

- - **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**

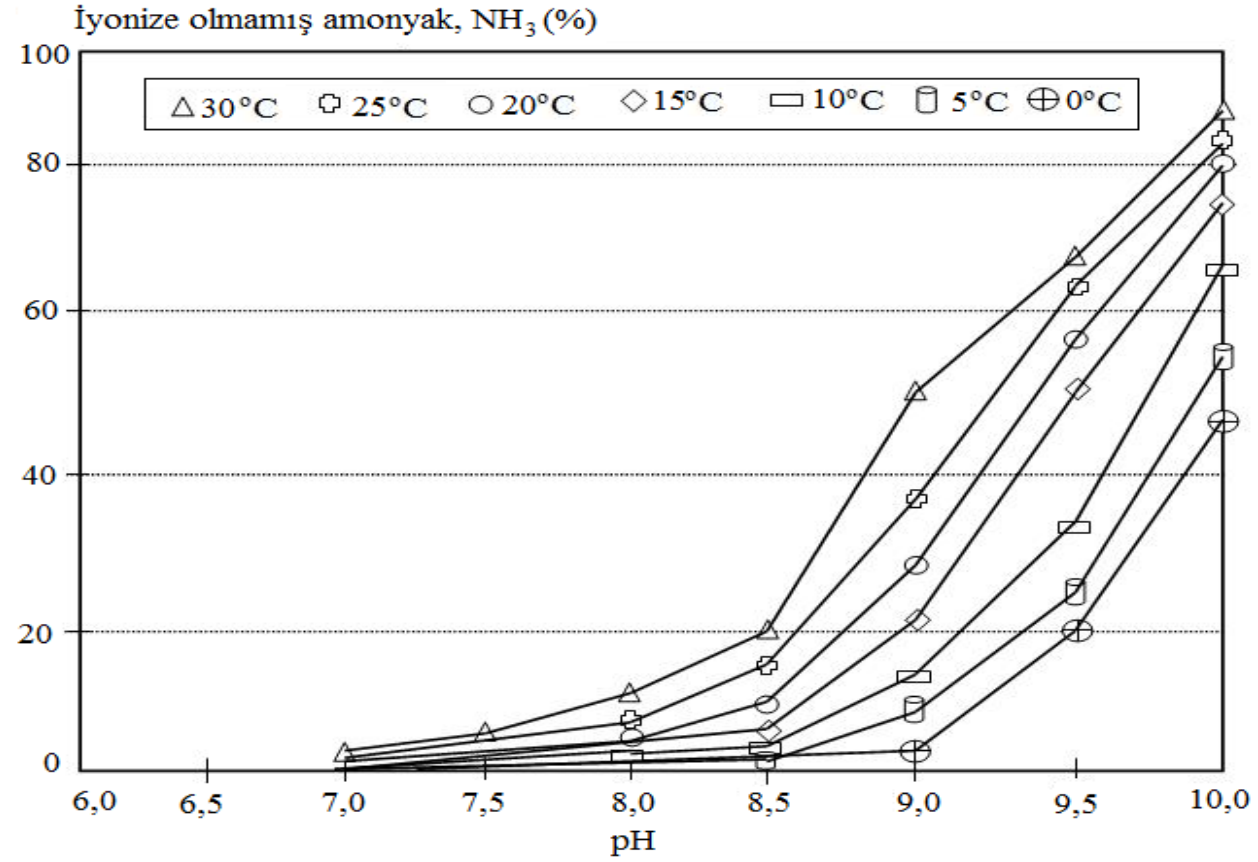
-
- Amonyak, su ürünleri yetiştiriciliğini tehdit eden en zehirli azot bileşimidir. Amonyak, sulara balıkların metabolizma ürünü, tüketilmeyen yemler ve organik maddelerin parçalanması sonucu girer. Su ürünlerinin sağlıklı yetiştiriciliği açısından suda iyonize olmamış amonyak düzeyi 0,22 mg/L'den az 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 amonyağa 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.

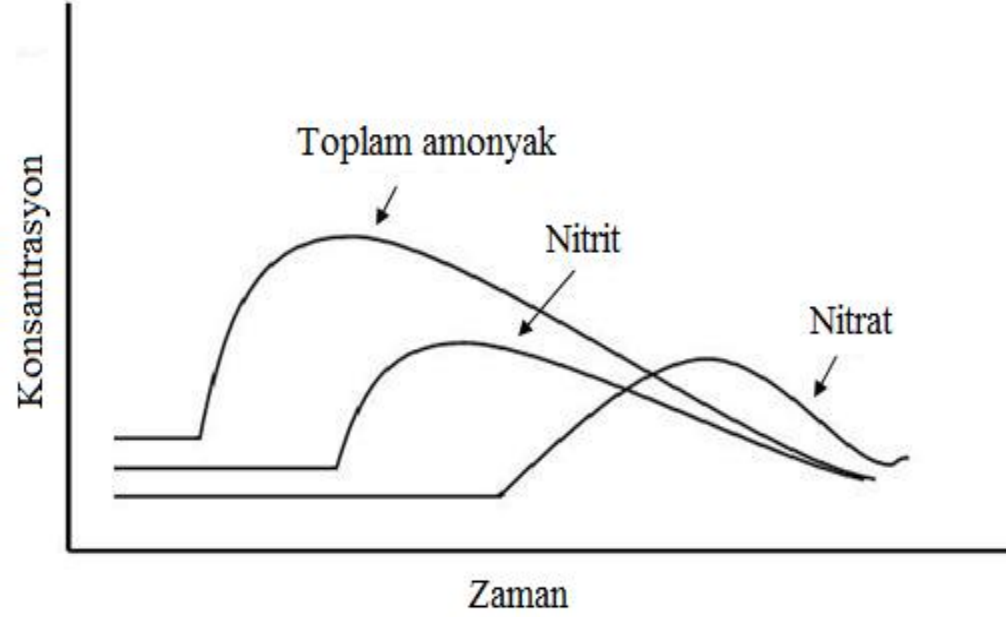


Şekil 2.12. Amonyakın pH ve sıcaklığa bağlı değişimi (Lawson 1995)

- 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).