

Hayvansal Gıda Üretiminde Su Ayak İzinin Değerlendirilmesi

Hacer KAYA¹, Halit MAZLUM^{2*}

^{1,2}Gümüşhane Üniversitesi, Kelkit Aydın Doğan Meslek Yüksekokulu, Veterinerlik Bölümü, 29000, Gümüşhane

¹<https://orcid.org/0000-0001-9024-8525>

²<https://orcid.org/0000-0001-6711-8503>

*Sorumlu yazar: hmazlum@gumushane.edu.tr

Derleme

Makale Tarihçesi:

Geliş tarihi: 18.09.2024

Kabul tarihi: 04.12.2024

Online Yayınlanma: 12.03.2025

Anahtar Kelimeler:

Hayvansal gıda üretimi

Su ayak izi

Su yönetimi

Sığır eti

ÖZ

Su, insan sağlığının, çevresel sürdürülebilirliğin, endüstriyel üretimin ve gıda güvenliğinin en temel unsurudur. Yerkürede kullanılabilir tatlı su kaynakları toplam su kütesinin sadece %2.5'ini oluşturmaktadır. Dünya nüfusundaki hızlı artış, küresel ısınma, endüstriyel üretimdeki ilerlemeler ve bilinçsiz kullanım etkileriyle sınırlı olan tatlı su kaynakları azalmaktadır. Bu anlamda su kaynaklarının verimli kullanılmasını sağlayan “su ayak izi” kavramı ön plana çıkmaktadır. Su ayak izi, genel anlamıyla bir ürünün üretiminden tüketimine kadarki tüm aşamalarda gerekli olan tatlı su miktarını ifade eder. Dünya genelindeki tarımsal üretim içerisinde hayvansal ürünlerin üretimi su ayak izinin çok önemli bir kısmını (yaklaşık üçte birini) oluşturduğu bildirilmektedir. Bu çalışmada, et üretiminin su ayak izinin süt ve yumurta üretiminden fazla olduğu, et üretimi içerisinde de sığır etinin en yüksek paya sahip olduğu bildirilmiştir. Türkiye’de su ayak izinin sektörel dağılımında tarımsal faaliyetlerin %89 ile ilk sırada yer alması hayvansal gıda üretiminde su yönetiminin doğru yapılmasının ülkemiz açısından önemini ortaya koymaktadır. Gelecekte, küresel nüfus artışıyla birlikte hayvansal gıda üretiminin artışı ve üretim sistemlerinin gelişmesi muhtemeldir. Bu durumun mevcut tatlı su kaynakları üzerinde ek bir baskı oluşturacağı öngörülmektedir. Bu nedenle hayvansal gıda üretiminin tüm aşamalarında gerekli olan su miktarının ürün bazında bilinmesi suyun doğru yönetimi ve verimli kullanımı açısından oldukça önemlidir. Ayrıca düşük su ayak izine sahip yemlerin kullanılması, meraya dayalı hayvancılığın teşvik edilmesi, gıda israfının önlenmesi ve üretim zincirindeki tüm paydaşların bilinçlendirilmesi hayvansal üretimde su ayak izini azaltan ilave önlemler olarak sıralanabilir. Bu çalışmada su kullanımının yüksek olduğu hayvansal gıda üretiminde su ayak izinin önemi küresel ölçekte ve Türkiye özelinde değerlendirilmiştir.

Evaluation of Water Footprint in Animal Food Production

Reviews

Article History:

Received: 18.09.2024

Accepted: 04.12.2024

Published online: 12.03.2025

Keywords:

Animal food production

Water footprint

Water management

Beef

ABSTRACT

Water is fundamental to human health, environmental sustainability, industrial production, and food security. Available freshwater resources in the world constitute only 2.5% of the total water mass. Limited freshwater resources are in decline due to the rapid growth of the world's population, global warming, advances in industrial production, and unconscious use. In this sense, the concept of “water footprint”, which ensures the efficient use of water resources, comes to the fore. The water footprint generally refers to the amount of freshwater required at all stages of a product, from production to consumption. The production of animal products constitutes a significant part (approximately one-third) of the water footprint in agricultural production worldwide. In these studies, it has been reported that the water footprint of

meat production is higher than milk and egg production, and that beef has the highest share in meat production. The fact that agricultural activities rank first with 89% in Turkey's sectoral distribution of water footprint reveals the importance of proper water management in animal food production in. Türkiye Animal food production will likely increase, and production systems will develop with global population growth in the future. This situation is predicted to create additional pressure on existing freshwater resources. For this reason, it is very important to know the amount of water required at all stages of animal food production on a product basis in terms of proper management and efficient use of water. In addition, using feeds with low water footprint, encouraging pasture-based, livestock operations, preventing food waste and raising awareness of all stakeholders in the production chain can be listed as additional measures that reduce the water footprint in animal production. In this study, the importance of water footprint in animal food production, where water use is high, was evaluated on a global scale and specifically in Türkiye.

To Cite: Kaya H., Mazlum H. Hayvansal Gıda Üretiminde Su Ayak İzinin Değerlendirilmesi. *Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi* 2025; 8(2): 970-984.

1. Giriş

Su, insan sağlığı, endüstriyel üretim, gıda güvenliği ve çevresel sürdürülebilirlik açısından temel bir ihtiyaçtır. Yerkürede kullanılabilir tatlı su kaynakları toplam su kütesinin sadece %2.5'ini oluşturmaktadır (Matta ve Kumar, 2017; Mazlum, 2023). Küresel ısınma, hızlı nüfus artışı, sanayileşme, kentleşme ve bilinçsiz kullanım etkileriyle sınırlı olan tatlı su kaynakları azalmakta veya kirlenmektedir (Güneş ve ark., 2023). Bu etkilerin bir sonucu olarak tüketilebilir doğal su kaynakları üzerindeki baskı günden güne artmaktadır (BESD-BİR, 2024). Bu tehlikeli durum tatlı su kaynaklarının korunmasına ilişkin farkındalığı arttırmış ve “su ayak izi” kavramını ön plana çıkarmıştır.

Su ayak izi, su kullanımını ölçmek, değerlendirmek ve insan faaliyetlerinin tatlı su kaynakları üzerindeki etkilerini daha iyi anlamak için yapılan bir ölçümdür (Hoekstra ve Hung, 2002). Bu yöntem, tatlı su kaynaklarının sürdürülebilir yönetimi için bir araç olarak kullanılabilir. Bir ürünün su ayak izi, üretiminin tüm aşamalarında tüketilen veya kirlenen su miktarı olarak tanımlanır (Ibidhi ve Salem, 2020). Tarım, suyun en çok kullanıldığı (%70'den fazla) sektördür (Mekonnen ve Hoekstra, 2012). Gıda ve biyoyakıt taleplerindeki artışı karşılamak için tarımsal üretimin 2012 yılına kıyasla 2050 yılına kadar yaklaşık %50 oranında artabileceği bildirilmektedir (Mekonnen ve Gerbens-Leenes, 2020).

