

Hayvan Besleme Kullanılan Alternatif Protein Kaynakları

Alternative Protein Sources Used in Animal Nutrition

Esra ÇAĞAN ULUSAN^a, Mustafa Numan OĞUZ^a

^aBurdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Veteriner Fakültesi, Hayvan Besleme ve Beslenme Hastalıkları ABD, Burdur, Türkiye

Bu çalışmanın "İnsekt (Böcek) Proteinleri" bölümü, IV. Ulusal Hayvancılık Ekonomisi Kongresi'nde (20-23 Ekim 2022, Antalya) özet ve poster olarak sunulmuştur.

ÖZET Hayvan beslemede protein gereksiniminin yeterli ve dengeli bir şekilde karşılanması yaşamsal faaliyetlerin devamı için gereklidir. Yemin protein bileşenleri hayvancılık faaliyetleri için çevresel ve ekonomik sürdürülebilirlik açısından oldukça önemlidir. Yetersiz protein alımı sonucunda tüm hayvanlarda verim düşüklüğü, çeşitli hastalıklar hatta ölümler bile görülmektedir. Günümüzde hayvan beslemede kullanılan geleneksel protein kaynaklarının her geçen gün artan fiyatlarından ötürü yeni protein kaynakları arayışına girilmiştir. Bu kaynaklar böcek proteinleri, tek hücre proteinleri ve çeşitli bitkisel proteinlerdir. Bu alternatif protein kaynakları biyokütlesini hızlı bir şekilde artırması, protein değerlerinin yüksek olması ve ekonomik olması nedeniyle dikkat çekmektedir.

Anahtar Kelimeler: Alternatif protein kaynakları; böcek proteinleri; tek hücre proteinleri, bitki proteinleri

ABSTRACT Meeting the protein requirement in animal nutrition in a sufficient and balanced way is necessary for the continuation of vital activities. Feed protein components are very important for livestock activities in terms of environmental and economic sustainability. As a result of insufficient protein intake, low yield, various diseases and even death are seen in all animals. Today, due to the increasing prices of traditional protein sources used in animal nutrition, new protein sources have been sought. These sources are insect proteins, single cell proteins and various vegetable proteins. These alternative protein sources attract attention due to their rapid increase in biomass, high protein values and being economical.

Keywords: Alternative protein sources; insect proteins; single cell proteins, plant proteins

Hayvansal ürünler, sağlıklı bir yaşam için gerekli olan esansiyel besin maddelerini içinde barındıran ve biyolojik değeri yüksek olan önemli gıda kaynaklarıdır. Son yıllarda gıda tüketim alışkanlıklarının farklılaşması sonucu hayvansal gıdalara olan talebin giderek arttığı görülmektedir.¹ Dünya nüfusu sürekli artmaktadır. 2050 yılına kadar dünya nüfusunun 9,3 milyara ulaşacağı tahmin ediliyor, bu da hayvan türevli proteine yönelik küresel talebin mevcut tüketim seviyelerinde yılda 1.250 milyon tona ulaşmasına yol açacaktır.² Hayvansal ürünlere yönelik artan talep, yem kaynakları üzerinde baskı anlamına gelmektedir. Yemin protein bileşenleri hayvanların beslenmesi ve hayvancılık faaliyetlerinin ekonomik ve çevresel sürdürülebilirliği için kilit unsurdur.³

Proteinler hem insanların hem de hayvanların yaşamı için gerekli yapısal ve işlevsel birimleri inşa etmek için nitrojen kaynağıdır. Bir proteini oluşturan amino asitlerin bileşimi onun besin değerini ortaya çıkarır. En sık görülen eksikliği insanların ve hayvanların sentezleyemediği esansiyel amino asitlerdir.²

Hayvan beslemede protein gereksiniminin yeterli ve dengeli bir şekilde karşılanması yaşamsal faaliyetlerin devamı için oldukça önemlidir. Ayrıca bağışıklığın güçlenmesi ve hastalıklara yakalanma riskinin azaltılması yönünden de önemlidirler.¹ Proteinin yetersiz olduğu durumlarda tüm çiftlik hayvanlarında verimde gerileme görülmektedir. Protein yetersizliği uzun süre devam ettiğinde ise ölümler meydana gelmektedir.⁴

Correspondence: Esra ÇAĞAN ULUSAN

Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Veteriner Fakültesi, Hayvan Besleme ve Beslenme Hastalıkları ABD, Burdur, Türkiye

E-mail: esracaganvett@gmail.com



Peer review under responsibility of Türkiye Klinikleri Journal of Veterinary Sciences.

Received: 22 Sep 2022

Received in revised form: 23 Jan 2023

Accepted: 23 Jan 2023

Available online: 30 Jan 2023

2146-8850 / Copyright © 2023 by Türkiye Klinikleri. This is an open access article under the CC BY-NC-ND license (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

Geçmiş zamanlarda rasyonda protein dengesinin sağlanmasında kolay bulunabilir rendering ürünlerinden (kan unu, et-kemik unu vb.) tüm hayvan ve türlerinin beslenmesinde yararlanılmıştır. Ancak ülkemizde 15/5/1997 tarihli ve 22990 sayılı Resmî Gazete’de yayımlanan Yem Yönetmeliği ve 2005 tarihli ruminant yemlerine katılması yasak maddeler tebliği ile “Sığır, koyun, keçi gibi geviş getiren (ruminant) hayvanların yemlerine hayvansal proteinler (Et-kemik unu, kemik unu, kan unu ve diğer kan ürünleri, tavuk unu, balık unu, hidrolize protein vb. gibi) ile hayvansal organik kökenli (kemik külü) DCP ve TCP’nin katılması” yasaklanmıştır. Haziran 2010 tarihli 5996 sayılı Veteriner Hizmetleri, Bitki Sağlığı, Gıda ve Yem Kanunu sonrasında Aralık 2011’de yayımlanan “İnsan Tüketimi Amacıyla Kullanılmayan Hayvansal Yan Ürünler Yönetmeliği” ile yasaklanmış ve 1 Ocak 2017 tarihi itibarıyla kanatlı beslemede tavuk unu kullanımı kısıtlanmıştır. Bu tarihten sonra protein bakımından zengin diğer kaynakların kullanımı artmıştır. Bu protein kaynaklarının başında yağlı tohumlar ve küspeler gelmektedir. Ancak Avrupa’da olduğu gibi ülkemizde de bu yemlerin üretimi yetersiz olduğu için ithal küspe kullanılmakta ve ekonomik dalgalanmalardan dolayı fiyatlar hemen etkilenmekte ve artış göstermektedir.¹ Soya fasulyesi küspesi ve balık unu gibi geleneksel protein kaynaklarının piyasa fiyatlarındaki büyük artışı kümes hayvanları eti endüstrisinin ve su ürünleri yetiştiriciliğinin ekonomik sürdürülebilirliğinin kritik bir yönü hâline gelmiştir.³ Bundan dolayı hayvancılık ve et üretiminin uzun vadeli sürdürülebilirliği için alternatif yem kaynakları arayışı stratejik bir konu olmaktadır.⁵

