Masser et al. 1999)

Çizelge 8.2’de tekrar dolaşımli sistemlerdeki balıklar, Çizelge 8.3’de ise sistemdeki su kalitesi baz alınarak uygulanabilecek olası yöntemler verilmiştir.

Çizelge 8.2. Tekrar dolaşımli üretim sistemlerinin balıkların izlenmesine dayalı yönetimi (Masser et al. 1999)

Gözlem	Olası nedenler	Yönetim
Su girişi veya havalandırıcılar etrafında toplanma	Düşük oksijen Parazit/hastalık Yüksek amonyak veya nitrit Kötü kalitedeki yemler	Tankın çözünmüş oksijen seviyesi kontrol edilir. Balık, semptomlar dikkate alınarak incelenir. Amonyak ve nitrit konsantrasyonları kontrol edilir. Rengin solması ve yavaş yüzme için yem ve balık kanı kontrol edilir.
Yüzeyden hava yutma hareketleri	Düşük oksijen Parazit/hastalık Yüksek amonyak ya da nitrit Yüksek karbondioksit Kötü kalitedeki yemler	Tankın çözünmüş oksijen seviyesi kontrol edilir. Balık, semptomlar dikkate alınarak incelenir. Amonyak ve nitrit konsantrasyonları kontrol edilir. Karbondioksit seviyesi kontrol edilir. Rengin solması ve yavaş yüzme için yem ve balık kanı kontrol edilir.
Yem tüketiminin azalması	Düşük oksijen Parazit/hastalık Yüksek amonyak ya da nitrit Kötü kalitedeki yemler	Tankın çözünmüş oksijen seviyesi kontrol edilir. Balık, semptomlar dikkate alınarak incelenir. Amonyak ve nitrit konsantrasyonları kontrol edilir. Rengin solması ve yavaş yüzme için yem ve balık kanı kontrol edilir.
Yem tüketiminin durması	Düşük oksijen Parazit/hastalık Yüksek amonyak ya da nitrit	Tankın çözünmüş oksijen seviyesi kontrol edilir. Balık, semptomlar dikkate alınarak incelenir. Amonyak ve nitrit konsantrasyonları kontrol edilir.
Kan renginin kaybolması- kahverengi berrak (kansız)	Yüksek nitrit Vitamin eksikliği	Balık, semptomlar dikkate alınarak incelenir; 1 mg/L nitrit için 5-6 mg/L klorür ilave edilir; yeni yeme geçilir. Balık, semptomlar dikkate alınarak incelenir, yeni yeme geçilir.
Omurgada kırılmaya bağlı eğrilik ya da ‘S’ şekilli omurga	Vitamin eksikliği	Balık, semptomlar dikkate alınarak incelenir, yeni yeme geçilir.

Çizelge 8.3. Tekrar dolaşımli üretim sistemlerinin su kalitesi ve yeme dayalı yönetimi
(Masser et al. 1999)

Gözlem	Yönetim
Düşük çözünmüş oksijen (< 5 mg/L)	Havalandırma artırılır. Yemleme durdurulur. Balık, semptomlar dikkate alınarak yeni parazit/hastalık kapsamında incelenir.
Yüksek karbondioksit (> 20 mg/L)	Havalandırılmış katman artırılır. Havalandırma artırılır. Balık, semptomlar dikkate alınarak yeni parazit/hastalık açısından incelenir.
Düşük pH ($< 6,8$)	Alkali tamponlar ilave edilir (sodyum bikarbonat, vb). Yemleme oranı azaltılır.
Yüksek amonyak (iyonize olmamış amonyak $> 0,05$ mg/L)	Amonyak ve nitrit konsantrasyonları kontrol edilir. Sistemde su değişimi sağlanır. Yemleme oranı azaltılır. Biyofiltredeki pH, alkalinite, sertlik ve çözünmüş oksijen düzeyleri kontrol edilir. Balık, semptomlar dikkate alınarak yeni parazit/hastalık açısından incelenir.
Yüksek nitrit ($> 0,5$ mg/L)	Sistemde su değişimi sağlanır. Yemleme oranı azaltılır. 1 mg/L nitrit için 5-6 mg/L klorür ilave edilir. Biyofiltredeki pH, alkalinite, sertlik ve çözünmüş oksijen düzeyleri kontrol edilir. Balık, semptomlar dikkate alınarak yeni parazit/hastalık açısından incelenir.
Düşük alkalinite	Alkali tamponlar ilave edilir.
Düşük sertlik	Kalsiyum karbonat ya da kalsiyum klorür ilave edilir.
Rengi solmuş, şekli bozuk yem	Yeni yeme geçilir. Balık, semptomlar dikkate alınarak yeni parazit/hastalık açısından incelenir.

- Tekrar dolaşımly su ürünleri yetiştiricilik sistemleri, tatly su ve tuzlu sularda yetiştiricilik olmak üzere iki ana kategoriye ayrılır. Bu tip ortamlarda özel tasarlanan teknolojilerle, sistemden etkin bir biçimde yararlanılırken atığın da etkin bir şekilde uzaklaştırılması sağlanır. Tatly suyun kullanıldığı tekrar dolaşımly sistemlerde tilapia, kanal yayını, yılanbalığı ve tatly su levreği yetiştirilir. Balık ve bitkinin eş zamanly yetiştiriciliğinin yapıldığı, ortamda nitrifikasyon bakterilerinin de yer aldığı akuaponik sistemler ise, ürünlerin birinin diğerinin atığı ile beslendiği, pH kontrolüne gerek duyulmayan ve optimal büyümenin sağlandığı kapalı sistemlerdir. Bu tür sistemlerdeki en büyük sorun özellikle balık metabolik atıklarından oluşan ve 0,08 mg/L gibi çok düşük konsantrasyonları bile balıklar için zehirli olan amonyak ve türevleridir. Akuaponik sistemlerin işleyiş prensibi, balık metabolik atığındaki amonyakla beslenen nitrifikasyon bakterilerinin amonyağı balık için zehir özelliğı olmayan ve bitki için yararlı nitrata dönüştürmesi şeklindedir. Tatly su kapalı dolaşım sistemlerinde yetiştirilen mikroalgler de sistemdeki karbondioksiti kullanarak ortamdaki uzaklaştırırken yetiştiriciliğı yapılan balıklar için besin kaynağı oluşturur (Anonymous 2011d).

- Balıktan sonra ikincil ürün olan bitkiler, tekrar dolaşımli sistemlerde balıkların metabolik atıklarının suda oluşturduğu yüksek düzeydeki besin elementlerini kullanarak hızla büyürler. Bu tip entegre sistemlerde domates, marul ve fesleğen gibi bitkilerin hidrofonic yetiştiriciliği yapılır. Tekrar dolaşımli sistemler su üstü, yarı yüzen ve su altı sucul bitkilerin yetiştirilmesinde de kullanılır (Rakocy et al. 1992).
- Tuzlu suyun kullanıldığı tekrar dolaşımli su ürünleri yetiştiricilik sistemlerinde ise çipura, levrek, salmon ve karides gibi birçok su ürünü yetiştiriciliği yapılmaktadır. Son yıllarda kapsamlı olarak araştırılan bu sistemler -yüksek yoğunluklu alg havuzları- olarak adlandırılmakta ortamdaki atık miktarı, makroalg ve deniz yosununun kullanımı ile kontrol edilmektedir (Anonymous 2011d).