Dünya genelindeki tarımsal üretim içerisinde hayvansal ürün üretimi su ayak izinin çok önemli bir kısmını (yaklaşık üçte birini) oluşturmaktadır (Shrestha ve ark., 2024). Hayvan yemi olarak genellikle kuru veya yaş ot (örn., yonca, korunga, fiğ), buğday, arpa, mısır ve soya fasulyesi gibi yüksek mavi ve yeşil su ayak izine sahip ürünlerin kullanılması nedeniyle hayvansal gıdaların su ayak izi bitkisel gıdalara nispetle daha yüksektir (Dykiel ve ark., 2024). Hayvansal ürünler içerisinde et üretiminin su ayak izinin süt ve yumurta üretiminden fazla olduğu ve sığır etinin en yüksek payı oluşturduğu bildirilmektedir (Ibidhi ve Salem, 2020; Demir, 2023). Nüfus artışı, kentleşme ve artan gelirlerin etkisiyle hayvansal gıda talebinin artarak devam edeceği bildirilmektedir (Ran ve ark., 2016). Küresel

gıda güvenliğinin sağlanabilmesi ancak yeterli ve kaliteli suya erişimle mümkündür. Bu anlamda, hayvansal gıda talebinin artışına paralel olarak su güvenliğine ilişkin artan endişeler, hayvansal gıda üretiminde tüketilen suyun daha iyi yönetilmesi ihtiyacını ortaya koymaktadır. Bu çalışmada su kullanımının yüksek olduğu hayvansal gıda üretiminde su ayak izinin önemi küresel ölçekte ve Türkiye özelinde değerlendirilmiştir.

2. Su Ayak İzi

“Su Ayak İzi” kavramı ilk kez 2002 yılında Arjen Hoekstra tarafından dile getirilmiş, daha sonra Su Ayak İzi Ağı (Water Footprint Network – WFN) ve Twente Üniversitesi tarafından tanımlanmıştır (Güneş ve ark., 2023). Su ayak izi kavramı, tüketim mallarına ilişkin su kullanımının bir göstergesidir. İnsanoğlunun su ayak izinin yaklaşık üçte birinin hayvansal ürünlerin üretimiyle ilgili olduğu bildirilmektedir (Bhagat ve ark., 2020). Su ayak izi, yalnızca su kullanımı ve kirliliğin miktarını değil, aynı zamanda konumlarını da coğrafi olarak göstermektedir. Su ayak izi genellikle mavi, yeşil ve gri su ayak izi olmak üzere üç bileşene ayrılır. Mavi su ayak izi, küresel mavi su kaynaklarından (yüzey ve yeraltı suyu) kullanılan tatlı su hacmidir (Çakmak ve Gökalp, 2015). Yeşil su ayak izi, küresel yeşil su kaynaklarından (toprakta depolanan yağmur suyu) buharlaşan suyun hacmidir. Gri su ayak izi, sulardaki kirliliği göstermektedir. Su kalitesi standartlarına uygun olarak, kirliliği bertaraf etmek için kullanılan tatlı su miktarının ölçüsüdür (Bhagat ve ark., 2020; Demir, 2023). Bazı bitkisel ürünlerin küresel yeşil, mavi ve gri su ayak izi, besin maddesi içeriği ve birim besin içeriği başına su ayak izi Tablo 1’de verilmiştir.

Tablo 1. Bitkisel üretimin küresel su ayak izi ortalaması (Mekonnen ve Hoekstra, 2010)

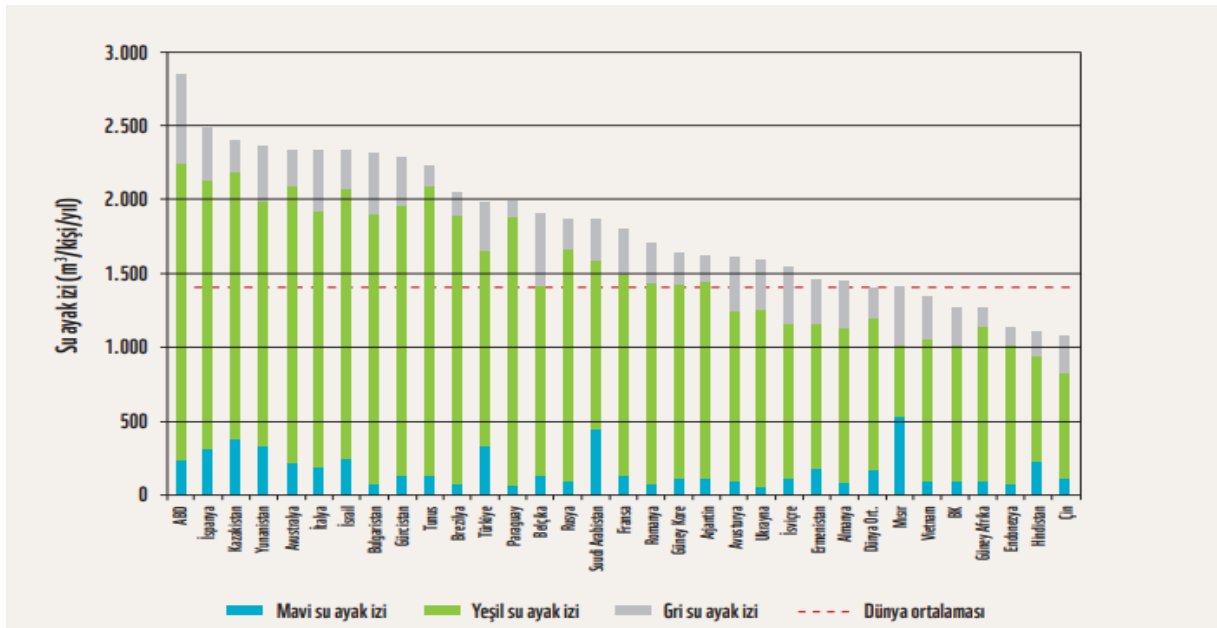
Birim ağırlık başına su ayak izi (L/kg)					Besin içeriği			Besin değeri birimi başına su ayak izi		
	Yeşil	Mavi	Gri	Toplam	Kalori	Protein	Yağ	Kalori	Protein	Yağ
					kcal/kg	g/kg	g/k	L/kcal	L/g	L/g
Sebzeler	194	43	85	322	240	12	2,1	1,34	26	154
Meyveler	726	147	89	962	460	5,3	2,8	2,09	180	348
Tahıllar	1232	228	184	1644	3208	80	15	0,51	21	112
Bakliyat	3180	141	734	4055	3412	215	23	1,19	19	180
Fındık	7016	1367	680	9063	2500	65	193	3,63	139	47
Kök yemler	130	52	15	197	285	0	0	0,69	0	0
Yumru yemler	327	16	43	387	827	13	1,7	0,47	31	226
Yağlı tohumlar	2023	220	121	2364	2908	146	209	0,81	16	11

Su ayak izi bireysel, sektörel veya coğrafi olarak küresel bazda hesaplanabilmektedir. Bir ülkede üretimin su ayak izinin hesaplanmasında, sadece o ülkenin mevcut su kaynakları hesaba katılır. Ancak, tüketimin su ayak izinin hesaplanmasında iç ve dış su ayak izi kavramı öne çıkmaktadır. Tüketimin iç su ayak izi, ülkede mal ve hizmet üretimi için tüketilen su kaynaklarının ölçüsüdür. Dış su ayak izi ise,

başka bir ülkede üretilen ve ithal edilen ürünlere harcanan suyun göstergesidir (Pegram ve ark., 2014). Örneğin, sınırlı su kaynaklarına sahip Kuzey Afrika, Meksika ve Orta Doğu ülkeleri ile sınırlı arazileri olan Japonya ve Singapur ithal ürünlere bağımlıdırlar (BESD-BİR, 2024).