ALTERNATİF PROTEİN KAYNAKLARI

İNSEKT (BÖCEK) PROTEİNLERİ

Böcekler (*Insecta*) hayvanlar aleminde eklem bacaklılar (*Arthropoda*) şubesinde yer almaktadır.⁶ Böcekler hayvanlar ve kuşlar için çekici ve önemli bir doğal protein kaynağı sağlar.⁵ Dünyada bilinen bütün canlıların yarısı oluşturan 10 milyondan fazla böcek türü mevcuttur. Bunlar içine yaklaşık 1.500 böcek türünün insanlar ve hayvanlar için protein kaynağı olduğu düşünülmektedir.⁷ Bilim insanları 14

farklı yabani kuş türüyle yaptıkları çalışmalarında, kuşların mide içeriklerini incelemişler ve araştırmaları sonucunda gıda tüketimlerinin yaklaşık %50’sinin böceklerde oluştuğunu ortaya koymuşlardır. Böcekler hızla çoğalır ve büyürler. Biyolojik atık malzemeleri üzerinde yetiştirilebilmekte ve bu da çevresel fayda sağlamaktadır. 2 kg yem *Arthropoda*’sından ortalama 1 kg böcek biyokütlesi üretilmektedir. Böcekler atık biyokütleyi yüksek değerli bir gıda ve yem kaynağına dönüştürebilmektedir.⁵

Böcekler palmitik, linoleik ve oleik yağ asitlerinde zengindir. Vücutlarındaki yağ oranı kuru maddede %5-50 arasında değişmektedir. Ayrıca demir, çinko, bakır ve selenyum gibi minerallerden zengindir. Böceklerdeki karbonhidratların büyük bir kısmı kitinden oluşmaktadır.⁶ Kitin; böcek ve örümcek gibi karada yaşayan eklem bacaklı hayvanın dış iskeletine sertlik veren, azotlu polisakkarit yapısında bir karbonhidrattır.⁴

Avrupa Gıda Güvenliği Kurumu tarafından 2018’de yürürlüğe giren “Yenilikçi Gıda Yönetmeliği” (2015/2283 sayılı yönetmelik) ile böcek bazlı gıdaların tüketimine izin verilmiştir. Avrupa Birliğine üye olan ülkelerde satılabilmektedir.⁴⁰ 2021 yılının Ocak ayında yayınladığı yönetmelikle de sarı un kurdunun tüketilmesinin onaylanması yakın gelecekte böcek tüketiminde önemli bir artışın ve talebin olacağına göstergesidir.⁸

Un kurdu (*Tenebrio molitor*), yetişkin böceği, kara böceği, çöp böceği olarak bilinmektedir. Dökülen yem, gübre, kuş kadavraları ve kırık yumurtalarda büyüebilmektedir. Sarı un kurdu etlik piliçler için kabul edilebilir bir protein kaynağıdır. Meyve, sebze, tahıl gibi atık maddeler üzerinde çeşitli kombinasyonlarda yetiştirilir.⁵ Kanatlı hayvanlar için kaliteli bir yem maddesidir. Yüksek miktarda protein ve yağ içermektedir. Ancak kalsiyum bakımından yetersizdir. Bundan dolayı un kurdu ile beslenen hayvan diyetlerine kalsiyum ilavesi yapılmalıdır. Taze un kurdunun kuru madde oranı %37,1-57,6 arasında değişim göstermektedir.⁹ Kuru madde bazında ham protein oranı %47,2-60,3 arasındadır. Ham yağ oranı ise %31,1-43,1 arasında değişmektedir.¹⁰

İpek böceği (*Bombyx mori*) ipek endüstrisinin atık ürünüdür. Pupalar güneşte kurutulur, toz hâline getirilir ve ipek böceği pupa unu olarak kullanılır.⁵ İpek böceği pupa unu yüksek besin değerlerine sahip protein açısından zengin bir yem bileşimidir.¹¹ Kuru madde oranı %81,1-97,5 arasında değişmektedir. Kuru madde bazında ham protein oranı %51,6-70,6 arasında, ham yağ oranı %6,2-37,1 arasındadır.¹⁰ İpek böceği unu yüksek oranda rumende parçalanamayan protein içeriği ve uygun amino asit yapısı nedeniyle geniş getiren hayvanlar için çok değerli bir protein takviyesi olabileceği bildirilmiştir.¹¹ Ancak bunun Türkiye’de Yem Kanununa uygun olup olmayacağı belli değildir. Yapılan bir çalışmada, ipek böceği pupa ununun, yumurtacı civcivlere, 63 günlük yaştan 45. haftaya kadar rasyonlarına eklenmesi sonucu büyüme ve yumurta üretim performansı üzerindeki etkileri değerlendirilmiştir. Çalışmada civcivler %0, %6 ve %8 ipek böceği pupa unu içeren rasyonla beslenmiştir. Sonuç olarak, %6’lık rasyonla beslenen civcivlerde kârlılık, büyüme ve yumurta üretim performansının önemli ölçüde daha yüksek olduğu ortaya konulmuştur. Canlı ağırlık artışına ait veriler değerlendirildiğinde %8 düzeyinde pupa unu içeren rasyonla beslenen civcivlerin canlı ağırlıklarının kontrol grubuna kıyasla arttığı, %6 düzeyinde pupa unu içeren gruba göre ise azaldığı gözlemlenmiştir. Ayrıca yem maliyetinin, artan pupa unu miktarıyla beraber kademeli olarak azaldığı, %6 ve %8 pupa unuyla beslenen kanatlıların verimliliğinin kontrole kıyasla arttığı bildirilmiştir.¹²

Yer solucanı (*Lumbricus terrestris*) kullanılabilir alternatif protein kaynaklarından biridir. Çünkü solucanlar %64-76 protein içerir. Bu oran balık unundan (%45) daha fazladır. Solucanlardaki proteinler esansiyel amino asit ve esansiyel olmayan amino asitlerden oluşur. Bu nedenle kanatlı yemi bileşenleri olarak kullanılabilirliği bildirilmiştir.¹³ Yer solucanının kuru madde oranı %77,1-95,2 arasında, kuru madde bazında ham yağ oranı %32,5-71,3 arasındadır.¹⁰ Yapılan bir çalışmada, 7 günlük broyler civcivlerinin büyüme performansı ve besin sindirilebilirliği üzerindeki etkisini belirlemek için rasyonlarına solucan unu ilave edilmiştir. Civcivler 6 hafta boyunca %0, %0,2 ve %0,4 solucan unu içeren

rasyonla beslenmiştir. Civcivlere %0,4 içeren solucan unu verildiğinde yüksek yem alımı, ağırlık artışı ve besin sindirilebilirliği gözlemlenmiştir. Yumurta tavuğu rasyonuna %0,2-0,6 arasında değişen solucan unu ilavesinin özellikle yumurta sarısındaki omega-3 ve omega-6 yağ asitleri oranı olmak üzere yumurta kalite ve performansını iyileştirildiği bildirilmiştir.¹⁴

