

ID: 24

Water Footprint of Aquaculture Production

Suat Dikel¹, İbrahim Demirkale¹

¹Çukurova University Faculty of Fisheries Department of Aquaculture Adana Türkiye

Abstract

Water is a very familiar substance and is therefore often underestimated. The water footprint (WF) shows the extent of water use based on consumption by humans. The water footprint of an individual, community, or business is defined as the total volume of freshwater consumed by the individual or community or used to produce goods and services produced by the business. Water is a valuable resource that must be protected for present and future generations because both natural ecosystems and human society are highly dependent on an adequate and quality water supply. There is a shortage of fresh water in many parts of the world, and in many places, the quality of freshwater and seawater is deteriorating due to pollution. Agricultural production accounts for 92% of humanity's freshwater footprint; almost a third of this is related to animal production. The study shows that animal products have a larger water footprint (WF) than the production of plant products. All agricultural production activities require water, but water is particularly important for aquaculture as it is the medium in which aquatic food organisms are produced. Since aquaculture is often associated with intensive production patterns, those interested in water conservation have begun to explore the possibility of excessive water use in aquaculture. Therefore, aquaculture must continually struggle to use water efficiently and be prepared to defend water use practices.

Key Words: water footprint, aquaculture, sustainability, water consumption

Su Ürünleri Üretiminde Su Ayakizi

Özet

Su çok bilindik bir maddedir ve bu nedenle genellikle hafife alınır. Su ayak izi (WF), insanlar tarafından tüketime bağlı olarak su kullanım kapsamını gösterir. Bir bireyin, topluluğun veya işletmenin su ayak izi, birey veya topluluk tarafından tüketilen veya işletme tarafından üretilen mal ve hizmetleri üretmek için kullanılan toplam tatlı su hacmi olarak tanımlanır. Su, şimdiki ve gelecek nesiller için korunması gereken değerli bir kaynaktır, çünkü hem doğal ekosistemler hem de insan toplumu, yeterli ve kaliteli su kaynağına büyük ölçüde bağımlıdır. Dünyanın birçok yerinde tatlı su kıtlığı yaşanmakta ve birçok yerde kirlilik nedeniyle tatlı su ve deniz suyunun kalitesi kötüleşmektedir. Tarımsal üretim, insanlığın tatlı su ayak izinin %92'sini oluşturmaktadır; bunun neredeyse üçte biri hayvansal üretimle ilgilidir. Yapılan çalışmada, hayvansal ürünlerin, bitkisel ürünlerin üretimine göre daha büyük bir su ayak izine (WF) sahip olduğunu göstermektedir. Tüm tarım üretim faaliyetleri suya gereksinim duymaktadır, ancak su, suda yaşayan gıda organizmalarının üretildiği ortam olduğu için su ürünleri yetiştiriciliği için özellikle önemlidir. Su ürünleri yetiştiriciliği genellikle yoğun üretim modelleri ile anıldığı için, su tasarrufu ile ilgilenenler, su ürünleri yetiştiriciliğinde aşırı su kullanımı olasılığını araştırmaya başlamışlardır. Bu nedenle, su ürünleri yetiştiricileri, suyu verimli bir şekilde kullanmak ve su kullanım uygulamalarını savunmak açısından hazırlıklı olmak için sürekli olarak çaba göstermek durumundadırlar.

Anahtar Kelimeler: Su ayakizi, sürdürülebilirlik, su ürünleri yetiştiriciliği, su tüketimi

