

Akuaponik Yetiştiricilik Sisteminde Farklı Bitkilerin Besin Dinamiği

Nutrient Dynamics of Different Plants in an Aquaponics Aquaculture System

Hakan Türker 

Cite this article as: Türker, H. (2018). Nutrient Dynamics of Different Plants in an Aquaponics Aquaculture System. *Aquatic Sciences and Engineering*, 33(3): 77-83.

ÖZ

Bu çalışmada modern ve sürdürülebilir üretim metotlarından olan akuaponik sisteminde farklı dönemlerde yetiştirilen bitkilerin su kalitesindeki performansı değerlendirilmiştir. Kurulan akuaponik üretim sisteminde koi, *Cyprinus carpio* var. Koi, balıklarının ve farklı bitkilerin (yapraklı bitki olarak; marul, *Lactuca sativa* var. *Crispa*, ve meyveli bitki olarak; çilek, *Fragaria* sp.) büyüme performansı, makro besinlerin döngüsü ve bitkilerin su kalitesi parametrelerine etkileri izlenmiştir. Balık ve bitki üretim üniteleri ve filtreleme ünitelerinden oluşan akuaponik üretim sistemde yapılan denemelerde makro besinlerin sistemden giderilme oranları marul uygulamasında fosfat için %42,95 ve nitrat için %55,45 ve çilek uygulamasında da fosfat için %35,49 ve nitrat için %46,36 olarak bulunmuştur. Çalışma sonucundan bulgulara göre marul ile yapılan denemede, genel olarak makro besinlerin ortamdaki giderilmesi çilek ile yapılan denemelere göre daha yüksek olduğu görülmüştür. Bu çalışmada elde edilen makro besinlerin giderilme oranları, yetiştiricilikte artan çözünmüş besinlerin etkili bir şekilde azaldığını göstermiş bu üretim sisteminin çevre-dostu ve sürdürülebilir bir metot olduğunu doğrulamıştır.

Anahtar Kelimeler: Akuaponik, entegre akuakültür sistemi, sürdürülebilir akuakültür, balık, bitki

ABSTRACT

This study evaluates the performance of plants grown at different times in the aquaponics system—a modern and sustainable production method—on water quality. In the established aquaponics system, this study monitored the growth performance of koi fish, *Cyprinus carpio* var. koi, and different plants (lettuce, *Lactuca sativa*, var. *Crispa* as a leafy plant and strawberry, *Fragaria* sp. as a fruit plant), pertaining to macro nutrient cycling and effects of plants on water quality parameters. Experiments in an aquaponics system comprising a biological filter and plant unit found that the removal rates of macro nutrients from the system were as follows: 1) 42.95% for phosphate and 55.45% for nitrate in lettuce and 2) 35.49% for phosphate and 46.36% for nitrate in strawberries. It was observed that, in general, the rate of removing macro nutrients was higher in the lettuce experiment than in the strawberries one. The elimination rates of macro nutrients in this study show that increasing dissolved nutrients in an aquarium is effectively reduced, which confirms that this production system is an environmentally-friendly and sustainable method.

Keywords: Aquaponics, integrated aquaculture system, sustainable aquaculture, fish, plant

GİRİŞ

Dünyada ve ülkemizde balık üretimi daha çok geleneksel havuz ve kafes sistemlerinde yapılmakta olup, üretimi yapılabilen balık türleri konusunda da sınırlıdır. Son çeyrek yüzyılda teknolojik sistemler olarak kapalı devre akuakültür sistemleri devreye alınmakta ve endüstriyel

birçok tür, neredeyse her ortamda üretilmektedir. Bu tür sistemlerde sıcaklık, tuzluluk ve su kalitesi parametreleri kontrol edilebildiği için tür ve coğrafik bölge seçiminde sınır tanımamaktadır. İstenilen türe göre ayarlanan sistem, istenilen bölgeye de yerleştirilebilir bu şekilde geleneksel üretim sistemlerinde en bü-

Abant İzzet Baysal Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Biyoloji Bölümü, Bolu, Türkiye

Submitted:
22.11.2017

Accepted:
19.04.2018

Correspondence:
Hakan Türker
E-mail:
h_turker@ibu.edu.tr

©Copyright 2018 by Aquatic Sciences and Engineering
Available online at
dergipark.gov.tr/tjas

yük problemi oluşturan pazara ulaşım da giderilmiş olmaktadır. Kapalı devre sistemleri üretim için gerekli arazi ve su ihtiyacını büyük oranda azaltırlar. Bu tür sistemlerde su kalitesi filtrasyon sistemleri ile düzenlenir ve sistemde su döngüsü pompalar aracılığı ile sağlanır (Losordo ve ark., 1992). Teknoloji ile bütünleşen bu sistemler elbette maliyet yüksektir, ancak kapalı devre sistemler suyun az ve değerli olduğu bölgelerde üretim yapmak için idealdir ve ticari değeri yüksek balık türleri üretilerek sabit giderler ve işletme giderleri kısa sürede amorti edilebilir.