Siyah asker sineği (*Hermetia illucens*), ılıman ve tropik iklimlere özgüdür. Siyah asker sineği larvaları meyve ve sebze atıkları, insan dışkıları, hayvan gübreleri gibi organik maddeleri tüketmektedir. Bu biyoatıkları tüketip larva biyokütlesine dönüştürmektedirler.⁷ Siyah asker sineğinin kuru madde oranı %90,0-92,5 arasında değişmektedir. Kuru madde bazında ham protein oranı %41,1-43,6 arasında, ham yağ oranı %15,0-34,8 arasında değişim göstermektedir.¹⁰ Siyah asker sineği larvalarının yağ ekstraksiyonu sonucu oluşan küspenin, tavuk ve balık beslemede kullanımı üzerine pek çok olumlu araştırma yapılmıştır. Siyah asker sineği larvalarının in vivo sindirilebilirliği iyi seviyededir. Siyah asker sineği katılma oranları optimize etmek için düşük dozlu çalışmaların yapılması tavsiye edilmiştir.⁷

Karasinek (*Musca domestica*), çevredeki besin dönüşümünün önemli bir bileşenidir. Gübreyi biyolojik olarak parçalamak için karasinek larvaları kullanılmaktadır.¹⁵ Karasinek kurtçuk ununun kuru madde oranı %90,0-94,7 arasında değişmektedir. Kuru madde bazında ham protein oranı %42,3-60,4 arasında, ham yağ oranı ise %9,0-26,0 arasında değişim göstermektedir.¹⁰

Çekirgeler, zengin bir protein kaynağı olmakla beraber bazı kaynaklarda düşük protein düzeyine sahip olduğu (<%30) rapor edilmiştir.¹¹ Çöl çekirge ununun kuru madde oranı %89,5-94,0 arasında değişmektedir. Kuru madde bazında ham protein oranı %29,2-65,9 arasında, ham yağ oranı ise %4,2-14,1 arasında değişim göstermektedir.¹⁰ Esansiyel amino asit bileşimi oldukça iyidir.¹¹ Çekirgede önemli miktarda birkaç karotenoid çeşidi bulunmaktadır. Bu karotenoidler A vitamini kaynaklarıdır ve yumurta sarısının renklenmesinde, bağışıklık sisteminde önemli roller oynamaktadır.¹⁶ Japon bıldırcınları üzerine yapılan bir çalışmada, 100 g/kg oranında çekirge unu eklenerek formüle edilmiş rasyonun yem

ham maddesi olarak hiçbir yan etkisi olmadığı bildirilmiştir. Bıldırcınların büyüme performansı, fizyolojik parametreler ve yumurta kalitesi üzerinde olumsuz bir etkisi olmaksızın 100 g/kg çekirge küspesi rasyonuyla beslenebileceği bildirilmiştir.¹⁷

Değişken besin profiline sahip birkaç salyangoz (*Pomacea canaliculata*) türü vardır. Düşük metiyonin dışında salyangoz proteininin esansiyel amino asit bileşimi balık unu ile benzerdir ve soya fasulyesinden daha yüksektir. Salyangoz unu iyi bir esansiyel yağ asit (linolenik asit, linoleik asit, araşidonik asit) ve mineral kaynağıdır.¹⁸ Salyangoz ununun kuru madde oranı %88,0-95,8 arasında değişmektedir. Kuru madde bazında ham protein oranı %15,2-66,5 arasında, ham yağ oranı %1,1-58,6 arasında değişim göstermektedir.¹⁰ Yumurta tavuklarıyla yapılan bir çalışmada, balık unu yerine değişen oranlarda dev Afrika salyangoz unu kullanılmıştır. Çalışmada, 18 haftalık yaşta toplam 120 “Shaver Brown” yarka kullanılmıştır. Dört deney grubu balık unu yerine 0 (kontrol), %33, %67 ve %100 salyangoz unu şeklinde formüle edilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre balık ununun tamamen dev Afrika salyangozu unu ile değiştirilmesinin yumurta üretimi, yumurta kalitesi ve yumurta tadı üzerinde olumsuz bir etki olmadığını bildirilmiştir.¹⁹

TEK HÜCRE PROTEİNLERİ

Tek hücre proteinleri yüksek protein içeriğine sahip mikroorganizmaların hücrelerinden kurutulmuş veya saflaştırılmış proteinler olarak izole edilmektedirler. Tek hücre proteinleri için yaygın kullanılan kaynaklar atık ve ham maddeler (nişasta, melas, meyve atıkları), yanıcı atıklar ve yan ürünleri (doğal gaz, petrol yan ürünleri, etanol, metanol vb.) olabilmektedir. Tek hücre proteinleri için atık kullanmanın avantajları vardır. Düşük maliyetli organik atıkların faydalı ürünlere dönüştürülmesi ve çevre kirliliğinin azaltılmasını sağlamaktadırlar. Tek hücre proteinleri yetersiz beslenmenin gerçek ve yaşamı tehdit eden bir sorun olduğu zaman hayat kurtarıcı olabilmektedir. Yıllar önce Afrika’nın Çad Gölü’nde doğal olarak yetişen *Spirulina* adlı bir alg türü özellikle kıtlık zamanlarında yerel halkın protein eksikliğini telafi etmek için gıda olarak kullanılmıştır.² I. Dünya Savaşı yıllarında Almanya’da *Saccharomyces cerevisiae* ve *Candida*

utilis, II. Dünya Savaşı yıllarında *Candida arborea* ve *C. utilis* endüstriyel olarak üretilmiş ve kullanılmıştır.²⁰ Mikroorganizmalardan elde edilen proteinler tüm esansiyel amino asitleri içermesine rağmen bileşimleri kullanılan substratın tipine ve belirli bir ortamda yetiştirilen mikroorganizmanın tipine bağlıdır. Bakteri ve maya gibi mikroorganizmalar sadece 5-15 dk’da nüfuslarını 2’ye katladıkları için çok kısa bir çoğalma süresine sahipken, yosun ve küf türleri ise 2-4 saat içinde kendilerini 2’ye katlamaktadır. Tek hücre proteinleri metiyonin ve sistein gibi kükürtlü amino asitlerden eksik olduğu bildirilirken yüksek seviyelerde lizin ve diğer amino asitler gözlemlenmiştir.²