Giriş

Kaynakların giderek azaldığı ve gereksinimlerin arttığı günümüzde mevcut doğal kaynakların gelecekte de kullanılabilirliği ve maliyetlerin makul seviyelerde kalabilmesi için yoğun çaba sarf edilmesi gerekmektedir. Bu bilinçle çevreye ve özellikle de doğaya daha az yük bindirmek için birçok bilim insanı ortak gözlemler yaparak katsayılar formüller ve oranlar ortaya koymaktadır. Üretimde gezegen için neye mal olduğu, gereksinimleri karşılarken doğaya ne kadar yük bindirdiği ve bu kaynakların ne kadarının kullanılmasının rasyonel olacağı gibi konular üzerinde çalışılmaktadır. Günümüzde tüm üretim değerlerinin sürdürülebilir nitelikte olmasına dikkat edilmektedir. Özellikle tarımsal faaliyetler açısından üretimde "karbon ayakizi" ve su ayakizi (WF) yine dikkat edilen önemli başlıklardan sadece bir kaçıdır. Kısaca karbon ayakizi bir insanın, bir ülkenin veya bir fabrikanın yaptığı faaliyetler sonucu atmosfere saldığı sera gazlarının karbondioksit cinsinden karşılığı olarak açıklanır (Plassmann ve Edwards-Jones, 2010). Normal şartlarda atmosfer denge halindeyken bu durumu dönüştürebilir, ancak zamanla bunu dönüştüremeyeceği süreçler düşünülerek önlemler alınmaya çalışılmaktadır. Günümüzde bu nedenle karbon ayakizini düşürmek için çabalanmaktadır.

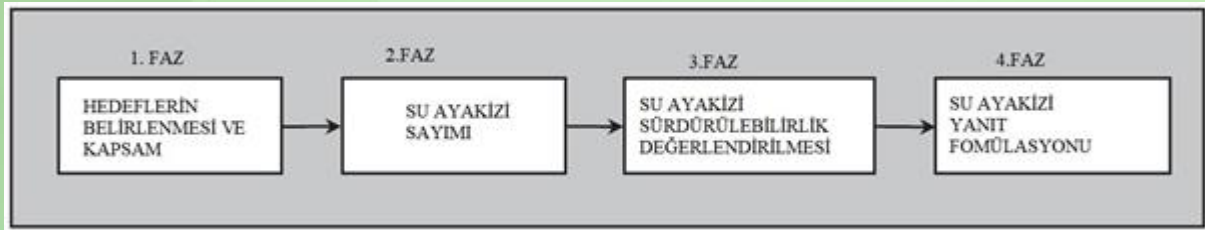


Su ayak izi değerlendirmesi aktivitesi, (i) bir sürecin, ürünün, üreticinin veya tüketicinin su ayak izini ölçmek ve konumlandırmak veya belirli bir coğrafi alandaki su ayak izini zaman ve mekân olarak ölçmek; (ii) bu su ayak izinin çevresel, sosyal ve ekonomik sürdürülebilirliğini değerlendirmek ve (iii) bir yanıt stratejisi formüle etmek amaçlarını güder. Genel olarak, su ayak izlerini değerlendirmenin amacı, insan faaliyetlerinin veya belirli ürünlerin su kıtlığı ve kirlilik sorunlarıyla nasıl ilişkili olduğunu analiz etmek ve faaliyetlerin ve ürünlerin su perspektifinden nasıl daha sürdürülebilir hale gelebileceğini görmektir. Bir su ayak izi değerlendirmesinin nasıl görüneceği, büyük ölçüde ilgi odağına bağlıdır. Tüm üretim zincirindeki belirli bir süreç adımının su ayak izi ile veya nihai bir ürünün su ayak izi ile ilgilenilebilir. Alternatif olarak, bir tüketicinin veya tüketici grubunun su ayak izi veya bir üreticinin veya tüm ekonomik sektörün su ayak izi ile ilgilenilebilir. Son olarak, belediye, vilayet, ulus gibi belirli bir alandaki havza veya nehir havzasındaki toplam su ayak izine bakarak coğrafi bir bakış açısı edinilebilir. Böyle bir toplam su ayak izi, bölgede meydana gelen birçok ayrı sürecin su ayak izlerinin toplamıdır.

Su ayak izi değerlendirmesi analitik bir araçtır, faaliyetlerin ve su kıtlığı ve kirliliği ile ilgili ürünler ve ilgili etkiler ve emin olunması için neler yapılabileceği faaliyetleri ve ürünler tatlı suyun sürdürülemez kullanımına katkıda bulunmaz. Bir araç olarak su ayak izi değerlendirmesi içgörü sağlar, insanlara "ne yapacaklarını" söylemez. Aksine, insanların neler yapılabileceğini anlamalarına yardımcı olur.

Tam bir su ayak izi değerlendirmesi dört farklı aşamadan oluşur (Şekil 1):

- Hedefler ve kapsam belirleme.
- Su ayak izi muhasebesi.
- Su ayak izi sürdürülebilirlik değerlendirmesi.
- Su ayak izi yanıt formülasyonu.