Günümüzde yetiştiricilik şartları su kalitesinde bazı standartlara uyma gerekliliği nedeni ile ağırlaşmış olup üretim tesisleri su kaynaklarının kullanımında bazı düzenlemeler gereği ekonomik ve sosyal açıdan baskı altında işlem yapmaktadırlar (Summerfelt, 1998). Bunun sonucunda da yeni teknolojik gelişmelerin ihtiyacı doğmakta olup üretimden kaynaklanacak atıkların en alt seviye ye indirilmesi için gelişmelere ihtiyaç duyulmaktadır. Kapalı devre sistemleri bu tür taleplere cevap verebilmesine rağmen, atık üretimi halen devam etmekte olup akuakültürden oluşacak atık sorunu çevresel olarak daha kabul edilebilir düzeyde çözümlenmelidir (Rakocy, 1997). Ayrıca artık günümüzde tekli-akuakültür (mono-aquaculture) uygulamalarından ziyade bu çevresel atıkların değerlendirilmesi amacı ile entegre çoklu-besinsel (multi-trophic) akuakültür teknikleri geliştirilmiştir. Bu sayede çevresel, ekonomik ve toplumsal faydanın arttığı fark edilmiştir. Bu sistemlerde temel prensip, çevresel etkiyi azaltma amacı ile doğal ekolojik işlemler oluşturarak, besin yüklemesini kullanarak ve tür etkileşiminde faydalanarak farklı ticari ürünler elde etmektir (Chopin ve ark., 2012).

Artık akuakültür teknikleri günümüzde ekolojik bir yaklaşıma dikkat çekmekte, enerji tasarrufu ile birlikte yenilenebilir enerjiyi en üst seviyeye çıkarmakta, besinler arası geri dönüşümü sağlamakta, farklı türler yetiştirmekte ve diğer üretimi yapılabilen çeşitli ürünlerle entegre olabilmektedir. Bu entegrasyon kapalı devre akuakültür ile topraksız tarım tekniğinin birleşimi ile sağlanır ve akuaponik (aquaponics) olarak anılır (Rakocy, 1987). Balık ve bitki üretimi birleştirildiği zaman, üretim su kullanımına oranla en üst seviyeye çıkmaktadır (Rakocy ve ark., 1993). Akuaponik dünyada besin tedarik edilesinde ve küresel sorunların (su kıtlığı, gıda güvenliği, kentleşme, enerji kullanımının azaltılması ve gıda nakliyesi) üstesinden gelinmesinde önemli rol oynayan bir sistemdir (COST, 2013). Akuaponik sistemleri tipik olarak en az su kullanımını ile en fazla ürün elde etmek için tasarlanmıştır. Böylece ticari bir kazanç elde edilirken sürdürülebilir bir balıkçılık ve sebze üretimi bir arada sağlanmış olmaktadır (Adler ve ark., 2000). Ayrıca gübreleme ve enerji kullanımı oransal olarak diğer zirai üretimlere göre daha azdır. Bundan başka ürünler daha küçük alanlarda da ve şehir merkezine yakın yerlerde yetiştirilebilir.

Balık-bitki entegre yetiştiricilik sistemi akuaponik, akuakültür ile topraksız tarımın teknolojik olarak simbiyotik anlamda birleştirilmesi olarak da tanımlanır (Rakocy, 1989). Bu sistem ekolojik anlamda geri dönüşümlü olarak çalışan ve akuakültür ile oluşan suda çözünmüş haldeki besinlerin değerlendirilip başka bir ürün (bitki) tarafından kullanılmasını sağlayan bir mühendislik harikasıdır. Sistem işletim karlılığını da ekstra ürün üreterek, aynı alanı kullanarak ve su kullanımını düşürerek arttırmaktadır. Balıklar tarafından sisteme bırakılan çözünmüş besinler, ikinci bir ürün (bitki)

tarafından kullanılarak çevresel etki en aza indirilmektedir. Yapay ve kapalı bir ekosistem olarak tasarlanan bu sistem üç önemli biyolojik bölümün (balık, bitki ve bakteri) entegrasyonu sayesinde balık üretmekte, çözünmüş besinler ile bitki olarak ikinci bir ürün sağlamakta ve her ikisinin kombinasyonu ile de kullanılan suyu geri dönüşümlü bir halde sisteme kazandırmaktadır.

Ayrıca balık-bitki entegre yetiştiricilik sisteminin uygulamadaki avantajları şu şekilde de özetlenebilir;

- Suyun ve enerji kaynaklarının nadir bulunduğu az gelişmiş veya gelişmemiş ülkelerde, bölgelere göre güneş enerjisinden de yararlanılarak yapılan bu yoğun balık ve bitki üretim sistemi bölgesel besin üretimine katkıda bulunur (Quiellere ve ark., 1993).
- Bu sistem balık yetiştiriciliğinden doğan negatif çevresel etkiyi azaltır (Rakocy, 1989; Rakocy ve ark., 1992).
- Bu tür bir sistem su kaynağının mesafesi ve toprak yapısı dikkate alınmadan her hangi bir yerde kurulup (Ör: kentsel alan) ve hemen hemen bütün iklim şartlarında işletilir (Clarkson ve Lane, 1991). Özellikle arid (kurak) bölgelerde uygulanması mümkündür (Rakocy, 2007).
- Geleneksel tarım sistemlerinde kullanılan sulama masrafının ve teknikleri gerekmekte, ayrıca su tüketim miktarı diğer yetiştiricilik koşullarına göre oldukça düşüktür.
- Balıklar tarafından sisteme bırakılan çözünmüş besinler sayesinde bitkiler gübre kazanmakta ve ek gübreleme gerekmemektedir.
- Bütün yıl boyunca istenilen zamanda yetiştiricilik yapılabılır ürün alınabilir.
- Ekolojik ve sürdürülebilir tarıma, organik yetiştiricilik şartlarına uygundur.
- Sistem ve teknolojisi gelişmekte olan ülkeler için düzenlenebilir ve lokal olarak gıda güvenliği sağlayabilir.
- Endüstriyel ölçekte rekabetçi bir sistem ile uygun maliyetli, sağlıklı ve sürekli gıda sağlayabilir.

