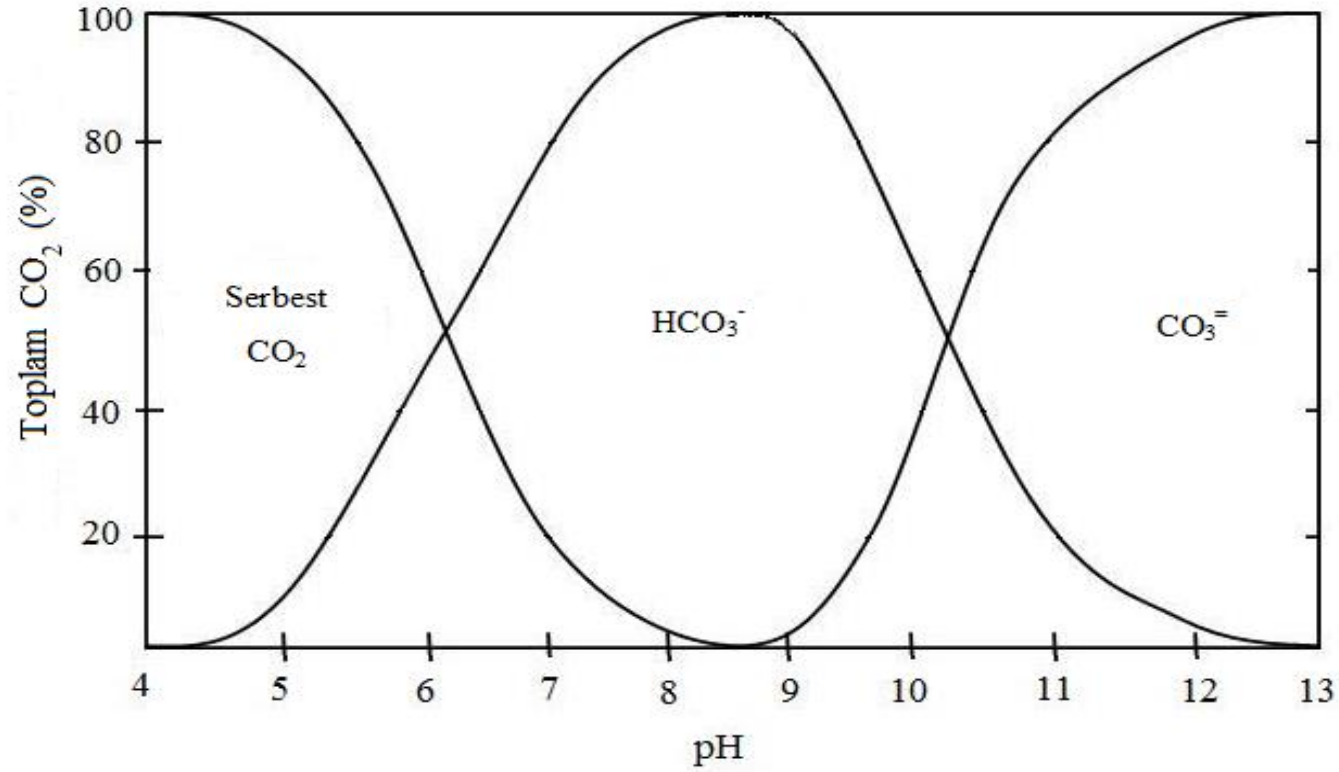


- pH

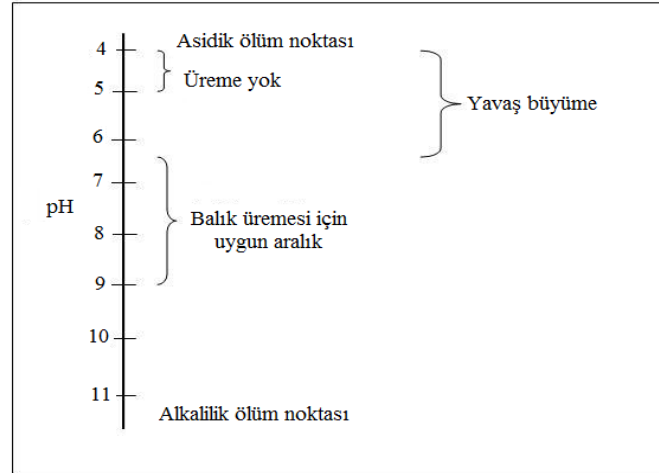
- Sular da hidrojen iyonu derişiminin ölçüsü olan pH; bir bileşikteki hidrojen iyonu konsantrasyonunun negatif logaritması olarak tanımlanır ve matematiksel olarak $\text{pH} = -\log [\text{H}^+]$ şeklinde ifade edilir. Suların pH değerleri 0-14 arasında değişir; hidrojen iyonları yoğunluğunun artması 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).