2.1. Dünyada ve Türkiye’de Su Ayak İzi

İnsan ve hayvanların ihtiyaçları için gerekli mal ve hizmetlerin tedarik yöntemindeki değişikliklerden dolayı ülkelerdeki tüketimin su ayak izinde büyük farklılıklar bulunmaktadır. Küresel ölçekte ortalama su ayak izi kişi başına 1385 m³ /yıl olarak bildirilmiştir (Demir, 2023). ABD’de kişi başına düşen yıllık ortalama su ayak izi 2842 m³, Çin’de ise 1071 m³’tür (BESD-BİR, 2024). Ülkelere göre tüketimin kişi başına düşen su ayak izi Şekil 1’de gösterilmiştir. Hindistan, Çin ve ABD, küresel ölçekte tatlı su kaynaklarının en büyük tüketicileridir. Bu üç ülke toplam küresel yeşil, mavi ve gri su ayak izinin %38’ini oluşturmaktadır (Mekonnen ve Gerbens-Leenes, 2020). Afrika ülkelerinin bazılarında (Nijerya, Çad, Sudan, Mali, Etiyopya vb.) ithalatın az olmasından dolayı dış su ayak izi düşüktür. Bununla birlikte Avrupa ülkeleri, toplam su ayak izinin %50-80’ini oluşturan dış su ayak izine sahiptirler (BESD-BİR, 2024). Türkiye’de su kaynakları kısmi olarak yeterli düzeyde olmakla (bazı bölgelerde su kıtlığı mevcut) birlikte son yıllarda su kullanımının artış eğilimleri nedeniyle gelecekte su kıtlığı yaşaması muhtemeldir. Yıllık ortalama 593 mm/m² yağış alan Türkiye, birçok Avrupa ülkesine göre su bakımından zengin olmadığı gibi Ortadoğu’daki komşu ülkelere göre aşırı su kıtlığı yaşayan bir ülke de değildir (FAO, 2016; Demir, 2023). Türkiye’de kişi başı su ayak izi 4500 litre/gün, iç su ayak izi %79, dış su ayak izi ise % 21’dir (Durmuş, 2021). Türkiye’de kişi başına su ayak izi yaklaşık 2000 m³/yıl ile dünya ortalamasının üzerindedir (Pegram ve ark., 2014).



Şekil 1. Ülkelere göre kişi başına düşen tüketimin su ayak izi (Pegram ve ark., 2014)

Türkiye’de tüketimin ve üretimin su ayak izi hemen hemen eşittir ve yaklaşık olarak %80’i iç su kaynaklarına dayanmaktadır (Turan, 2017). Türkiye’de üretimin su ayak izi yıllık yaklaşık 139.6 milyar m³’tür. Türkiye’de üretimden kaynaklanan yeşil, mavi ve gri su ayak izi oranları sırasıyla %64, %19 ve %17’dir. Dünyada sektörel olarak su ayak izinin %70’den fazlasını tarımın oluşturduğu bildirilmektedir (Ibidhi ve Salem, 2020). Türkiye’de üretimin su ayak izinin sektörel dağılımında tarımsal faaliyetler %89 ile ilk sırada yer almaktadır (WWF, 2014). Geriye kalanı %7 ile evsel ve %4 ile endüstriyel su ayak izi oluşturmaktadır (Pegram ve ark., 2014; WWF, 2014; Turan, 2017). Bitkisel üretimin su ayak izinin %38’sini tahıllar, %32’sini yem bitkileri, %13’ünü meyveler, %10’unu endüstri bitkileri, %5’ini yağ bitkileri ve %2’sini sebzeler ve baklagiller oluşturmaktadır (Pegram ve ark., 2014).

3. Hayvansal Gıda Üretiminde Su Ayak İzi

Et, süt ve yumurta hayvansal gıdaların başlıcalarıdır. Hayvansal gıdalar hem yüksek protein içerikleri hem de sahip oldukları diğer biyolojik özellikleri ile insan hayatında vazgeçilemez bir öneme sahiptir (Saygın ve Demirbaş, 2018). Dünya Sağlık Örgütü (WHO) sağlıklı bir insanın vücut ağırlığının her bir kilogramı için, %42’sinin hayvansal kökenli olması koşuluyla, günde 1 g protein tüketmesi gerektiğini bildirmektedir (TİGEM, 2023). Su ayak izinin sektörel dağılımında tarımsal faaliyetler ilk sırada yer almaktadır (BESD-BİR, 2024). Tarımın toplam küresel su ayak izinin yaklaşık %27’sini hayvansal gıda üretimi oluşturmaktadır (Bhagat ve ark., 2020; Dykiel ve ark., 2024; Shrestha ve ark., 2024). Bu bakımdan hayvansal gıda üretiminde su yönetiminin doğru yapılması önemlidir.

Su, kümes ve çiftlik hayvanlarının vücut ağırlığının %50-80’ini oluşturur ve dipolar özelliği ile çözücüdür. Vücutta sıcaklığın dengelenmesi, sindirim ve metabolizmanın düzenlenmesi, sütün salgılanması, toksinlerin vücuttan atılması, ozmotik basıncın ayarlanması ve üreme gibi çok sayıda hayati önemde fonksiyona sahiptir (Cemek ve ark., 2011). Tüketilen su miktarı hayvanın türü, yaşı, ağırlığı, verim dönemi, yediği yemin özelliği ve barınma sistemine bağlı olarak değişmektedir (Cemek ve ark., 2011; Dykiel ve ark., 2024). Farklı hayvan türlerinin küresel ortalama su ayak izi Tablo 2’de verilmiştir. Hayvansal gıda üretimi için küresel su ayak izinin en büyük payı besi sığırlarının (%33) oluşturduğu ve bunu sırasıyla süt sığırları (%19), domuzlar (%19), yumurtacı tavuk ve etlik piliçler (%11) ile koyun (%3) takip ettiği görülmektedir. Hayvansal ürün üretimi için su ayak izi, yalnızca hayvanların doğrudan içtikleri suyu kapsamayıp, aynı zamanda yenilen yemin üretimi ve ürünün işlenmesinde kullanılan su miktarlarını da dikkate almaktadır (Demir, 2023).