Son yıllarda da daha bilimsel olarak incelenmeye başlanmış çeşitli sistemler tasarlanmış, farklı türlerde balık ve bitkiler üzerinde farklı araştırmalar yapılmıştır (Rakocy ve Hargreaves, 1993; Seawright ve ark., 1998). 1990 yıllarından sonra sistem başka araştırmacılar tarafından da biraz daha geliştirilerek günümüze kadar farklı tasarım ve uygulamalar ile gelişmiştir (Mathieu ve Wang, 1995; Faucette, 1997). Sistem 2000'li yıllardan itibaren yeni tekniklerin ilavesi ile uygulanabilir seviyelere gelmiştir (Diver, 2006). NASA bile 1998 yılında uzaya balık (tilapia) yollamış, gelecekte uzaydaki atıkların değerlendirilmesi, topraksız tarımla protein ihtiyacının giderilmesi konusunda çalışmalar başlatmıştır (Falls ve Hudson, 1999).

Akuaponik sistemi içinde yetiştirilen balık türleri genellikle kapalı devre yetiştiricilik sistemine ve çevre toleransı yüksek balık türleri (Ör: tilapia, sazan, koi, sudak ve levrek) seçilir. Diğer entegre ürün bitkiler içinde bu sistemdeki performansı, bitkinin büyüme evrelerine ve besin gereksinimine bağlı olarak sebze (Ör: domates, ıspanak, marul, çilek, salatalık, biber) ve ekonomik değere sahip tıbbi veya aromatik bitkiler (Ör: nane, fesleğen), hayvansal üretimde yem olarak kullanılabilen sucul bitkiler (Ör: su teresi, su marulu) ve sucul ortamda yaşayan fitoremediasyon özelliğine sahip

yabani bitkiler (Ör: *Lythrum salicaria* L., Sun ve ark. (2017)) kullanılabilir.

Bu çalışmada amaç koi, balıkları içeren akuaponik sistemde yeşil yapraklı bitki olarak marulun ve meyveli bitki olarak da çileğin üretimini sağlamak ve üretim periyodu boyunca bu kapalı entegre sistemde mikro ve makro besinlerin dengesini belirlemek, balıklar tarafından üretilen çözünmüş besinler ile bitkiler tarafından uzaklaştırılan besin miktarını tespit etmek, su kalitesi parametreleri ile balık-bitki büyüme verilerini gözlemlemektir.

MATERYAL VE METOT

Koi balıkları, *Cyprinus carpio* var. *koi*, renkli görünüşleri açısından özellikle havuz ve akvaryum sektöründe talebi olan bir süs balığıdır. Akuaponik sistemlerinde çevre toleransı yüksek olduğundan tercih edilen bir türdür. Sistemde yapraklı ve meyveli olarak iki farklı tür bitkisel ürün elde edilmesi planlanmış ve yeşil yapraklı sebzelerden kıvırcık yağlı marul, *Lactuca sativa* var. *crispa*, salata olarak tüketimi oldukça yaygın olup düşük fosfor ve potasyum içerikli ortamlara dayanıklı olması ile meyveli bitkilerden de kültür çileği, *Fragaria* sp., topraksız tarıma uygunluğu açısından tercih edilmiştir.

Deneme de kullanılan akuaponik sistem, balık ve çökeltme tankı (900 ve 100 l), biyolojik filtre (600 l) ve bitki tavaları (900 l) ile toplam 2500 l su kapasitesi olacak şekilde kurulmuştur. Ortama ağırlıkları $15,7 \pm 0,6$ g olan koi (*Cyprinus carpio*) balıkları ticari koi üreticisinden (Balıkselsu, Çekmeköy, İstanbul) satın alınarak sisteme konmadan önce 5 mg/l $KMnO_4$ çözeltisinde dezenfekte edilmiş ve balık üretim ünitesine her bir uygulama öncesi 5 kg/m^3 olacak şekilde stoklanmıştır. Bilimsel araştırma protokolü ilgili mevzuat ve yükümlülükler göz önüne alınarak Abant İzzet Baysal Üniversitesi Etik Ku-

rul Karar No:2014/12 ile onaylanmıştır. Balıklar günlük olarak ağırlıklarının %1,5 kadar %45-50 protein ve %17-20 yağ içeren alabalık yemleri (Abalioğlu Yem A.Ş., Manisa) ile beslenmişlerdir. Zaman ayarlı floresan (soğuk beyaz) ışıklandırma kullanılarak 16 saat aydınlık 8 saat karanlık uygulanmıştır. Deney ortam sıcaklığı $22-23^\circ\text{C}$, su sıcaklığı da 24°C 'de tutulmuştur. Tatlı su kaynağı olarak şebeke suyu ön filtreden geçirilip ardından dinlendirilip sisteme verilmiştir. Çökeltme tankı haftalık olarak katı atıklardan kısmi temizlenmiş ve dinlendirilmiş şebeke suyu ile yenilenmiştir.

Bitkiler sisteme eklenmeden önce 5 kg/m^3 olarak koi stoklanmış balık üretim tankları için bir ay boyunca sistemde TAN ve NO_3 dengesi takip edilip 600 litrelik biyofiltre ünitesinde bakteri oluşumu ile nitrifikasyon dengesi sağlanmıştır. Ayrıca bu işlemin devamında sistemde her bir üretim periyodu başlangıcında başlangıç olarak konsantrasyonlarını 2,1 mg/l Fe, 147 mg/l K, 0,14 mg/l Zn, 0,04 mg/l Cu, 20,3 mg/l Mg ve 0,02 mg/l Mo sağlayacak şekilde ve ölçüm sonrası haftalık olarak FeEDDHA, KNO_3 , ZnCl_2 , CuCl_2 , MgSO_4 ve Na_2MoO_4 ilavesi yapılmıştır (Seawright ve ark., 1998). İki haftalık periyodlar halinde ilaveler tekrarlanmıştır. Ayrıca kullanılan alabalık yem formülasyonunda mikro besinlerden 58-60 mg/kg Fe (FeSO_4 olarak), 5-7 mg/kg Cu (Cu_2O), 100-150 mg/g Zn (ZnO) ve makro besinlerden Ca %2,21-2,48, toplam fosfor %1,54-1,67 olarak bulunduğu üretici tarafından belirtilmiştir.