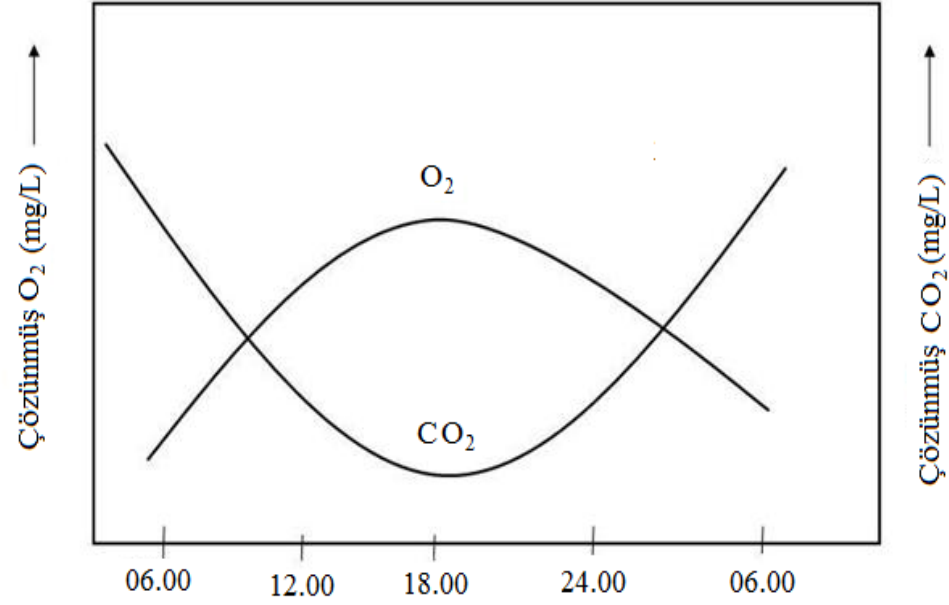
Şekil 2.7. Ilık su balıkları yetiştiriciliğinde pH'nın etkisi (Lawson 1995)

- 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).

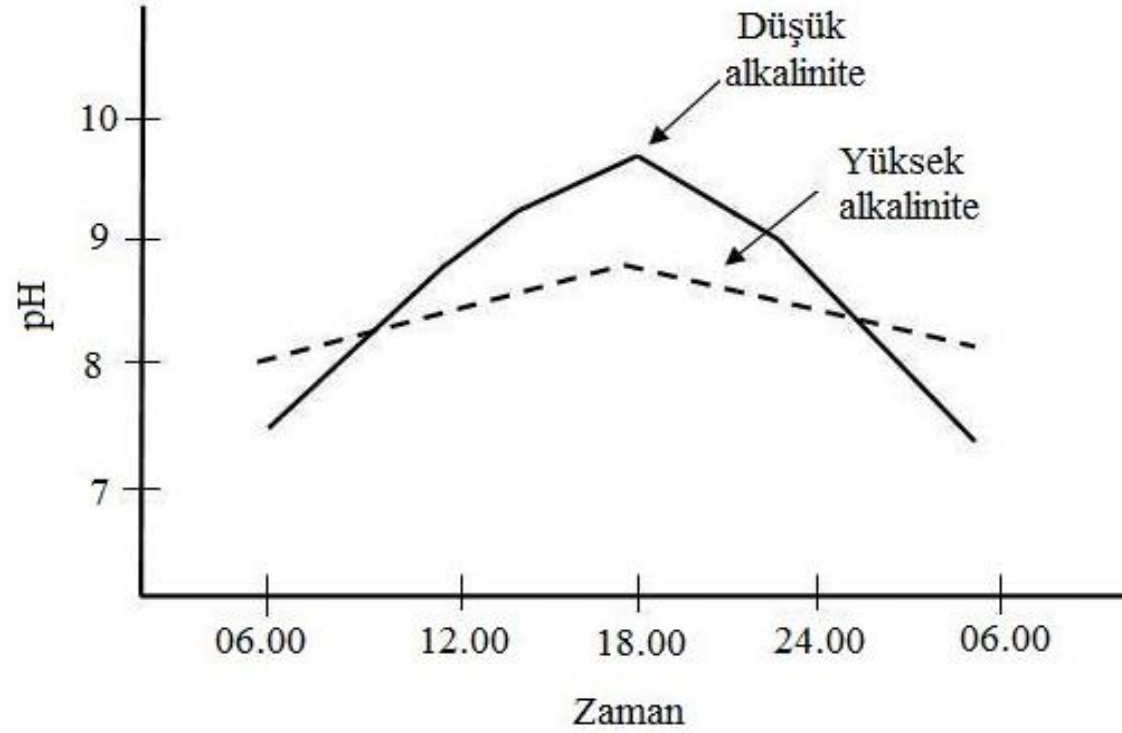


Şekil 2.8. Havuzlarda çözülmüş oksijen ve karbondioksitin gün içerisindeki değişimi (Lawson 1995)

- 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 (CaCO₃) 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).