Şekil 1. Su ayak izi değerlendirmesinde dört farklı aşama

Bir su ayak izi değerlendirme çalışmasına girişirken yapılan seçimler konusunda şeffaf olmak için, çalışmanın hedeflerini ve kapsamını net bir şekilde belirleyerek işe başlamak gerekecektir. Su ayak izi çalışması birçok farklı nedenden dolayı yapılabilir. Örneğin, bir ulusal hükümet yabancı su kaynaklarına olan bağımlılığını bilmekle ilgilenilebilir veya su yoğun ithal ürünlerin menşei olduğu alanlarda su kullanımının sürdürülebilirliğini bilmekle ilgilenilebilir.

Bir nehir havzası yetkilisi, havzadaki insan faaliyetlerinin toplam su ayak izinin herhangi bir zamanda çevresel akış gerekliliklerini veya su kalitesi standartlarını ihlal edip etmediğini bilmek isteyebilir. Nehir havzası yetkilisi aynı zamanda havzadaki kıt su kaynaklarının ne ölçüde düşük değerli ihraç mahsullerine tahsis edildiğini bilmek isteyebilir. Bir şirket, tedarik zincirinde kıt su kaynaklarına olan bağımlılığını veya tedarik zinciri boyunca ve kendi operasyonlarında su sistemleri üzerindeki etkilerin azaltılmasına nasıl katkıda bulunabileceğini bilmek isteyebilir.

Su ayak izi muhasebesinin (sayım) aşaması, verilerin toplandığı ve hesapların geliştirildiği aşamadır. Muhasebedeki detayın kapsamı ve düzeyi bir önceki aşamada alınan kararlara bağlıdır. Muhasebe aşamasından sonra, su ayak izinin sosyal ve ekonomik açıdan olduğu kadar çevresel açıdan da değerlendirildiği sürdürülebilirlik değerlendirmesi aşaması gelir. Son aşamada, müdahale seçenekleri, stratejileri veya politikaları formüle edilir. Tüm adımları tek bir çalışmaya dahil etmek gerekli değildir. Hedeflerin ve kapsamın belirlenmesinin ilk aşamasında, yalnızca muhasebeye odaklanmaya veya sürdürülebilirlik değerlendirmesi aşamasından sonra durmaya karar verilebilir ve yanıtla ilgili tartışmayı sonraya bırakabilirsiniz.

Ayrıca, uygulamada, birbirini izleyen dört aşamadan oluşan bu model, katı bir direktiften çok bir kılavuz niteliğindedir. Genellikle daha öncesine dönüş adım ve aşamaların yinelenmesi gerekli olabilir. İlk etapta, bir şirket su ayak izindeki kritik bileşenleri belirlemek ve müdahale için öncelikleri belirlemek üzere tüm aşamaların kabaca araştırılmasıyla ilgilenilebilirken, daha sonra hesapların belirli alanlarında ve sürdürülebilirlik değerlendirmesi konusunda çok daha fazla ayrıntı aramak isteyebilir.

Genel olarak gıdanın ve özel olarak etin su ayak izi, tüketim tarafındaki değişikliklerle önemli ölçüde azaltılabilir, ancak bu, mevcut beslenme modelinde büyük bir geçiş ve özellikle batı ülkelerinde gıda atıklarının



azaltılmasını gerektirecektir. Şu anda, gıda seçimleri artan refah, yerel kültürel mirasla bağın kopması ve çevreye çok az dikkat edilmesi tarafından yönlendirilmektedir (Burlingame, ve Dernini, 2012)