Her biri 300 l olan 1 m^2 yüzey ve 30 cm derinliğe alanına sahip 3 adet bitki üretim tavaları yüzer sal (floating raft) sistemi olarak tasarlanmıştır. Tanklar bitkilerin büyümelerini ve köklenmelerini sağlayan 5 cm kalınlıkta köpük kaplama (styrofoam) ile kaplanmış ve su üstünde yüzey alanınca yüzmesi sağlanmıştır. Daha sonra bu kaplamalar bitkilerin dikim yapıldığı delikli saksılar için uygun ebat ve sayı da delinmiştir. Bitki üretimi 8'er haftalık üretim boyunca ilk uygulama da marul sistemin yenilenmesi ardından da

Tablo 1. Marul ve çilek üretim periyodu boyunca su kalitesi parametreleri. İki uygulama içinde aynı harfe sahip olan satırlar arası ortamlar istatistiksel olarak farklıdır ($p>0,05$)

Table 1. Water quality parameters during the lettuce and strawberry production period. Inter-line spaces with the same letter in two applications are not statistically different ($p>0,05$)

Bitki türü	Parametre	Su Kalitesi								Ort.	± SH
		Haftalar									
		1	2	3	4	5	6	7	8		
Marul	Sıcaklık ($^\circ\text{C}$)	23,8	23,5	23,9	23,7	23,8	23,8	24,0	23,9	23,8 ^a	0,05
	DO (mg/l)	6,6	6,5	6,6	6,3	6,4	6,6	6,7	6,4	6,5 ^a	0,04
	TAN (mg/l)	1,23	1,35	1,42	1,29	1,04	1,25	1,32	1,52	1,3 ^a	0,05
	NO_2 (mg/l)	0,41	0,22	0,16	0,12	0,18	0,15	0,26	0,31	0,2 ^a	0,04
	pH	7,89	7,93	7,98	7,84	7,86	7,94	7,55	7,8	7,8 ^a	0,02
	Alkalinite (mg/l)	140	130	150	140	130	130	140	150	138,8 ^a	2,90
Çilek	Sıcaklık ($^\circ\text{C}$)	24,1	23,8	23,9	24,3	24,0	23,9	23,8	24,2	24,0 ^a	0,06
	DO (mg/l)	5,9	6,4	6,3	6,6	6,0	6,1	6,7	6,2	6,3 ^a	0,09
	TAN (mg/l)	1,17	1,22	1,25	1,13	1,41	1,36	1,61	1,73	1,4 ^a	0,04
	NO_2 (mg/l)	0,29	0,53	0,74	0,65	0,96	0,73	0,41	0,58	0,6 ^b	0,08
	pH	7,22	7,66	7,42	7,77	7,35	7,17	7,55	7,41	7,4 ^a	0,08
	Alkalinite (mg/l)	130	140	140	150	140	130	150	140	140,0 ^a	2,67

Tablo 2. Marul ve çilek üretim periyodu boyunca makro besin değerleri ve değişim oranları. İki uygulama içinde aynı harfe sahip olan satırlar arası ortamlar istatistiksel olarak farklı değildir ($p>0,05$)

Table 2. Macro nutrients and rates of change during the lettuce and strawberry production period. Inter-line spaces with the same letter in two applications are not statistically different ($p>0,05$)

Bitki türü	Makrobesinler (mg/l)	Sisteme Giren Su								Sistemden Çıkan Su								*Giderilme Verimliliği (%)				
		Haftalar								Haftalar												
		1	2	3	4	5	6	7	8	Ort.	± SH	1	2	3	4	5	6		7	8	Ort.	± SH
Marul	PO ₄	2,58	2,88	2,25	2,53	2,41	2,05	2,15	2,22	2,38 ^a	0,10	2,25	1,86	1,32	1,24	1,39	1,01	0,92	0,89	1,36 ^a	0,16	42,95 ^a
	NO ₃	22,76	23,82	22,48	25,56	24,62	23,42	25,15	23,54	23,92 ^a	0,41	12,06	10,1	11,78	12,21	10,91	10,33	8,33	9,52	10,66 ^a	0,32	55,45 ^a
Çilek	PO ₄	1,78	1,95	2,05	2,15	1,98	1,82	2,12	2,35	2,03 ^b	0,05	1,42	1,35	1,48	1,32	1,14	0,98	1,64	1,12	1,31 ^a	0,07	35,49 ^b
	NO ₃	24,42	25,56	24,78	26,63	25,89	26,10	25,45	24,89	25,47 ^b	0,29	15,75	14,19	10,56	12,23	14,16	15,45	15,5	11,42	13,66 ^b	0,70	46,36 ^b

*Giderilme (ortadan kaldırılma) Verimliliği (%) = [(Giren su - Çıkan su) / (Giren su)] x 100

ikinci uygulama olarak çilek planlanmıştır. Marul yetiştirme uygulamasında ilk olarak marul tohumları sisteme konacak saksılarda bulunan sünger medyumlar içinde ilk birkaç günü karanlık daha sonraki üç hafta boyunca aydınlık bitki kültürü laboratuvarında çimlendirilmiş yaklaşık 3-4 cm boyuna ulaşınca 3 m²lik bitki üretim alanına 24 adet/m² olacak şekilde yerleştirilmiştir. Marullar yüzey sal ortamına alındıktan 8 hafta sonra hasat edilmiş, yaprak uzunlukları ve ağırlıkları kayıt edilmiştir. Hasat sonu sistem temizlenmiş, yeni grup balık satın alınmış ve stok miktarı aynı oranlarda yenilenerek tekrar düzenlenmiş, TAN ve NO₂ dengesi sonrası ikinci bitki üretim uygulaması olan çilek üretimine hazırlanmıştır. Çilek uygulaması için de fideler hazır satın alınmış yaprak adedi eşit olacak şekilde bitki üretim alanına 24 adet/m² olarak yerleştirilmiştir.