Tablo 2. Hayvan türlerinin küresel su ayak izi (Mekonnen ve Hoekstra, 2012)

Hayvan türü	Hayvanın yaşam boyu ortalama su ayak izi (m ³ /hayvan)	Hayvanın yıllık ortalama su ayak izi (m ³ /yıl/hayvan)	Toplam su ayak izindeki payı (%)
Kanatlı	6	26	11
Koyun	141	68	3
Domuz	390	520	19
Et Sığırları	1889	630	33
At	19189	1599	7
Süt Sığırları	20558	2056	19

Hayvansal gıda üretimi temelde hayvanın tüketeceği yemin üretimi ile başlamaktadır. Hayvansal gıda üretim zincirinin her bir aşamasında su tüketimini ifade eden doğrudan ve dolaylı su ayak izi bulunmaktadır. Hayvansal ürünlerin toplam su ayak izindeki en büyük payı yemin üretim aşaması oluşturmaktadır. Hayvansal gıdaların su ayak izlerinin %98 kadarı yem üretimi için kullanılan su ile ilgilidir (Çalım, 2020). Yemin birim başına su ayak izi hayvanların ve ilgili ürünlerin su ayak izinin belirlenmesinde önemli bir faktördür. Herhangi bir hayvansal gıda çeşidinin su ayak izi hayvanların beslenme şekline büyük oranda etkilenmektedir. Küresel olarak, hayvan yemi toplam su ayak izinin ana bileşenlerini mera (%38), mısır (%17), yem bitkileri (%8), soya küspesi (%7), buğday (%6), arpa (%6) ve yulaf (%3) oluşturmaktadır (BESD-BİR, 2024).

Hayvansal gıda üretiminde su ayak izinin belirleyicisi olarak iki temel faktör dikkat çekmektedir. Bu faktörlerin ilki olan yemden yararlanma oranı (FCR) ya da yem dönüşüm oranı, bir birim hayvansal ürünün üretilmesi için hayvanın tükettiği yem miktarı olarak tanımlanmaktadır. Endüstriyel sistemlerde yetiştirilen hayvanlar daha konsantre yemlerle beslendikleri, daha az hareket ettikleri, daha hızlı büyüdükleri ve daha genç yaşta kesime sevk edildikleri için birim hayvansal gıda üretimi için daha az yem tüketmektedirler (Gerbens-Leenes ve ark., 2013). Öte yandan otlamaya dayalı ekstansif sistemlerde hayvanlar kesim ağırlığına ulaşmak ya da bir birim ürün üretebilmek için daha uzun süreye ve daha fazla miktarda yem tüketimine gereksinim duymaktadırlar. Endüstriyel sistemlerde FCR, otlama ve karma sistemlere kıyasla iyileşerek daha düşük su ayak izini oluşturur (Florek ve ark., 2017; Çalım, 2020).

Hayvanın günlük olarak tükettiği yemin bileşimi ve kaba yemin konsantre yeme oranı ikinci faktörü oluşturur. Konsantre yemlerin su ayak izi kaba yemlerden daha büyüktür (Florek ve ark., 2017) ve konsantre yem su ayak izi 1048 m³/ton iken kaba yemin su ayak izi 203 m³/ton'dur (Mekonnen ve Hoekstra, 2010). Genel olarak, konsantre yemler nispeten daha fazla mavi ve gri su ayak izine sahipken, kaba yemler, yan ürünler ve artıklar daha düşük su ayak izine sahiptir (Demir, 2023). Ayrıca kaba yemlerin genellikle yağmurla beslenmesi ve konsantre yem hammaddelerinin üretiminde daha sık sulanması, gübrenmesi gibi nedenlerle konsantre yemlerin yeşil su ayak izi kaba yemlerin 4.3 katı, mavi su ayak izinin 43 katı, gri su ayak izinin 61 katı ve toplam su ayak izinin ise 5.2 katıdır (Mekonnen ve Hoekstra, 2010; Gerbens-Leenes ve ark., 2013). Gıda üretimi için genel olarak mavi ve gri su ayak izleri yeşil su ayak izine göre daha küçüktür ancak daha büyük bir çevresel etkiye sahiptirler (Dykiel ve ark., 2024). Yem ham maddeleri üretiminin küresel ortalama su ayak izi, şeker

pancarı (~200 m³/ton), sebzeler (~400 m³/ton), kök ve yumrular (~400 m³/ton), meyveler (~1000 m³/ton), tahıllar (~1600 m³/ton), yağlı tohum bitkileri (~2400 m³/ton) ve baklagillere (~4000 m³/ton) doğru artış göstermektedir (Mekonnen and Hoekstra, 2011). Bitkisel ürün gruplarını su ayak izlerine göre sebzeler < yumrular < meyveler < tahıllar < yağlı tohumlar < baklagiller < sert kabuklu meyveler şeklinde sıralamak mümkündür (Pekcan, 2017).

Rasyonda konsantre yem miktarının artmasına paralel olarak su ayak izi artış gösterir (Çalım, 2020). Otlatmaya dayalı üretim sistemlerinde düşük konsantre yem içeren bir besleme programı uygulanırken, endüstriyel sistemlerde yüksek konsantre yemle besleme uygulanmaktadır. Tatlı su kaynaklarının kullanımı göz önünde bulundurulduğunda, meraya dayalı sistemlerden elde edilen hayvansal ürünler, endüstriyel sistemlerden elde edilenlere tercih edilir (Dykiel ve ark., 2024). Öte yandan endüstriyel sistemlerde, daha fazla konsantre yem kullanılması nedeniyle de yem tüketimi azalıp FCR iyileşmektedir. Örneğin endüstriyel sistemlerde yetiştirilen kümes hayvanları otlatma sistemlerine kıyasla 3.2 kat daha az yem tüketmektedirler. Ayrıca kümes hayvanları için, endüstriyel sistemlerdeki yüksek FCR, otlatmaya göre daha düşük yeşil, mavi ve gri su ayak izine de neden olmaktadır (Demir, 2023). Kümes hayvanlarının su ayak izi hesaplamasında temel olarak FCR göz önüne alınmaktadır. FCR ve verim, otlatma ve karma sistemlerden endüstriyel sistemlere doğru giderek iyileşir ve kümes hayvanları diğer çiftlik hayvanlarına kıyasla daha küçük su ayak izine sahiptir (BESD-BİR, 2024). Bazı hayvansal gıdaların küresel ortalama yeşil, mavi ve gri su ayak izi (L/kg), besin maddesi içeriği (kcal/kg ve g/kg) ve birim besin içeriği başına su ayak izi (L/kcal ve L/g) Tablo 3'te gösterilmektedir.