Hayvansal ürünlerin tüketimindeki artışın, dünyanın tatlı su kaynakları üzerinde daha fazla baskı oluşturması muhtemeldir. Bu belge, hayvan türü ve ülke bazında farklı üretim sistemleri ve yem bileşimi dikkate alınarak, hayvansal ürünlerin su ayak izinin kapsamlı bir açıklamasını sunmaktadır. Dünyadaki tarımın toplam su ayak izinin yaklaşık üçte biri hayvansal ürünlerin üretimi ile ilgilidir. Herhangi bir hayvansal ürünün su ayak izi, eşdeğer besin değerine sahip bitkisel ürünlerin su ayak izinden daha büyüktür. Sığır eti için kalori başına ortalama su ayak izi, tahıllar ve nişastalı köklerden 20 kat daha fazladır. Süt, yumurta ve tavuk eti için gram protein başına düşen su ayak izi, baklagillere göre 1,5 kat daha fazladır. Hayvansal ürünler için elverişsiz yem dönüşüm verimliliği, hayvansal ürünlerin tarla ürünlerine kıyasla nispeten büyük su ayak izinden büyük ölçüde sorumludur. Endüstriyel sistemlerden elde edilen hayvansal ürünler genellikle otlatma veya karma sistemlerden elde edilen hayvansal ürünlerden daha fazla yer altı ve yüzey suyu kaynaklarını tüketir ve kirletir. Artan küresel et tüketimi ve hayvansal üretim sistemlerinin yoğunlaşması, önümüzdeki yıllarda küresel tatlı su kaynakları üzerinde daha fazla baskı oluşturacaktır (Mekonnen ve Hoekstra 2012).

Herhangi bir etin su ayak izi çoğunlukla hayvanların beslenmesiyle belirlenir. Küresel olarak, hayvan yeminin WF'sinin ana bileşeni mera (toplam su ayak izinin %38'i), ardından mısır (%17), yem bitkileri (%8), soya küspesi (%7), buğday (%6) ile ilgilidir.), arpa (%6) ve yulaf (%3) (Mekonnen ve Hoekstra 2012) . Bununla birlikte, tek tek ülkelerdeki belirli üretim sistemleri, bu küresel rakamlardan farklıdır. Örneğin Hollanda'da yem endüstrisi domuz yemi için büyük miktarlarda manyok kullanır. Genel olarak, yem konsantreleri nispeten büyük mavi ve gri su ayak izine sahipken, mahsul artıkları, atıklar ve kaba yemler nispeten küçük su ayak izlerine sahiptir. Endüstriyel sistemler çok fazla yem konsantresi kullanır ve bunlar genellikle mera veya kaba yemden daha büyük mavi ve gri su ayak izine sahiptir. Gıda tüketim kalıplarında daha fazla hayvansal ürün tüketimine doğru bir kayma, üretim sistemleri üzerinde daha fazla üretme baskısı oluşturacaktır. Bu aynı zamanda, otlatma ve karma sistemlerden birim yem başına daha yüksek verim sağlayan endüstriyel sistemlere geçişi de teşvik edebilir. Üretim artışı ve daha fazla endüstriyel sisteme geçiş kombinasyonu, hayvancılık üretiminde konsantre yem kullanımını ve hayvancılık sektörünün genel su ayak izini artıracaktır. Toplam üretim için su ayak izindeki toplam artışın yanı sıra bu, özellikle ürün birimi başına mavi ve gri su ayak izini artıracaktır.

Balık yetiştirmek için ne kadar su gerekir?

Su yoluyla ulaşım yoluyla sadece az miktarda su kullanan okyanuslardan balık yakalamasının aksine, su ürünleri yetiştiriciliği çok daha yüksek bir su ayak izine sahip olabilir. Bu sezgisel görünebilir, ancak balık yetiştirmek havuzun buharlaşması, seyreltme ihtiyaçları ve balık yemi üretimi yoluyla büyük miktarda tatlı su tüketebilir. Çin'e odaklanan bir çalışmada Su Ayak İzi Ağı (WFN) yaklaşımı kullanmış ve tatlı su ve acı ortamlarda su ürünleri yetiştiriciliğinin su ayak izinin 3,349-21,215m³ / ton ve 2,204-57,125m³ / ton olduğunu tahmin etmektedir. Bu, yem üretiminden buharlaşmaya ve seyreltme ihtiyaçlarına kadar doğrudan ve dolaylı kullanımları içerir. Alt sıralar endişe verici olmasa da, yüksek aralıklar sığır eti, kuzu eti ve çikolatanın su ayak izlerini bile geride bırakmaktadır. Bunu daha somut terimlerle ifade etmek gerekirse, sadece 1kg balık için 220 küvete kadar su kullanımını söz konusudur.