Üretim periyodları süresince haftalık olarak pH seviyesi kontrol edilmiş (Orion pH metre, Boston, ABD) ve pH'nın 7'nin ve alkalinitenin (Merck test kiti, Darmstadt, Almanya) de 100 mg/l'nin üstünde tutulması KOH ve sönmüş kireç ilavesi ile sağlanmıştır. PO₄ ve NO₃ gibi makro besinler ve su kalitesi parametrelerinden TAN ve NO₂ ile Fe, K, Zn, Cu, Mg ve Mo gibi mikro besinler her haftanın aynı günü örnek üzerinden Hach Lange DR 1900 (Düsseldorf, Almanya) spektrofotometreye ait olan hazır kitler ile ölçülmüştür. Makro besinler için örnekler 'Sistemden Çıkan Su' olarak çökeltme tankından ve 'Sisteme Giren Su' olarak da akuaponik ünitesinde çıkan ve sisteme dönen sudan alınmıştır.

Elde edilen rakamsal verilerin istatistiksel analizi MedCalc (versiyon 15.8; Ostend, Belçika) istatistik programı kullanılarak yapılmış ve ortalamalar arasındaki farklılıkların %5 düzeyinde önemlilik durumu t-testi ile karşılaştırılmıştır.

BULGULAR VE TARTIŞMA

Marul ve çilek uygulaması periyodunca su kalitesi parametreleri değişimi koi balıklarına uygun aralıklarda görülmüş, kültüre uygun seviyelerde seyretmiş ve uygulamalar arasında NO₂ hariç fark gözlemlenmemiştir ($p>0,05$) (Tablo 1). Çözünmüş oksijen sisteme hava motorları ile sağlandığından seviyesinde herhangi bir değişim olmamıştır. Ölçülen ortalama toplam amonyak (NH₃+NH₄) su sıcaklığı ve pH değerinden iyonize olmamış serbest NH₃'e çevrildiğinde marul için 0,04 mg/l ve çilek için 0,01 mg/l olduğu gözlemlenmiştir. Serbest NH₃ miktarları kapalı devre sistemler için tavsiye edilen değerlerde (<1 mg/l) kalmıştır (Nijhof ve Bovendeur, 1990; Van Rijn ve Rivera, 1990). Uygulamalar arasında sadece NO₂ konsantrasyonları arasında fark görülmüş, marul için 0,2 mg/l ve çilek için de 0,6 mg/l olarak ölçülmüştür. NO₂ için genellikle 0,5 mg/l altı olması istenir ancak sazan balıkları bu değerlere oldukça toleranslıdır (Williams ve Eddy, 1986).

Yüksek nitrat sucul ortamlarda bitkiler için en çok tercih edilen besinlerden olup, balıklara toksik açıdan zararı oldukça azdır (Rakocy ve ark., 2007). Özellikle koi'lere genel olarak olumsuzluk teşkil etmemektedir. Ebeling ve ark.'larının (1993) yetiştiricilik sistemleri içinde nitrat konsantrasyonlarının 25 mg/l aştığı durumlarda bile balıklarda bir zarar oluşturmadığını bildirmiştir. Licamele (2009), marul-tilapia akuaponik sisteminde nitrat seviyesini 50 mg/l olarak rapor etmiştir. Bu çalışma da akuaponik sistemi içinde ortalama nitrat değerleri sisteme giren ve çıkan su

Tablo 3. Marul ve çilek üretim periyodu boyunca mikro besin değerleri)

Table 3. Micro nutrients during the lettuce and strawberry production period

Bitki türü	Mikrobesinler (mg/l)	Başlangıç	Haftalar								Ort.	± SH
			1	2	3	4	5	6	7	8		
Marul	Fe	2,10	2,00	2,20	2,10	2,30	2,00	1,90	2,20	2,10	2,10	0,05
	K	20,00	18,30	21,60	22,80	19,60	21,50	20,40	22,90	22,10	21,15	0,57
	Zn	0,14	0,22	0,30	0,35	0,37	0,48	0,55	0,62	0,58	0,43	0,04
	Cu	0,04	0,05	0,08	0,11	0,09	0,12	0,11	0,09	0,10	0,09	0,01
	Mg	20,30	25,80	29,20	31,20	30,30	32,60	33,50	28,10	28,90	29,95	0,97
	Mo	0,02	0,05	0,03	0,05	0,07	0,04	0,05	0,08	0,06	0,05	0,01
Çilek	Fe	3,11	2,80	2,86	2,56	2,89	2,44	2,36	2,78	2,55	2,66	0,08
	K	18,90	20,11	20,42	21,20	20,60	21,11	21,52	21,63	20,03	20,83	0,19
	Zn	0,26	0,18	0,36	0,28	0,48	0,55	0,85	0,79	0,74	0,53	0,08
	Cu	0,10	0,08	0,09	0,13	0,75	0,55	0,61	0,41	0,30	0,37	0,11
	Mg	18,62	20,80	25,46	27,45	28,56	30,78	29,15	28,34	29,23	27,47	1,25
	Mo	0,04	0,06	0,08	0,06	0,05	0,04	0,08	0,07	0,09	0,07	0,01