Tablo 3. Hayvansal üretimde küresel su ayak izi ortalamaları (Mekonnen ve Hoekstra, 2010)

Birim ağırlık başına su ayak izi (L/kg)	Besin içeriği			Besin değeri birimi başına su ayak izi						
	Yeşil	Mavi	Gri	Kalori	Protein	Yağ	Kalori	Protein	Yağ	
			Toplam	kcal/kg	g/kg	g/kg	L/kcal	L/g	L/g	
Süt	863	86	72	1,021	560	33	31	1,82	31	33
Yumurta	2592	244	429	3265	1425	111	100	2,29	29*	33
Tavuk eti	3545	313	467	4325	1440	127	100	3	34	43
Tereyağı	4695	465	393	5553	7692	0	872	0,72	0	6,4
Domuz eti	4907	459	622	5988	2786	105	259	2,15	57	23
Koy/keç eti	8253	457	53	8763	2059	139	163	4,25	63	54
Sığır eti	14414	550	451	15415	1513	138	101	10,19	112	153

Tablo 3 incelendiğinde, küresel olarak et üretiminin su ayak izinin süt (1020 L/kg) ve yumurta (3265 L/kg) üretimi su ayak izinden fazla olduğu, et üretimi içerisinde de sığır etinin en yüksek paya sahip olduğu görülmektedir. Bir kilogram sığır eti üretmek için yaklaşık 15000 litre yani 15 m³ suya ihtiyaç vardır. Bunun %93'ü yeşil, %4'ü mavi ve %3'ü gri su ayak izidir. Belirtildiği üzere, et için ortalama su ayak izi kanatlı eti (4325 L/kg), keçi eti (5521 L/kg) ve domuz etinden (5988 L/kg) koyun eti

(10412 L/kg) sığır etine (15415 L/kg) doğru artmakta olup bu durum kısmen farklı hayvan türlerinin farklı yemden yararlanma yetenekleri ile ilgilidir. Yemden yararlanma yeteneğinin büyükbaş hayvanlar için en düşük, kanatlı ve domuzlar için en yüksek olması sığır etinin yumurta, piliç ve domuz etinden çok daha yüksek su ayak izine sahip olmasını genel olarak açıklamaktadır (Ibidhi ve Salem, 2020; Demir, 2023; BESD-BİR, 2024). Yeşil, mavi ve gri su ayak izi tek mideli (kümes hayvanları ve domuzlar) ve ruminant hayvan (koyun, keçi ve sığır) eti için önemli ölçüde farklılık göstermektedir. Ruminant hayvan eti üretimi için daha yüksek oranda yeşil su ayak izi ve daha düşük oranda mavi ve gri su ayak izi meydana gelmiştir. Tek midelilerde mavi ve gri su oranının daha yüksek olmasının daha fazla tahıl ve konsantre yem tüketmeleriyle ilgili olduğu belirtilmektedir (Dykiel ve ark., 2024).

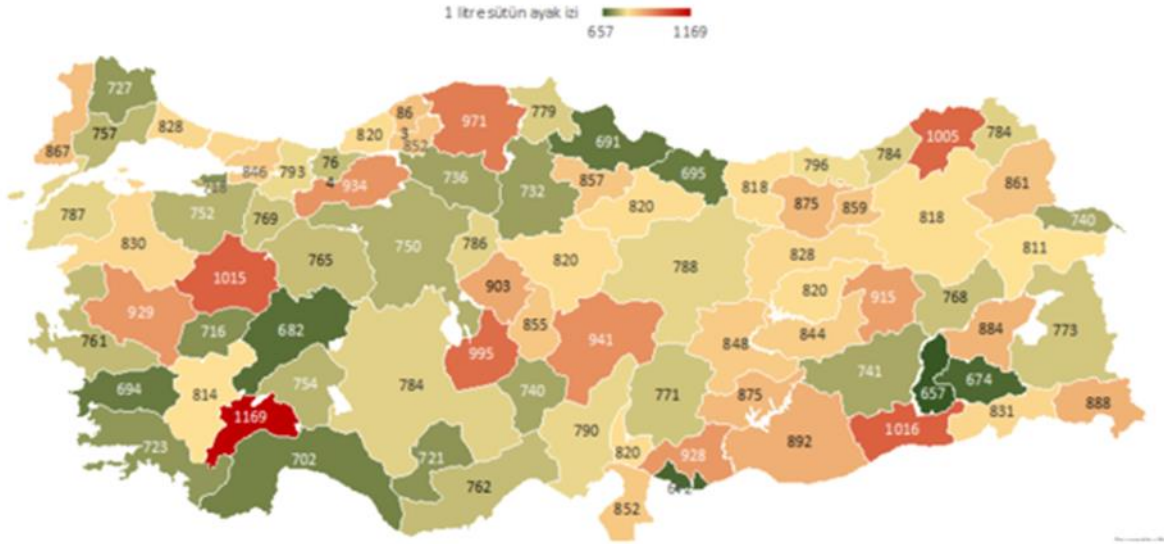
Su ürünleri dışındaki hayvansal gıdalar su ayak izlerine göre süt < yumurta < tavuk eti < tereyağı < peynir < domuz eti < keçi eti < koyun eti < dana eti şeklinde sıralanırken (Güneş ve ark., 2023) hayvansal protein üretimi için bu gıdalar, su ayak izlerine göre yumurta < süt < tavuk eti < domuz eti < koyun/keçi eti < sığır eti şeklinde sıralanmaktadır (Mekonnen ve Hoekstra, 2010). Hayvansal gıdalar arasında en düşük küresel ortalama su ayak izi 1020 L/kg ile süte ait olup bunu 3265 L/kg ile yumurta takip etmektedir. Ancak 1 gram süt proteini üretimi için 31 L su sarf edilirken 1 gram yumurta proteini üretimi için 29 L su sarf edilmektedir (Tablo 3). Bu bakımdan su ürünlerini göz ardı etmek koşuluyla en az su ile üretilen hayvansal protein kaynağının yumurta, en fazla su ile üretilen hayvansal protein kaynağının da dana eti olduğunu söylemek mümkündür. 1 kg yumurtanın otlatma sisteminde üretimi için 7644 L, karma sistemde 3863 L, endüstriyel sistemde 2872 L ve ortalama 3265 L su harcadığı belirtilmiştir (Mekonnen ve Hoekstra, 2012). Ortalama 60 g'lık bir adet yumurtanın otlatma sisteminde üretimi için yaklaşık 460 L, karma sistemde 232 L, endüstriyel sistemde 172 L ve ortalama 196 L su harcanmaktadır. Buna göre su tüketiminin düşüklüğü bakımından hayvansal gıdalar arasında endüstriyel sistemde üretilen yumurtanın lider olduğu söylenebilir. Öte yandan balık ve balıkçılıkta su ayak izinin 1974 m³/ton (%83 yeşil, %9 mavi ve %8 gri su) olduğu bildirilmektedir (Pahlow ve ark., 2015).