BAKTERİLERDEN ELDE EDİLEN TEK HÜCRE PROTEİNİ

Bakteriyel tek hücre proteinleri kuru maddede %50-80 oranında protein içermektedir. Zengin nükleik asit içeriği, düşük yoğunluklu küçük hücre boyutu ve geniş bir alanda kolayca çoğalma kapasitesi ile karakterizedir. Şeker, nişasta gibi çeşitli substratlar, atıklar (organik atıklar, metanol gibi petrokimyasallar) hatta yüksek besin ve mineral içeriğine sahip su kaynakları üreme alanlarıdır. Bazı bakteriler (*Methylococcus capsulatus*, *Methylomonas methanica*) tek hücre proteinleri üretimi için metanı kullanmaktadır. *Methylophilus methylotrophus*, *Escherichia coli* tek hücre proteinleri üretiminde çok verimlidir. *M. methylotrophus* bakterisi kullanılarak metanolden hayvan yemi için tek hücre proteini geliştirilmiştir. Yetmiş kadar protein içermiştir ve domuz yeminde kullanılmıştır.² Yapılan bir çalışmada, gökkuşağı alabalığı (*Oncorhynchus mykiss*) yavru rasyonlarında balık ununun, bitkisel ham maddelerin mikrobiyal fermentasyonu ile üretilen monosodyum L-glutamik asitin bir yan ürünü olan bakteriyel tek hücre proteini ile yer değiştirilmesi değerlendirilmiştir. Sonuçlar, büyüme ve yemden yararlanma değeri açısından, balık ununun tek hücre proteini ile değiştirilmesinin maksimum %50’ye kadar olması gerektiğini göstermiştir.⁴¹

ALGLERDEN ELDE EDİLEN TEK HÜCRE PROTEİNLERİ

Algler geniş genetik çeşitlilikle karakterize edilen ototrofik organizmalardır. Büyümeyi sürdürmek için

inorganik besinler (çoğunlukla azot ve fosfor) bunun yanı sıra su, karbondioksit ve ışığa ihtiyaçları vardır. İki alg kategorisi vardır. Makro algler (çok hücreli organizmalar) ve mikro algler (tek hücreli organizmalar). Mikro algler genel olarak bitki plankton ve deniz yosunu olarak adlandırılır.² Alglerin hayvan yemine eklenmesi birçok fayda sağlamaktadır. Büyüme ve vücut ağırlığının iyileştirilmesinde, yem alımının azalmasında ve bağışıklığın iyileştirilmesinde etkilidir. Mikro algler B₁₂ vitamini ve iyotun az sayıdaki bitkisel kaynaklarından biridir.²¹ Mikro alg tek hücre proteini üretimindeki mevsimsel değişimler rapor edilmiştir. *Palmaria palmata* yosunu (kırmızı alg) en yüksek tek hücre proteini verimini (kuru ağırlıkça %21,9 ve %35) kış-ilkbahar ve en düşük (kuru ağırlıkça %11,9 ve %8) yaz-sonbahar başında vermiştir. Yakın tarihli tek hücre proteini araştırmasına dayanarak *Chlorella sp.* (%52'ye kadar) ve *Spirulina* (%56'ya kadar) en yüksek protein içeriğini sunabildiği ve aynı zamanda sağlıklı lipidler sağladığı görülmüştür. *Chlorella* kuru ağırlığın %45'ine kadar yüksek miktarlarda tek hücre proteini üretmiştir ve bu durum geleneksel hayvansal ve bitkisel protein kaynakları için ikame olarak alg biyokütlesi kullanma olasılığını ortaya koymuştur.² Günlük broyler civcivlerle yapılan çalışmada, yer fıstığı küspesi ve balık unu yerine %14 ve %17 oranında güneşte kurutulmuş *Spirulina platensis* takviye edilmiştir. Karkas randımanı, organ ağırlıklarını ve organların histopatolojik yönden olumsuz etkilemediğini belirtilmiştir. Alglerde bulunan yüksek karotenoid içeriğe bağlı olarak alg rasyonuyla beslenen civcivlerde deri, göğüs, uyluk kaslarında daha yoğun renk pigmentasyonu gözlenmiştir.²²

MANTARLARDAN ELDE EDİLEN TEK HÜCRE PROTEİNLERİ

Tek hücre proteini üretmek için birçok mantar türü kullanılır. *Aspergillus niger* ve *Fusarium venenatum* gibi bazı mantar kaynakları yüksek protein içeriklerinde dolayı tercih edilmektedir. Mantarlar tek hücre proteini için yetiştirildiklerinde %63'e kadar protein içerir. Mantar proteinleri lizin ve treonin açısından zengindir ancak kükürt içeren amino asitler sistein ve metiyonin bakımından eksiktir. Ayrıca

riboflavin, niasin, tiamin, biotin, pantotenik asit, kolin, piridoksin, glutatyon, aminobenzoik asit ve folik asit bakımından zengindir.² Yapılan bir çalışmada, muz atığının protein içeriği, bir *A. niger* suşu kullanarak katı hâl fermantasyonu ile %6'dan %18'e yükseltilmiştir. Fermente muz atığının bileşimi nedeniyle (%50 toplam şeker, %13 indirgeyici şeker ve %18 protein) sığır yemi olarak kullanılabileceği bildirilmiştir.²³

MAYALARDAN ELDE EDİLEN TEK HÜCRE PROTEİNLERİ

Mayalar, tek hücre proteini üretimi için iyi bir kaynaktır ve özellikle üstün beslenme kalitesi nedeniyle uzun süredir kullanılmaktadır. Almanya'da I. Dünya Savaşı sırasında sosis ve çorbalarda torula mayası (*C. utilis*) kullanılmıştır. Şu anda hayvan yemlerine yem takviyesi olarak (köpek ve balık yemi) sıklıkla kullanılmaktadır. Maya hücreleri bakteri hücrelerinden daha büyüktür ve yüksek lizin düşük metiyonin içeriğine sahiptir. Asidik pH koşullarında büyüyebilirler. Mayalar, bakterilere kıyasla düşük büyüme hızına ve daha düşük protein içeriğine sahiptir.²