Tablo 4. Marul ve çilek üretim periyodu boyunca balık büyüme parametreleri. İki uygulama içinde aynı harfe sahip olan kolonlar arası ortamlar istatistiksel olarak farklı değildir ($p>0,05$)

Table 4. Parameters of fish growth during the production period of lettuce and strawberries. Averages between two columns having the same letter in two applications are not statistically different ($p>0,05$)

	Marul	Çilek
Balık büyüme parametreleri	5 kg/m ³	5 kg/m ³
İlk ağırlık (g)	15,32±0,06 ^a	16,03±0,28 ^a
İlk uzunluk (cm)	7,81±0,03 ^a	7,34±0,11 ^a
Son ağırlık (g)	21,42±0,13 ^a	20,91±0,22 ^a
Son uzunluk (cm)	13,24±0,07 ^a	14,52±0,43 ^a
Ağırlık kazancı (%)	39,82±0,02 ^a	30,44±0,13 ^b
Spesifik büyüme oranı (%g/gün)	0,56±0,01 ^a	0,44±0,08 ^b
Yem değerlendirme oranı	2,6±0,01 ^a	2,9±0,22 ^b
Ağırlık Kazancı (%) = [(son ağırlık-başlangıç ağırlığı) / (başlangıç ağırlığı)] x 100		
Spesifik Büyüme Oranı (%g / gün) = [Ln(son ağırlık) - Ln(başlangıç ağırlığı)] / (gün) x 100		
Yem Değerlendirme Oranı = (Tüketilen yem miktarı) / (Ağırlık Kazancı)		

da marul uygulamasında 23,92 ve 10,66 mg/l ve çilek uygulamasında da 25,47 ve 13,66 mg/l olarak gözlemlenmiştir. Marul ve çilek uygulamasındaki nitrat değerleri sisteme giren ve çıkan su da istatistiksel olarak karşılaştırıldığında farklı olduğu bulunmuştur (Tablo 2). Akuaponik uygulamaları içinde diğer önemli bir makro besin olan fosfat dengesi de bu çalışmada normal seviyelerde seyretmiştir. Lennard ve Leonard (2006) morina balıkları için kurduğu akuaponik sisteminde marullarla yaptığı uygulamada fosfat oranını 3,47 mg/l olarak ve Petrea ve ark.nın (2009) gökkuşağı

Tablo 5. Marul ve çilek üretim periyodu boyunca bitki büyüme parametreleri

Table 5. Plant growth parameters during the lettuce and strawberry production period

	Marul
Bitki büyüme parametreleri	24 adet/m ²
İlk uzunluk (cm)	2,6±0,1
Son uzunluk (cm)	24,3±1,3
Hasat (kg/m ²)	1,8±0,2
	Çilek
Bitki büyüme parametreleri	24 adet/m ²
İlk yaprak sayısı	6±1
Son yaprak sayısı	28±2
Meyve hasatı (kg/m ²)	0,6±0,2

alabalığı-ıspanak uygulamasında 3,7 mg/l olarak bildirmiştir. Bu çalışmada da giren ve çıkan suda marul için 2,38-1,36 mg/l ve çilek için 2,03-1,31 mg/l olarak bulunmuştur (Tablo 2). Uygulamalar arasında sisteme giren su içerisinde farklı fakat çıkan su da farklı olmadığı görülmüştür (Tablo 2).

Sekiz haftalık üretim periyodunca nitrat ve fosfat besinlerinin giderilme (ortadan kaldırılma) oranlarının marul ve çilek uygulamaları arasında farklı olduğu gözlemlenmiştir (Tablo 2). Marul uygulaması ile elde edilen giderilme oranlarının fosfat için %42,95 ve nitrat için %55,45 iken çilek uygulamasında fosfat için %35,49 ve nitrat için %46,36 olarak daha yüksek olduğu hesaplanmıştır. Marul uygulamasında makro besinlerin daha yüksek seviyelerde giderilme oranları görülmesinin nedeni marulun çileğe göre yeşil yaprak alan ve sayısının daha fazla olması ve kök yapısının daha sık ve geniş alana yayılmış olarak gösterilebilir. Lennard ve Leonard'nın (2006) fosfat giderilme oranını %36,3 buna karşın

nitrat giderilme oranını %93,2 olarak bulmuştur. Yine Hussain ve ark.'nın (2014) ıspanak uygulamasında, giderilme oranlarını nitrat için %80, 75 ve 58 ve fosfat için %53, 49 ve 39 olarak üç farklı koi stok oranında (1,4; 2,1; 2,8 kg/m³) gözlemlemiştir.

Akuaponik sistemleri içinde en yüksek bitki üretimi yapabilmek için temel elementleri içeren uygun mikro besinlerin düzenli olarak sisteme eklenmesi gerekmektedir. Seawright ve ark.'nın (1998) önerdiği başlangıç miktarlarına marul ve çilek üretim dönemleri başında uyum sağlanmış üretim periyodu boyunca seviyeleri takip edilip eklenmiştir (Tablo 3). Bu nedenle mikro besinler açısından her hangi bir olumsuzluğa rastlanılmamıştır.