Türkiye'de farklı üretim sistemlerinde yetiştirilen besi sığırı ve işlenmemiş et ürünlerinin su ayak izi Tablo 4'te verilmiştir (FAO, 2016). Tablo 4 incelendiğinde Türkiye'deki endüstriyel sistemde besi sığırı yetiştirme ve et işlemede kullanılan mavi, yeşil ve gri su miktarlarının, otlatma ve karma sistemlerin uygulandığı besicilikte harcanan mavi, yeşil ve gri su miktarlarından daha fazla olduğu görülmektedir. Öte yandan, Türkiye'deki sığır eti üretimi için hem mavi, yeşil ve gri su ayak izi hem de toplam su ayak izi küresel sığır eti üretimi için kullanılanlardan daha yüksektir. Türkiye sığır yetiştiriciliği ve et işleminde harcanan su ayak izi ortalaması dünya ortalamasının üzerindedir (Demir, 2023).

Tablo 4. Türkiye’de farklı üretim sistemlerinde yetiştirilen besi sığırları ve işlenmemiş et ürünlerinin su ayak izi değerleri (L/kg)(FAO, 2016)

Ürün	Ayak izi	Otlatma	Karma	Endüstriyel	Türkiye ağırlıklı ortalama	Dünya ağırlıklı ortalama
Sığır (canlı)	Mavi	316	330	650	369	256
	Yeşil	10596	7318	5690	8383	7002
	Gri	268	257	642	313	219
	Toplam	11180	7905	6982	9065	7477
Sığır karkası	Mavi	537	560	1088	627	389
	Yeşil	17502	12088	9399	13910	10234
	Gri	443	425	1061	519	320
	Toplam	18482	13073	11548	15056	10943
Kemiksiz sığır eti	Mavi	759	792	1536	886	550
	Yeşil	24650	17025	13239	19591	14414
	Gri	623	599	1494	731	451
	Toplam	26032	18416	16269	21209	15415
Sığır eti ve sakatatları	Mavi	810	845	1639	942	660
	Yeşil	26311	18172	14131	20817	17388
	Gri	665	639	1595	777	544
	Toplam	27786	19656	17365	22536	18592

Küresel hayvansal üretimin toplam su ayak izinin yaklaşık 470 milyar m³/yıl su tüketimi ile %19'lük kısmını süt sığırlarının oluşturduğunu bildiren Mekonnen ve Hoekstra (2012), 1 L sütün otlatma sisteminde üretimi için 1191 L, karma sistemde 956 L, endüstriyel sistemde 1207 L ve ortalama 1020 L su harcadığını; 1 kg tereyağının otlatma sisteminde üretimi için 6484 L, karma sistemde 5204 L, endüstriyel sistemde 6571 L ve ortalama 5553 L su harcadığını; 1 kg peynirin otlatma sisteminde üretimi için 5905 L, karma sistemde 4743 L, endüstriyel sistemde 5983 L ve ortalama 5060 L su harcadığını belirtmişlerdir. Şekil 2’de Türkiye’de illere göre inek sütünün su ayak izi verilmiştir. Bir litre inek sütü üretiminin 2018 yılı için yeşil ve mavi su ayak izi toplamının ortalama 806 L olduğu ve Türkiye’de yaygın olarak tüketilen diğer bazı süt ürünlerinin ise 1 kg beyaz peynir için 2300 L, 1 kg yoğurt için 1080 L ve 1 kg tereyağı için 4850 L su ayak izi olduğu rapor edilmiştir (Ercin, 2020). Türkiye’de üretilen sütün su ayak izinin yaklaşık %82’sinin yeşil, %18’inin de mavi su kaynaklarından karşılanması, üretilen süt ve süt ürünlerinin (tereyağı, peynir ve yoğurt) su ayak izinin dünya ortalamasının altında olmasını açıklamaktadır. Öte yandan Türkiye’de sığır sütü üretim çiftliğinde yapılan bir çalışmada toplam su ayak izi 1.176.060,43 m³/yıl olarak bulunmuş ve toplam su ayak izinin %96’sı (1131797 m³/yıl) yem, %2.5’i (35188 m³) servis suyu, %1’i (5499 m³) enerji tüketimi ve %1’in altında (3120 m³) gübreden oluştuğu ve 1 litre süt üretimi için 1077 litre su tüketildiği bildirilmiştir (Durmuş, 2021).



Şekil 2: Türkiye'de iller göre inek sütü su ayak izi (L/L) (Ercin, 2020)

Sanayi, enerji üretimi, yiyecek-içecek ve hazır giyimden turizme kadar hemen her sektör gibi genelde tarım, özelde ise hayvansal gıda üretiminin sürdürülebilirliği de büyük oranda suyun varlığına bağlıdır (Ercin, 2020). Bu durum hayvancılık sektörünü su kıtlığı ve kirliliği ile iklim değişikliği gibi su kaynaklı sorunlara karşı hassas hale getirmektedir. Ancak küresel olarak zaten azalmakta olan tatlı su miktarının iklim değişiklikleri nedeniyle gelecekte daha da azalacağı ve sorunların artacağı bildirilmektedir (Palhares ve Pezzopane, 2015). Öte yandan kullanılabilir kaliteli suyun azalması, artan talep ve rekabetin yanı sıra iklim değişiklikleri kaynaklı olarak yoğun yağış ve aşırı su nedeniyle de hayvansal gıda üretiminde azalma meydana geleceği bildirilmektedir (Ercin, 2020).

Tarım, küresel tatlı su kullanımının neredeyse %70'ini oluşturmaktadır (Ridoutt ve ark., 2012) ve küresel tatlı suyun yaklaşık 1/3'ü et ve diğer hayvansal gıda üretimi ile ilişkilidir (Mekonnen ve Hoekstra 2012). Başta kırmızı et olmak üzere üretiminde yüksek miktarlarda su gerektiren hayvansal gıda üretim ve tüketiminden insanlar vazgeçebilirler mi? Hayvansal gıdalar tedarik zinciri boyunca önemli düzeylerde su tüketicisidirler ancak aynı zamanda sahip oldukları biyolojik özellikler nedeniyle de insanların beslenmelerinde hayati öneme sahiptirler. Sağlıklı ve dengeli beslenmek için günlük tüketilmesi gereken proteinin yarısı ya da en az %40-45'inin biyolojik değerliliği yüksek olan hayvansal protein ile karşılanması gerekmektedir (Aksoy ve ark., 2000). Amino asit oranlarına göre saptanan biyolojik değerliliğin en yaygın ölçüsü olan net protein kullanımı, yumurta için 100 olarak alındığında domuz eti 84, sığır eti 80, inek sütü 75, balık 83, pirinç 67, buğday unu 52, mısır 56 ve baklagillerin 47 olduğu ve hayvansal proteinlerin net kullanım ölçüsünün bitkisel proteinlerden çok daha üstün olduğu bildirilmektedir (Oğan ve ark., 2011). A vitamini, B-12 vitamini, riboflavin, kalsiyum, demir ve çinko gibi mikro besin maddelerinin orta süreli yetersiz alımı anemi, azalan çalışma kapasitesi, gece körlüğü ve büyüme geriliğine yol açarken uzun süreli düşük alımı raşitizm, bilişsel performansta bozulma, körlük, nöromusküler ve psikiyatrik bozukluklar ile ölüm gibi daha ciddi sağlık sorunlarına yol açabilir. Bitkisel gıdaların aksine hayvansal gıdalar bu mikro besin

maddelerinin tamamı bakımından özellikle zengin kaynaklar olduğu ve vejetaryen bir diyetle eklenen bu gıdaların nispeten küçük miktarlarının bile besin yeterliliğini önemli ölçüde artırdığı bildirilmektedir (Murphy ve Allen, 2003). Bu nedenlerle fazla su tüketen hayvansal gıda ürünleri yerine, su ayak izi daha düşük olan bitkisel gıdaların tam bir alternatif olarak sunulmasının sağlıklı beslenme açısından uygun olmadığı düşünülmektedir.