BITKİSEL PROTEİNLER

Azolla (*Azolla filiculoides*), küresel bir dağılıma sahip küçük serbest yüzen bir su eğreti otudur. *Azolla* proteinle, yağ asitleri, amino asitler ve vitaminler açısından yüksek olduğu için ham madde olarak kullanılabilir. *Azolla* fenolik içerik kafeoilkinik asit türevleri, tanenler ve karoten gibi çeşitli aktif bileşik sınıfları açısından zengindir. *Azolla*'nın hayvan rasyonuna dâhil edilme yüzdesine bağlı olarak hayvanların büyüme oranını iyileştirdiği gösterilmiştir.²⁴ *Azolla*'nın kuru madde oranı %5,1-8,7 arasında değişmektedir. Kuru madde bazında ham protein oranı %13,9-28,1 arasında ham yağ oranı ise %1,9-5,1 arasında değişim göstermektedir.¹⁰ *Azolla* en çok Hindistan ve Mısır domuzlarında yem maddesi olarak kullanılmıştır.²⁴ Kuzey Vietnamlılar *Azolla*'yı sığırlarda yeşil yem için mükemmel bir ikame olarak tanımlamış ve domuzlar için yem olarak kullanılan pirinç kepeğinin %50'sinin yerini alabileceğini öne sürmüşlerdir.²⁵ *Azolla pinnata* en çok çalışılan tür olarak bulunmuştur ve aynı zamanda hayvan yemi için yaygın olarak kullanılan türdür.²⁴

Yapılan bir çalışmada, moghani kuzularının rasyonuna kurutulmuş *A. pinnata* %10 ve %20 oranında eklenmiştir. Sonuçlar kuzu rasyonunda %10-20 oranında *Azolla* takviyesinin kuzuların kas kompozisyonu ve et kalite parametreleri üzerinde olumsuz bir etki olmadığını göstermektedir. Etin duyusal özellikleri %10 *Azolla* rasyonundan etkilenmemiştir. Kontrol rasyonu ile beslenen kuzulardan elde edilen etlere kıyasla %20 *Azolla* ile beslenen kuzuların etlerinde daha yüksek koku puanları bulunmuştur. Bu bulgular sonucunda moghani besi kuzuları için en iyi uygulama olarak %10 *Azolla* takviyesi olacağını bildirilmiştir.²⁶

Su mercimeği (*Lemna minor*), Lemnaceae ailesine ait serbest yüzen tatlı su bitkisidir.²⁷ Su mercimeği türleri dünya çapında bulunan küçük yüzen su bitkileridir ve genellikle yavaş hareket eden besin açısından zengin tatlı ya da acı sularda kalın battaniye benzeri örtülerde büyüdüğü görülür.²⁸ Su mercimeğinin kuru madde oranı %4,6-7,9 arasında değişmektedir. Kuru bazında ham protein oranı %24,9-38,6 ham yağ oranı ise %2,2-13,8 arasında değişim göstermektedir.¹⁰ Su mercimeği proteini çoğu bitkisel proteinden daha iyi bir esansiyel amino asit dizisine sahiptir ve hayvansal proteine daha yakından benzer. Bu nedenle evcil hayvan üretimi için kullanılacak yüksek kaliteli bir protein kaynağıdır. Besin açısından zengin sularda yetiştirilen su mercimeği yüksek konsantrasyonda eser mineraller, potasyum ve fosfor, pigmentler özellikle karoten ve ksantofil içerir. Özellikle kümes hayvanları için değerlidir.²⁸ Yapılan bir çalışmada, civcivlerin rasyonlarına su mercimeği ilave edilmiş ve büyüme performanslarını ve karkas özelliklerini değerlendirilmiştir. Toplamda 106 civciv 3 tekrarlı olarak 3 deneme grubuna ayrılmıştır. Deneme grupları A (%25 su mercimeği ve %75 ticari yem), B (%50 su mercimeği ve %50 ticari yem) ve C (%100 ticari yem) olarak kategorize edilmiştir. Sonuçlar, yemlerin ham proteinin B grubu ve ardından A grubunda daha yüksek olduğunu, C grubunda ise ham proteinin daha düşük olduğunu göstermiştir. Ancak toplam yem alımı, ortalama ağırlık, canlı ağırlık, et ve kemik ağırlığı, deri ağırlığı, karaciğer ağırlığı, bağırsak ağırlığı ve gövde ağırlığı yönünden A grubu ve B grubuna göre daha yüksek olduğu bildirilmiştir.

Kanalizasyon suyunda yetiştirilen su mercimeğinin kanatlı yemi olarak başarıyla kullanılabileceği sonucuna varılmıştır.²⁹

Güney Amerika'nın yerlisi olan *Salvinia* (*Salvinia molesta*) istilacı yüzen bir su eğrelti otudur. Göllerin, göletlerin, sulak alanların ve nehirlerin sakin sularında yaşar.³⁰ *S. molesta* rüzgar ve su akıntıları ile enfekte olmayan sulara doğru yüzer.³¹ *S. molesta* optimal koşullar altında 3 günden daha kısa bir sürede sayı ve biyokütle olarak 2'ye katlanmasını sağlayan çok hızlı büyüme oranına sahiptir. *S. molesta*'nın neden olduğu problemler rimatöz kolonilerin üretildiği ve parçalanma yoluyla yayıldığı hızlı vejetatif üremeden kaynaklanmaktadır. Bu türün aşırı büyümesi bitki örtüsünün suyu gölgelemesi, balıklar ve vahşi yaşam için habitatı bozabilen yoğun yüzen örtüler oluşturarak su sütununa ışık girmesini engellemesi ile sonuçlanabilir.³² *S. molesta*'nın kuru madde oranı %6,9-8,5 arasında değişmektedir. Kuru madde bazında ham protein oranı %9,5-15,2 ham yağ oranı ise %2,6-3,0 arasında değişim göstermektedir.¹⁰

Su sümbülü (*Eichhornia crassipes*), sıcaklık, nem, aydınlatma, pH, tuzluluk, rüzgâr, akıntı ve kuraklık gibi çok çeşitli çevresel koşulları tolere edebilen kozmopolit istilacı bir su bitkisidir.³³ Hızlı üremesi ve karmaşık kök yapısı nedeniyle genellikle yoğun, birbirine kenetlenen örtüler oluşturur.³⁴ Su sümbülü uygun koşullarda her 5-10 günde bir biyokütlesini 2'ye katlamaktadır. Yirmi yıl boyunca çimlenme gücünü kaybetmeyen tohumlarıyla çoğalmasına devam etmektedir.³⁵ Su sümbülünün kuru madde oranı %4,9-7,6 arasında değişmektedir. Kuru madde bazında ham protein oranı %9,8-26,2 ham yağ oranı %1,1-2,5 arasında değişim göstermektedir.¹⁰ Bangladeş'te sığırlar, çoğunlukla düşük kaliteli kaba yemlerle beslenir. Bu yemler protein, enerji, mineral ve vitaminlerden yetersizdir. Yılın belirli zamanlarında mevsimsel etkilerden dolayı otlatma kalitesi bozulmaktadır. Dolayısıyla hayvanların verimliliği azalmaktadır. Bangladeş'te otlatma alanı sıkıntısı nedeniyle hayvan yemlerinin mevcudiyeti her geçen gün azalmaktadır. Bu gibi durumlarda, çok yaygın ve yerel olarak temin edilebilen geleneksel yem niteliğinde olmayan su sümbülü, yem krizinin üstesinden gelmek için iyi bir alternatif olabilmektedir. Ülkenin birçok kıyı

TABLO 1: Bazı protein kaynakları kullanılarak yapılan çalışmalar.