Günlük olarak ağırlıklarının %1,5 kadar beslenen balıkların altmış günlük üretim periyodu sonunda yapılan hasadın da, koi balıklarında ağırlık kazancı, spesifik büyüme oranı ve yem değerlendirme oranı uygulamalar arasında istatistiksel olarak farklı bulunmuş olup, en iyi büyüme ve yem değerlendirme marul uygulamasında gerçekleşmiştir (Tablo 4). Sırası ile ağırlık kazancı, günlük büyüme oranı ve yem değerlendirme oranı marul uygulamasında %39,82, %0,56 ve 2,6 çilek de ise %34,44, %0,44 ve 2,9 olarak hesaplanmıştır. Bir üretim sisteminde balık stok yoğunluğu büyümeye etkili hassas bir değişken olup üretimi etkileyen en önemli faktördür. Ayrıca akuaponik sistemlerde de uygun stok yoğunluğu belirlenmesi gerekli temel faktörlerin başında gelir. Bu nedenle benzer çalışmalar ile ilgili karşılaştırma yapmak uygun olmamaktadır. Örneğin; Shelton ve ark.'nın (1981) yaptığı bir çalışmada stok yoğunluğunun artması ile ot sazanlarında büyüme parametrelerinin azaldığı, Licamele'in (2009) çalışmasında Nil tilapyası ile yapılan marul üretiminde artan stok yoğunluğu ile yem değerlendirme katsayısının arttığı rapor edilmiştir. Yine Vijayan ve Leatherland'in (1988) alabalıklarla ve Imanpoor ve ark.'nın (2009) adi sazanlarla çalışmalarında stok oranına bağlı büyüme ve yem değerlendirmenin azaldığı gözlemlenmiştir. Bu çalışmaya benzer olarak ıspanak-koi akuaponik sisteminde stok oranına (1,4; 2,1; 2,8 kg/m³) bağlı olarak ağırlık kazancı %66, 35 ve 28 ve yem değerlendirme oranı 1,95; 3,9 ve 4,7 olarak bulunmuştur (Hussain ve ark., 2014).

Yüzer sal şeklinde köpük kaplama üzerine yerleştirilerek yapılan bitki üretim alanında yetiştirilen marul ve çileklere ait büyüme verileri Tablo 5'te özetlenmiştir. Buna göre sekiz haftalık üretim periyodu sonunda marullar tüketim boyuna ulaşmış ve çilekler de meyve vermeye başlamışlardır. Sisteme düzenli olarak mikrobesin takviyesi yapıldığından ve değerleri de haftalık olarak tespit edildiğinden her hangi bir olumsuzluğa rastlanılmamıştır. Yapraklı bitkiler için en iyi büyümenin sağlandığı yüzer sal metodunun akuaponik sistemler içinde en fazla tavsiye edilen olduğu belirtilmiştir (Lennard ve Leonard, 2006).

Bu çalışmanın sonunda; modern ve sürdürülebilir üretim metodlarından olan topraksız tarım tekniğinin ve kapalı devre sisteminin entegrasyonu olan akuaponik sisteminde balık ve bitkilerin büyümesini optimize eden yapay ve kontrollü bir çevre sağlanmış ve besin döngüsü değerlendirilmiştir. Üretim boyunca su kalitesinin ve makro besinlerin uzaklaştırılmasının etkin bir şekilde sağlanması koi-yapraklı bitki (marul) veya meyveli bitki (çilek) uygulanabilirliğini göstermiştir. Ancak makro besinlerin uzaklaştırılmasında marul uygulamasının çileğe göre daha etkili olduğu gözlemlenmiştir. Bu çalışma ile akuaponik uygulaması üretim sistemleri için

de ortamdaki artan besin maddelerinin başka bir ürüne çevirerek gidermesi ve uygun su kalitesi sağlanması açısından en fazla uygulanması gerekli sürdürülebilir teknik olarak önerilir.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma Abant İzzet Baysal Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri tarafından desteklenmiştir (Proje No: 2015.03.01.871).

KAYNAKLAR

- Adler, P.R., Harper J. K., Wade E.M., Takeda F., Summerfelt, S.T. (2000). Economic analysis of an aquaponic system for the integrated production of rainbow trout and plants. *International Journal of Recirculating Aquaculture*, 1, 15-34. [CrossRef]
- Chopin, T., Cooper J.A., Reid G., Cross S., Moore, C. (2012). Open-water integrated multi-trophic aquaculture: environmental biomitigation and economic diversification of fed aquaculture by extractive aquaculture. *Reviews in Aquaculture*, 4, 209-220. [CrossRef]
- Clarkson, R., Lane S.D. (1991). Use of small-scale nutrient film hydroponic technique to reduce mineral accumulation in aquarium water. *Aquaculture and Fisheries Management*, 22, 37-45. [CrossRef]
- COST. European Cooperation In Science and Technology. 2013. The EU Aquaponics Hub: Realising Sustainable Integrated Fish And Vegetable Production For The EU. COST Action FA1305. Retrieved from https://e-services.cost.eu/files/domain_files/FA/Action_FA1305/mou/FA1305-e.pdf (accessed 01.10.17)
- Diver, S. (2006). Aquaponics – integration of hydroponics with aquaculture, Publication No: IP163, ATTRA, National Sustainable Agriculture Information Service, USA.
- Ebeling, J.M., Losordo T.M., DeLong D.P. (1993). Engineering design and performance of a model aquaculture recirculating system (MARS) for secondary school aquaculture education programs. In: Techniques for Modern Aquaculture: Proceedings of an Aquacultural Engineering Conference, 21-23 June 1993, Spokane, Washington, USA.
- Falls, B., Hudson L. (1999). Micro-Gravity Aquaculture and John Gleen. *Aquaculture Magazine*, Volume 25 (2).
- Faucette, R.F. (1997). Evaluation of a Recirculating Aquaculture-Hydroponics System. Ph.D. Thesis. Oklahoma State University, Oklahoma, USA.
- Hussain, T., Verma, A.K., Tiwari, V.K., Prakash, C., Rathore, G., Shete, A.P., Nuwansi, K.K.T. (2014). Optimizing koi carp, *Cyprinus carpio* var. Koi (Linnaeus, 1758), stocking density and nutrient recycling with spinach in an aquaponic system. *Journal of the World Aquaculture Society*, 45(6), 652-661. [CrossRef]
- Imanpoor, M.R., Ahmadi, A.R., Kordjazi, M. (2009). Effects of stocking density on survival and growth indices of common carp (*Cyprinus carpio*). *Iranian Scientific Fisheries Journal*, 18(3), 1-10.
- Lennard, W.A., Leonard B.V. (2006). A comparison of three different hydroponic sub-systems (gravel bed, floating and nutrient film technique) in an aquaponic test system. *Aquaculture International*, 14, 539-550. [CrossRef]
- Licamele, J. (2009). Biomass production and nutrient dynamics in an aquaponics system. The University of Arizona.
- Losordo, T.M., Masser M.P., Rakocy J. (1992). Recirculating Aquaculture Tank Production Systems; An Overview of Critical Conservations. Southern Regional Aquaculture Center Publication No. 451. Stoneville, Mississippi, USA.
- Mathieu, J.J., Wang J.K. (1995). "The effect of water velocity and nutrient concentration on plant nutrient uptake", Aquacultural Engineering and Waste Management, Proceedings from Aquaculture Expo VIII and Aquaculture in the Mid-Atlantic Conference, June 24-29, 1995, Washington, D. C., USA.