Bazı tüketim ürünlerinin su ayak izi Tablo 5'te görülmektedir. Günde ortalama 4 trilyon litre su tüketiminin yapıldığı tahmin edilen tekstil endüstrisi, tarımdan sonra su ayak izi en büyük olan 2. sektör olup hızlı tüketim, çok tüketim ve daha çok tüketim alışkanlığına yönlendiren moda sektörü ile ilintilidir. Tablo 5'te görüldüğü gibi 1 çift deri ayakkabı üretimi için 8000 L, 1 adet T-shirt için 2500 L, 1 adet Jean pantolon üretimi için 10850 L su gerekirken 1 ton tekstil kumaşı üretimi için de yaklaşık 230 ton su tüketimi yapılabilmektedir (Anonim, 2024). Bu bilgiler doğrultusunda, kıtlığı, kirliliği ve aşırı kullanımı sosyal, çevresel ve ekonomik sorunlara yol açtığı için günümüzde giderek daha da değerli hale gelmiş olan tatlı su kaynaklarının rasyonel kullanımı dikkate alınmalı (Dykiel ve ark., 2024) ve başta 2.5 trilyon dolarlık hazır giyim ve moda sektörü (Anonim, 2024) olmak üzere sanayi, enerji üretimi, imalat, yeme- içme, turizm vb. tüm sektörlerde olduğu gibi tarım ve hayvansal gıda üretim sektöründe de uygun stratejiler geliştirilmelidir (Ercin, 2020).

Tablo 5. Bazı ürünlerin su ayak izi (WWF, 2014; Anonim, 2024)

Ürün	Su ayak izi (L)
1 dilim ekme	40
1 bardak kahve (karton bardakta)	208
1 bardak çay	30
1 porsiyon pilav	150
1 adet küp şeker	7,5
1 paket patates cipsi (200 g)	185
1 hamburger	2400
1 adet portakal	50
1 bardak portakal suyu (200 mL)	170
1 adet A4 kağıdı	10
1 çift deri ayakkabı	8000
1 adet T-shirt	2500
1 adet Jean pantolon	10850
1 adet ceket	10000

4. Sonuç

Dünya genelindeki su ayak izinin büyük bir kısmını (\geq %70) tarımsal faaliyetlerin oluşturduğu, bunun da yaklaşık üçte birinin hayvansal üretimden kaynaklandığı bildirilmektedir. Hayvansal ürünlerin su ayak izinin değerlendirilmesinde ise, et üretiminin su ayak izinin süt ve yumurta üretiminden fazla olduğu, et üretimi içerisinde de sığır etinin en yüksek paya sahip olduğu görülmüştür. Önümüzdeki yıllarda Dünya nüfusunda beklenen artışa paralel olarak hayvansal gıda üretimi de artış gösterecektir.

Bu durumda üretim sistemlerinin daha da gelişeceği ve tatlı su kaynakları üzerindeki baskının artacağı tahmin edilmektedir. Bununla birlikte insanoğlunun fazla su tüketen hayvansal gıda ürünlerinden, özellikle de etten vazgeçmesi veya protein ihtiyacını su ayak izi daha düşük olan bitkisel gıdalarla ikame etmesi söz konusu değildir.

Hayvansal gıda üretiminin özellikle de et üretiminin su ayak izi, üretim verimliliği ile yem üretiminin düşük su ayak izi arasında doğru denge bulunması sonucunda optimum düzeye indirilebilir. Bu amaçla, hayvansal gıda üretiminin tüm aşamalarında gerekli olan su miktarının ürün bazında bilinmesi suyun doğru yönetimi ve verimli kullanımı açısından oldukça önemlidir. Ayrıca, düşük su ayak izine sahip yemlerin kullanılması, meraya dayalı hayvancılığın teşvik edilmesi, otlatmanın sistemli yapılması, kümes, barınak ve kesimhanelerin modernizasyonu, üretim zincirindeki tüm paydaşların bilinçlendirilmesi ve en önemlisi de dünya çapında gıda israfının önlenmesi hayvansal üretimde su ayak izini azaltan ilave önlemler olarak sıralanabilir. Öte yandan yüksek su ayak izi bulunan giyim ve moda sektörünün de hayvansal gıda sektörü gibi su ayak izini düşürmek için ciddi önlemler alması ve kullanımda hassasiyet göstermesi gerektiği düşünülmektedir. Zira giderek azalan tatlı su kaynaklarının kıtlığı, kirliliği ve israfı büyük sosyal, çevresel ve ekonomik sorunlara yol açma potansiyelindedir.

Bilgi

Bu çalışma, 15-17 Mayıs 2024 tarihleri arasında Bayburt Üniversitesi tarafından düzenlenen Uluslararası Tarım Bilimlerinde Multidisipliner Yaklaşımlar Kongresinde sözlü bildiri olarak sunulmuş ve özet olarak basılmıştır.

Çıkar Çatışması Beyanı

Makale yazarları herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan eder.

Araştırmacıların Katkı Oranı Beyan Özeti

Yazarlar makaleye eşit oranlarda katkı sağlamış olduklarını beyan eder.

Kaynakça

Aksoy A., Macit M., Karaoğlu M. Hayvan besleme ders kitabı. Erzurum: Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Yayınları; 2000.