Protein	Dozu	Hayvan türü	Sonuç	Referans
İpek böceği pupa unu	%0, %6 ve %8	Yumurtacı civciv	Yumurta verimi ve canlı ağırlık artışı	Khatun ve ark. ¹²
Yer solucan unu	%0, %0,2 ve %0,4	Broyler civciv	Yüksek yem alımı, canlı ağırlık artışı, yumurta kalitesinde artış	Son ve Jo ¹⁴
Çekirge unu	100 g/kg	Japon bildirgin	Yumurta kalitesine, fizyolojik parametrelere ve büyüme performansına olumsuz bir etkisi olmamıştır.	Das ve Mandal ¹⁷
Salyangoz unu	%33, %67 ve %100	Shaver brown yarka	Yumurta üretimi, yumurta kalitesi ve yumurtanın tadı üzerine olumsuz bir etkisi olmamıştır.	Diarra ve ark. ¹⁹
<i>Spirulina platensis</i>	%14 ve %17	Broyler civciv	Karkas randımanı, canlı ağırlık artışı üzerine olumsuz bir etki olmamıştır.	Venkataraman ve ark. ²²
<i>Spirulina pinnata</i>	%10 ve %20	Moghani kuzuları	Kas kompozisyonu ve et kalite parametreleri üzerine olumsuz bir etkisi olmamıştır.	Vahedi ve ark. ²⁶
Su ispanağı	%0, %25, %50, %75 ve %100	Nil tilapia yavruları	Protein verim oranı, canlı ağırlık artışı ve yemden yararlanma oranı, içeriği %25'in üzerinde su ispanağı içeren rasyonlarla beslenen balıklarda önemli ölçüde azalmıştır.	Yousif ve ark. ³⁶

bölgesinde su sümbülü, ya temel yem kaynağı olarak ya da şeker kamışı, melas ve tahıl samanlarından oluşan bir rasyona ek olarak sığırlar için yaygın olarak kullanılmaktadır.³³

Su ispanağı (*Ipomoea aquatica*), suda veya nemli topraklarda yetişen ve Convolvulaceae familyasına ait yabani bir bitkidir.³⁶ Su ispanağı ıslak toprakta da gelişebilmesine rağmen doğası gereği yıllık, sucul veya yarı sucul otsu bir bitkidir.³⁷ Yaz ve sonbahar aylarında yaygın olarak yetiştirilen ve tüketilen yeşil yapraklı sağlığa pek çok faydası olan zengin bir karotenoid kaynağıdır.³⁸ Hong Kong'da yıllık su ispanağı üretimi 3-5 milyon kg arasında değişmektedir ve yoğun aylarda, domuz yemi olarak kullanılan önemli miktarları saymazsak, yerel sebze üretiminin neredeyse %15'ini karşılamaktadır. Malezya ve Fiji'de su ispanağının süt sığırlarını beslemek için fil otu (*Pennisetum purpureum*) ile birlikte kullanıldığı bildirilmiştir.³⁹

Su ispanak yaprakları, yüksek miktarda esansiyel amino asitler (4.765 mg/100 g) ve esansiyel olmayan amino asitler (11.669 mg/100 g) içerir.³⁶ Su ispanağının kuru madde oranı %12,1-15,0 arasında değişmektedir. Kuru madde bazında ham protein

oranı %14,1-26,4 ham yağ oranı %2,7-3,1 arasında değişmektedir.¹⁰ Yapılan bir çalışmada, Nil tilapia yavruları (*Oreochromis niloticus*) için rasyonda balık ununun su ispanağı ile yer değiştirilmesinin etkilerini araştırılmıştır. %0, %25, %50, %75 ve %100 oranlarında su ispanağı ve balık unu sindirilebilir protein ikame seviyeleri içeren rasyonlar kullanılmıştır. Su ispanağı düzeyi %25'in üzerindeki rasyonlarla beslenen balıklarda protein verim oranı, mutlak canlı ağırlık, canlı ağırlık artışı ve yemden yararlanma oranı istenmeyen yönde etkilenmiştir. Bu nedenle araştırmacılar, su ispanağının, Nil tilapia balıklarında büyüme performansı, yemden yararlanma ve vücut kompozisyonunu olumsuz yönde etkilemeden balık unu yerine %25 düzeyine kadar kullanılabileceğini bildirmişlerdir.³⁶

Bazı alternatif protein kaynakları kullanılarak yapılan çalışmalar Tablo 1'de gösterilmektedir.

SONUÇ

Hayvan beslemede protein gereksiniminin yeterli ve dengeli karşılanması oldukça önemlidir. Ülkemizde

hayvan beslemede geleneksel protein kaynağı olarak kullanılan soya fasulyesi küspesi ve balık unu, gün geçtikçe artan piyasa fiyatlarından dolayı üreticiyi zorlamaktadır. Bu nedenle alternatif protein kaynaklarına talep ve arayış artmaktadır. Alternatif protein kaynaklarının hem kısa sürede hızlı bir şekilde üretilmesi hem de daha ekonomik olmasından dolayı kullanılması avantajlıdır. Alternatif protein kaynağı olarak kullanılan böcek proteinlerinin birçok ülkede kullanımı yasaktır. Ancak 2021 yılında Avrupa Birliği sarı un kurdunu gıda olarak onaylaması üzerine yakın gelecekte ülkemiz dâhil çoğu ülkede kullanıma sunulacağı tahmin edilmektedir.

Finansal Kaynak

Bu çalışma sırasında, yapılan araştırma konusu ile ilgili doğrudan bağlantısı bulunan herhangi bir ilaç firmasından, tıbbi alet, gereç ve malzeme sağlayan ve/veya üreten bir firma veya

herhangi bir ticari firmadan, çalışmanın değerlendirme sürecinde, çalışma ile ilgili verilecek kararı olumsuz etkileyebilecek maddi ve/veya manevi herhangi bir destek alınmamıştır.

Çıkar Çatışması

Bu çalışma ile ilgili olarak yazarların ve/veya aile bireylerinin çıkar çatışması potansiyeli olabilecek bilimsel ve tıbbi komite üyeliği veya üyeleri ile ilişkisi, danışmanlık, bilirkişilik, herhangi bir firmada çalışma durumu, hissedarlık ve benzer durumları yoktur.