- MedCalc Statistical Software version 15.8 (2015) MedCalc Software bvba, Ostend, Belçika; Available from: <https://www.medcalc.org>.
- Nijhof, M., Bovendeur, J. (1990). Fixed film nitrification characteristics in sea-water recirculation fish culture systems. *Aquaculture*, 87(2), 133-143. [CrossRef]
- Quillere, I., Marie D., Roux F., Gosse F., Morot-Gaudry J.F. (1993). An artificial productive ecosystem based on fish/bacteria/plant association; I. Design and management. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 47, 13-30. [CrossRef]
- Petrea, Ş. M., Cristea, V., Dediu, L., Contoman, M., Lupoae, P., Mocanu, M. (2013). Vegetable Production in an Integrated Aquaponic System with Rainbow Trout and Spinach. *Bulletin of the University of Agricultural Sciences & Veterinary Medicine Cluj-Napoca. Animal Science & Biotechnologies*, 70(1), 45-54.
- Rakocy, J.E., Nair, A. (1987). "Integrating fish culture and vegetable hydroponics: problems and prospects", Virgin Islands Perspectives, Agriculture Research Notes, 2, 19-23.
- Rakocy, J.E. (1989). Vegetable hydroponics and fish culture: a productive interface. *Journal of World Aquaculture Society*, 20(3), 42-47.
- Rakocy, J.E., Masser, M.P., Losordo, T.M. (1992). Recirculating aquaculture tank production systems: Aquaponics-Integrating Fish and Plant Culture. SRAC Publication, No. 454. Southern Region Aquaculture Center, Mississippi State University, Stoneville, Mississippi, USA.
- Rakocy, J.E., Hargreaves J.A. (1993). Integration of vegetable hydroponics with fish culture: A review. In: Techniques for Modern Aquaculture. Editör: Wang, J., St. Joseph, Michigan, USA. p.112-136.
- Rakocy, J.E. (1997). Integrating tilapia culture with vegetable hydroponics in recirculating systems. In: Tilapia Aquaculture in the Americas, Editörler: B. A. Costa-Pierce, B. A., Rakocy J. E., Vol. 1. World Aquaculture Society, Louisiana, USA. p. 163-184.
- Rakocy, J.E. (2007). An Integrated Fish and Field Crop System for Arid Areas, In: Ecological Aquaculture: The Evolution of the Blue Revolution. Editör: Costa-Pierce, B. A. Blackwell Science Ltd, Oxford, UK. p.263-285.
- Seawright, D.E., Stickney R.R., Walker R.B. (1998). Nutrient dynamics in integrated aquaculture-hydroponics systems. *Aquaculture*, 160, 215-237. [CrossRef]
- Shelton, W.L., Smitherman, R.O., Jensen, G.L. (1981). Density related growth of grass carp, *Ctenopharyngodon idella* (Val.) in managed small impoundments in Alabama. *Journal of Fish Biology*, 18(1), 45-51. [CrossRef]
- Sun, W., Zhao, H., Wang, F., Liu, Y., Yang, J., Ji, M. (2017). Effect of salinity on nitrogen and phosphorus removal pathways in a hydroponic micro-ecosystem planted with *Lythrum salicaria* L. *Ecological Engineering*, 105, 205-210. [CrossRef]
- Summerfelt, S.T. (1998). An integrated approach to aquaculture waste management in flowing water systems. Proceedings of the Second International Conference on Recirculating Aquaculture, 16-19 July, 1998, Virginia Polytechnic Institute and State University, Virginia, USA.
- van Rijn, J., Rivera, G. (1990). Aerobic and anaerobic biofiltration in an aquaculture unit—nitrite accumulation as a result of nitrification and denitrification. *Aquacultural Engineering*, 9(4), 217-234. [CrossRef]
- Vijayan, M.M., Leatherland, J.F. (1988). Effect of stocking density on the growth and stress-response in brook charr, *Salvelinus fontinalis*. *Aquaculture*, 75(1-2), 159-170. [CrossRef]
- Williams E.M., Eddy, F.B. (1986). Chloride uptake in fresh water teleosts and its relationship to nitrite uptake and toxicity. *Journal of Comparative Physiology B*, 156, 867-872. [CrossRef]