Anonim. Sürdürülebilir Moda - Suyun Sürdürülebilirliği. <https://www.vatekcevre.com/blog/surdurulebilir-moda-suyun-surdurulebilirliigi-> (Erişim Tarihi: 10.06.2024)

BESD-BİR. Beyaz et üretiminde su ayak izi. <https://besd-bir.org/tr/evresel-etkiler> (Erişim Tarihi:19.04.2024)

- Bhagat S., Santra AK., Mishra S., Khune VN., Bobade MD., Dubey A., Yadav A., Soni A., Banjare S., Yadav G. The water footprint of livestock production system and livestock products: A dark area: A review. *International Journal of Fauna and Biological Studies* 2020; 7(1): 83-88.
- Cemek B., Çetin S., Yıldırım D. Çiftlik ve kümes hayvanlarının su tüketimi ve su kalite özellikleri. *Tarım Bilimleri Araştırma Dergisi* 2011; 4(1): 57-67.
- Çakmak B., Gökalp Z. Agricultural water use in Turkey and water footprint. In 2nd International Conference on Sustainable Agriculture and Environment, September 30 – October 3 2015, pp:279-284, Konya, Turkey.
- Çalım K. Su ayak izi nedir? Gıdalardaki miktarı ne kadardır? Akdeniz diyetinin etkisi nedir? *Güncel Konular* 2020. <https://www.birbes.com/?p=19861>. (Erişim Tarihi: 3.06.2024).
- Demir Y. Sığır eti üretiminde su ayak izi durumu. *Aydın Gastronomy* 2023; 7(1): 161-171.
- Durmuş ST. Süt sektörü potansiyel su ihtiyacı ve ayak izinin araştırılması. *Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi*, sayfa no:56, Sakarya, Türkiye, 2021.
- Dykiel M., Bienia B., Brağiel E., Baran J. Water footprint in animal food production. *Proceedings of 36th International Scientific and Practical Conference of Young Scientists and Students*, 22-23 April 2024, pp:221, Dnipro, Ukrayna.
- Ercin E. Türkiye sütçülük sektörünün kırılganlıkları: Değişen iklimde su riskleri. *Water Footprint Network. Teknik Rapor*. 2020. <https://www.iklim.org.tr/wp-content/uploads/2022/02/Degisen-I%CC%87klimde-ve-Su-Riskleri-.pdf> (Erişim Tarihi: 05.06 2024).
- FAO. Turkey, Water along the food chain. 2016. <https://www.fao.org/3/i5991e/i5991e> (Erişim Tarihi: 05.04.2024)
- Florek M., Barłowska J., Litwińczuk Z. The water footprint in production of animals for slaughter. *Journal of Animal Science, Biology and Bioeconomy* 2017; 35(3): 1-14.
- Gerbens-Leenes PW., Mekonnen MM., Hoekstra AY. The water footprint of poultry, pork and beef: A comparative study in different countries and production systems. *Water Resources and Industry* 2013; 1-2: 25-36. <https://doi.org/10.1016/j.wri.2013.03.001>
- Güneş E., Yüksel Ö., Başalp A., Nizamlıoğlu HF., Erçetin HK., Engin Ç. Sürdürülebilir mutfakta su ayak izi: Örnek bir pastane incelemesi. *Uluslararası Türk Dünyası Turizm Araştırmaları Dergisi* 2023; 8(2): 150-161. <https://doi.org/10.37847/tdtad.1363923>
- Hoekstra A., Hung P. Virtual Water trade: a quantification of virtual water flows between nations in relation to crop trade. *Value of Water Research Report Series* 2002; 11: 166 Institute for Water Education, Delft, The Netherlands.
- Ibidhi R., Salem HB. Water footprint of livestock products and production systems: a review. *Animal Production Science* 2020; 60(11): 1369-1380.
- Matta G., Kumar A. Health risk, water hygiene, science and communication. *ESSENCE-International Journal for Environmental Rehabilitation and Conservation* 2017; 8(1): 179-186.

- Mazlum H. Sağlıklı yaşamın temel gerekliliği: Su hijyeni. E. Bayer (Ed.), Çok Yönlü Akademik Perspektif: Sağlık Bilimleri Araştırmaları Klaipeda: SRA Academic Publishing 2023; 1-22.
- Mekonnen M., Hoekstra AY. The green, blue and grey water footprint of farm animals and animal products. Volume 2: Appendices. Daugherty Water for Food Global Institute: Faculty Publications. 2010.
- Mekonnen MM., Gerbens-Leenes W. The water footprint of global food production. *Water* 2020; 12(10): 2696. <https://doi.org/10.3390/w12102696>
- Mekonnen MM., Hoekstra AY. A global assessment of the water footprint of farm animal products. *Ecosystems* 2012; 15(3): 401-415.
- Mekonnen MM., Hoekstra AY. The green, blue and grey water footprint of crops and derived crop products. *Hydrology and Earth System Sciences* 2011; 15(5): 1577-1600. <https://doi.org/10.5194/hess-15-1577-2011>
- Murphy SP., Allen LH. Nutritional importance of animal source foods. *The Journal of Nutrition* 2003; 133(11): 3932S-3935S. <https://doi.org/10.1093/jn/133.11.3932S>
- Oğan M., Petek M., Dikmen S., Orman A., Alpay F., Üstüner H. Temel zootekni kitabı. Eskişehir: Anadolu Üniversitesi Yayını; 2013.
- Pahlow M., Van Oel PR., Mekonnen MM., Hoekstra AY. Increasing pressure on freshwater resources due to terrestrial feed ingredients for aquaculture production. *Science of the Total Environment* 2015; 536: 847-857. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.07.124>
- Palhares JCP., Pezzopane JRM. Water footprint accounting and scarcity indicators of conventional and organic dairy production systems. *Journal of Cleaner Production* 2015; 93(4): 299-307. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.01.035>
- Pegram G., Conyngham S., Aksoy A., Dıvrak BB., Öztok D. Türkiye'nin su ayak izi raporu: Su, üretim ve uluslararası ticaret ilişkisi. WWF Türkiye: 2014.
- Pekcan AG. Beslenme rehberleri ve su ayak izi. *Beslenme ve Diyet Dergisi* 2017; 45(2): 95-98.
- Ran Y., Lannerstad M., Herrero M., Van Middelaar CE., De Boer IJ. Assessing water resource use in livestock production: A review of methods. *Livestock Science* 2016; 187: 68-79.
- Ridoutt BG., Sanguansri P., Freer M., Harper GS. Water footprint of livestock: Comparison of six geographically defined beef production systems. *The International Journal of Life Cycle Assessment* 2012; 17: 165-175. <https://doi.org/10.1007/s11367-011-0346-y>
- Saygın Ö., Demirbaş N. Türkiye'de kırmızı et tüketimi: Sorunlar ve öneriler. *Selçuk Tarım ve Gıda Bilimleri Dergisi* 2018; 32(3): 567-574. <https://doi.org/10.15316/SJAFS.2018.138>
- Shrestha S., Vaidya B., Ghimire A. Water of foodprint of food systems. In smart food industry: The Blockchain for Sustainable Engineering London: CRC Press 2024; 307-323

- TİGEM. Yılı hayvancılık sektör raporu. 2023.
<https://www.tigem.gov.tr/Folder/CarouselDosyasi/d722366d-7a4d-4929-ab06-10bc2614778e.pdf> (Erişim Tarihi:06.04.2024)
- Turan ES. Türkiye'nin su ayak izi değerlendirmesi. Türk Hijyen ve Deneysel Biyoloji Dergisi 2017; 74(EK-1): 55-62. <https://doi.org/10.5505/TurkHijyen.2017.29592>
- WWF (Dünya Doğayı Koruma Vakfı)-Türkiye, Türkiye'nin Su Ayak İzi Raporu 2014
http://awsassets.wwftr.panda.org/downloads/su_ayak_izi_raporweb.pdf (Erişim Tarihi: 11.03.2024)