Yazar Katkıları

Fikir/Kavram: Mustafa Numan Oğuz, Esra Çağan Ulsan; **Tasarım:** Esra Çağan Ulsan; **Denetleme/Danışmanlık:** Mustafa Numan Oğuz; **Veri Toplama ve/veya İşleme:** Esra Çağan Ulsan; **Analiz ve/veya Yorum:** Mustafa Numan Oğuz, Esra Çağan Ulsan; **Kaynak Taraması:** Esra Çağan Ulsan; **Makalenin Yazımı:** Esra Çağan Ulsan; **Eleştirel İnceleme:** Mustafa Numan Oğuz.

KAYNAKLAR

1. İpçak HH, Özütmen S, Alççek A, Özelçam H. Alternatif protein kaynaklarının hayvan beslemede kullanım olanakları [Possible usage of alternative protein sources in animal nutrition]. Hayvansal Üretim. 2018;59(1):51-8. DOI: 10.29185/hayvuretim.343285
2. Bratosin BC, Darjan S, Vodnar DC. Single cell protein: a potential substitute in human and animal nutrition. Sustainability. 2021;13(16):9284. https://doi.org/10.3390/su13169284
3. Parolini M, Ganzaroli A, Bacenetti J. Earthworm as an alternative protein source in poultry and fish farming: current applications and future perspectives. Sci Total Environ. 2020;734:139460. PMID: 32454339.
4. Odabaşı F, Yeşilbağ D. Broyler beslemede protein ihtiyacının karşılanmasında yeni bir yaklaşım: böcekler [A new approach to protein requirements in broiler feeding: insects]. Journal of Anatolian Environmental and Animal Sciences. 2021;6(2):180-7. https://doi.org/10.35229/jaes.836995
5. Khan S, Naz S, Sultan A, Alhidary IA, Abdelrahman MM, Khan RU, et al. Worm meal: a potential source of alternative protein in poultry feed. World's Poultry Science Journal. 2016;72(1):93-102. https://doi.org/10.1017/S0043933915002627
6. Canhilal R, Yüksel E, Ülger İ. Böceklerin hayvan yemi olarak kullanım olanakları [The utilization possibilities of insects as animal feed]. Erciyes Tarım ve Hayvan Bilimleri Dergisi. 2020;3(1):42-7. https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/968053
7. Sevilmiş U, Seydoşoglu S, Ayaşan T, Bilgili E, Sevilmiş D. Siyah asker sineğinin (Hermetia illucens L.) yem kaynağı olarak değerlendirilmesi [Evaluation of black soldier fly (Hermetia illucens L.) as a feed source]. Journal of the Institute of Science and Technology. 2019;9(4):2379-89. DOI: 10.21597/jist.586778
8. Erdoğan B, Görür A, Peksever D, Sümer O, El SN. Sürdürülebilir protein kaynağı olarak yenilebilir böceklerin besleyici özellikleri ve tüketici kabulü [Nutritional value and consumer acceptance edible insects as a sustainable source of protein]. Gıda. 2021;46(5):1105-16. doi: 10.15237/gida. GD21074.
9. Çalışlar S. Un kurdu böceğinin besin içeriği ve kanatlı hayvan beslemede kullanım imkânları [Nutrient content of mealworms (Tenebrio molitor L.) and the utilization possibilities in poultry nutrition]. Nevşehir Bilim ve Teknoloji Dergisi. 2017;6:226-32. DOI: 10.17100/nevbitlek.334157
10. Feedipedia [Internet]. [Cited: February 15, 2022]. Available from: https://www.feedipedia.org
11. Makkar HP, Tran G, Heuzé V, Ankers P. State-of-the-art on use of insects as animal feed. Animal Feed Science and Technology. 2014;197:1-33. https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2014.07.008
12. Khatun R, Azmal SA, Sarker MSK, Rashid MA, Hussain A, Miah MY. Effect of silkworm pupae on the growth and egg production performance of Rhode Island Red (RIR) pure line. International Journal of Poultry Science. 2005;4(9):718-20. DOI: 10.3923/ijps.2005.718.720
13. Prayogi HS. The effect of earthworm meal supplementation in the diet on quail's growth performance in attempt to replace the usage of fish meal. International Journal of Poultry Science. 2011;10(10):804-6. DOI:10.3923/ijps.2011.804.806
14. Son JH, Jo IH. Effects of earthworm meal supplementation on the performance of broiler chickens. Korean Journal of Organic Agriculture. 2003;11(2):79-90. https://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=KR2004004925
15. Hussein M, Pillai VV, Goddard JM, Park HG, Kothapalli KS, Ross DA, et al. Sustainable production of housefly (Musca domestica) larvae as a protein-rich feed ingredient by utilizing cattle manure. PLoS One. 2017;12(2):e0171708. PMID: 28170420; PMCID: PMC5295707.

16. Brah N, Salissou I, Houndonougbo FM. Effect of grasshopper meal on laying hens' performance and egg quality characteristics. *Indian J. Anim. Sci.* 2017;87(8):1005-10. https://www.researchgate.net/publication/319479134_Effect_of_grasshopper_meal_on_laying_hens'_performance_and_eggs_quality_characteristics
17. Das M, Mandal SK. *Oxya hyla hyla* (Orthoptera: Acrididae) as an alternative protein source for Japanese quail. *International Scholarly Research Notices*. 2014;1-15. <https://downloads.hindawi.com/archive/2014/269810.pdf>
18. Diarra SS. Utilisation of snail meal as a protein supplement in poultry diets. *World's Poultry Science Journal*. 2015;71(3):547-54. <https://doi.org/10.1017/S0043933915002159>
19. Diarra SS, Kant R, Tanimana J, Lela P. Utilisation of Giant African snail (*Achatina fulica*) meal as protein source by laying hens. *Journal of Agriculture and Rural Development in the Tropics and Subtropics*. 2015;116(1):85-90. https://www.researchgate.net/publication/280114906_Utilisation_of_Giant_African_snail_Achatina_fulica_meal_as_protein_source_for_laying_hens
20. Demirel R, Demirel DŞ. Tek hücre proteinlerinin insan ve hayvan beslemede kullanımı [Single cell proteins for human and animal nutrition]. *Journal of the Institute of Science and Technology*. 2018;8(3):327-36. <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/533257>
21. Djuragic O, Rakita S, Dragojlovic D. The possibilities of alternative protein use in animal nutrition. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2021;854(1):1-6. DOI 10.1088/1755-1315/854/1/012026
22. Venkataraman LV, Somasekaran T, Becker EW. Replacement value of blue-green alga (*Spirulina platensis*) for fishmeal and a vitamin-mineral premix for broiler chicks. *Br Poult Sci*. 1994;35(3):373-81. PMID: 7953781.
23. Baldensperger J, Le Mer J, Hannibal L, Quinto PJ. Solid state fermentation of banana wastes. *Biotechnology Letters*. 1985;7(10):743-8. <https://link.springer.com/article/10.1007/BF01032289>
24. Nasir NANM, Kamaruddin A, Zakarya IA, Islam AKMA. Sustainable alternative animal feeds: recent advances and future perspective of using azolla as animal feed in livestock, poultry and fish nutrition. *Sustainable Chemistry and Pharmacy*. 2022;25:100581. <https://doi.org/10.1016/j.scp.2021.100581>
25. Buckingham KW, Ela SW, Morris JG, Goldman CR. Nutritive value of the nitrogen-fixing aquatic fern *Azolla filiculoides*. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 1978;26(5):1230-4. <https://doi.org/10.1021/jf60219a051>
26. Vahedi V, Hedayat-Evrigh N, Holman BW, Ponnampalam EN. Supplementation of macro algae (*Azolla pinnata*) in a finishing ration alters feed efficiency, blood parameters, carcass traits and meat sensory properties in lambs. *Small Ruminant Research*. 2021;203:106498. <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2021.106498>
27. Kabir J, Islam MA, Ahammad MU, Howlider MAR. Use of duckweed (*Lemna minor*) in the diet of broiler. *Indian Journal of Animal Research*. 2005;39(1):31-5. https://www.researchgate.net/publication/266287606_USE_OF_DUCKWEED_LEMNA_MINOR_IN_THE_DIET_OF_BROILER
28. Leng RA, Stambolie JH, Bell R. Duckweed-a potential high-protein feed resource for domestic animals and fish. *Livestock Research for Rural Development*. 1995;7(1):36. <http://www.lrrd.org/lrrd7/1/3.htm>
29. Iram S, Abrar S, Ahmad I, Khanam T, Azim A, Nadeem MA. Use of Duckweed growing on sewage water as poultry feed. *International Journal of Scientific and Research Publications*. 2015;5(1):1-8. https://www.researchgate.net/publication/289671650_Use_of_duckweed_growing_on_sewage_water_as_poultry_feed
30. Madsen JD, Wersal RM. Growth regulation of *Salvinia molesta* by pH and available water column nutrients. *Journal of Freshwater Ecology*. 2008;23(2):305-13. <https://doi.org/10.1080/02705060.2008.9664203>
31. Koutika LS, Rainey HJ. A review of the invasive, biological and beneficial characteristics of aquatic species *Eichhornia Crassipes* and *Salvinia molesta*. *Applied Ecology and Environmental Research*. 2015;13(1):2636-75. DOI:10.15666/aeer/1301_263275
32. McFarland DG, Nelson LS, Grodowitz MJ, Smart RM, Owens CS. *Salvinia molesta* DS Mitchell (Giant *Salvinia*) in the United States: a review of species ecology and approaches to management. 2004:1-26. https://www.researchgate.net/publication/235125801_Salvinia_molesta_D_S_Mitchell_Giant_Salvinia_in_the_United_States_A_Review_of_Species_Ecology_and_Approaches_to_Management
33. Hossain ME, Sikder H, Kabir MH, Sarma SM. Nutritive value of water hyacinth (*Eichhornia crassipes*). *Online J. Anim. Feed Res*. 2015;5(2):40-4. [https://www.ojafr.ir/main/attachments/article/113/Online%20J.%20Anim.%20Feed%20Res.,%205\(2\)%2040-44,%202015.pdf](https://www.ojafr.ir/main/attachments/article/113/Online%20J.%20Anim.%20Feed%20Res.,%205(2)%2040-44,%202015.pdf)
34. Villamagna AM, Murphy BR. Ecological and socio-economic impacts of invasive water hyacinth (*Eichhornia crassipes*): a review. *Freshwater Biology*. 2010;55(2):282-98. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2427.2009.02294.x>
35. Gülgün B, Keskin N, Aktaş E, Köse H. Su sümbülü bitkisi (*Eichhornia crassipes*) ve atıksu arıtımında kullanımı [Water hyacinth plant (*Eichhornia crassipes*) and its use in wastewater treatment]. *Ziraat Mühendisliği*. 2010;(354):48-53. <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/946708>
36. Yousif RA, Abdullah OJ, Ahmed AM, Adam MI, Ahmed FAM, Idam OA. Effect of replacing fishmeal with water spinach (*Ipomoea aquatica*) on growth, feed conversion and carcass composition for Nile Tilapia fry (*Oreochromis niloticus*). *J Aquat Sci Mar Biol*. 2019;2(4):13-20. <https://www.sryahwpublications.com/journal-of-aquatic-science-and-marine-biology/pdf/v2-i4/3.pdf>
37. Edie HH, Ho BW. *Ipomoea aquatica* as a vegetable crop in Hong Kong. *Economic Botany*. 1969;23(1):32-6. DOI:10.1007/BF02862969
38. Fu H, Xie B, Ma S, Zhu Z, Fan G, Pan S. Evaluation of antioxidant activities of principal carotenoids available in water spinach (*Ipomoea aquatica*). *Journal of Food Composition and Analysis*. 2011;24(2):288-97. DOI:10.1016/j.jfca.2010.08.007
39. Samkol P. Water spinach (*Ipomoea aquatica*) as a feed resource for growing rabbits. *Revista Computadorizada de Producción Porcina Volumen*. 2009;16(2):91-9. <https://www.cabdirect.org/cabdirect/abstract/20103194046>
40. Baş Aksoy A, El SN. Geleceğin protein kaynağı: yenilebilir böcekler [Protein source of the future: edible insects]. *Türk Tarım-Gıda Bilim ve Teknoloji Dergisi*. 2021;9(5):887-96. <https://pdf.trdizin.gov.tr/pdf/bElmVGtsMnlwd2lwYTMweTJqYk9RVdK3NkRHQXhVaGxRWtJqcEFWN203OGJsVkJML3o2cWpLZlBRZU5YcmZ1cUs1NXpwWFR3ZEdVNW43Um1CeXZqMWNwZm56eXRPNG9iZk9RYXkxSndLR3FRVDExbjdYV2NEL0lVRGIXcHU0cU5yWXIsWkVZG8vd-mVDbWNQTE4VGxmSDZWY2VWwke1aXJ0akc3RXJpMEduM2VE43FEUEdyU09LY0YzMiVHVWVlOibk9jTVNDa0lYdQVZlIDVHo1UXR-RTkNvNlg1ZklOcTAWaWtUK2twY3RCYUpjbE01a1I3Y9NSWJMZU83V3fSHpEwVN3UEJQZERHTWhrPT0>
41. Zamani A, Khajavi M, Nazarpak MH, Gisbert E. evaluation of a bacterial single-cell protein in compound diets for rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) fry as an alternative protein source. *Animals (Basel)*. 2020;10(9):1676. PMID: 32957512; PMCID: PMC7552228