Şekil 2. Hayvansal üretimde Su Kullanımı Seviyeleri (Yuan ve ark., 2017)



Etin su ayak izini azaltmak ve sürdürülebilir tüketime geçmek

Yakın tarihli bir raporda, (Burlingame ve Dernini, 2012) daha sürdürülebilir bir gıda üretim ve tüketim sistemine olan ihtiyacı vurgulamaktadır. Sürdürülebilir bir diyetin gerekliliklerinden biri, düşük doğal kaynak kullanımı ve çevresel etki ile birlikte gitmesidir. Kaynak kullanımı açısından, 1 litre yeşil su tüketimi, bir litre mavi su tüketimine eşdeğerdir, ancak yeşil bir WF'nin çevre üzerindeki etkisi genellikle mavi bir WF'nin etkisinden çok daha küçüktür. Gri WF'ler, yeraltı suyu yüzeysel suyunun kirlenmesine atıfta buldukları için bir endişe kaynağıdır. Bu, sürdürülebilir bir tüketim açısından, özellikle büyük mavi ve gri WF'ye sahip et türlerinden kaçınılması gerektiği anlamına gelir. Ülkeler arasındaki farklılıklar, düşük WF yem bileşimi ile yüksek yem dönüştürme verimliliği arasında uygun bir denge bularak et üretiminin su ayak izini azaltma olasılıklarının olduğunu göstermektedir. Özellikle iki gelişmekte olan ülke, yem birimi başına WF'leri azaltma ve yem dönüşüm verimliliğini artırarak sürdürülebilirliği iyileştirme potansiyeline sahiptir. Örneğin Çin, verimsiz gübre kullanımına işaret eden ortalamanın üzerinde gri WF'ler gösteriyor. Hayvansal ürünlerin tüketimiyle ilgili su ayak izi, küresel olarak yılda 2422 Gm 3 (tarımın toplam su ayak izinin neredeyse üçte biri), hayvansal ürünlerin yerine bitki kaynaklı gıda ürünlerini koyarak veya gıda israfını azaltarak da azaltılabilir. Etin su ayak izi genel olarak eşdeğer bitki bazlı gıdaların su ayak izinden çok daha fazladır (Mekonnen ve Hoekstra 2012). Hoekstra'nın (2010) gösterdiği gibi, sanayileşmiş bir ülkedeki bir tüketicinin gıdalla ilgili su ayak izi, ortalama ete dayalı bir diyetten vejetaryen bir diyete geçilerek %36 oranında azaltılabilir. Chapagain ve James (2011) Birleşik Krallık'ta önlenebilir gıda israfının su ayak izinin, bir Birleşik Krallık vatandaşının toplam su ayak izinin %6'sı kadar olduğunu buldu.

Kullanımda olan su koruma önlemleriyle bile, havuzlarda su ürünleri yetiştiriciliği, diğer birçok gıda üretim yönteminden daha fazla su yoğunudur. Örneğin, güneydoğu ABD'de çoğu mahsulün sulanması için gereken su ihtiyacı yılda 30-40 santimetredir ve daha fazla su yoğun bir mahsul olan pirinç yılda 60-80 santimetre su gerektirir. Kanal yayın balığı yetiştiriciliği için su ihtiyacı, göletler yıllık olarak boşaltılmadığında yılda 50-100 santimetre, düzenli olarak boşaltıldığında ise yılda 200-250 santimetredir (Boyd 2000)

Ancak su ürünleri yetiştiriciliğinde kullanılan birim su başına üretilen ürün değeri diğer ürünlere göre daha yüksektir. ABD'deki soya fasulyesi, pirinç ve yayın balığı örneklerini kullanarak, hektar başına ortalama üretim sırasıyla 2191, 5510 ve 5000 kilogram ve bu üç ürün için kilogram başına fiyatlar sırasıyla 0,23 ABD Doları, 0,18 ABD Doları ve 1,56 ABD Doları olmuştur (ABD Tarım Bakanlığı, 1994 verileri). Bu nedenle, yukarıda verilen su kullanım aralıklarının yüksek uçları kullanıldığında, metreküp su başına üretim değerleri soya fasulyesi için 0,13 ABD Doları, pirinç için 0,12 ABD Doları, yıllık drenajı olmayan havuzlarda üretilen kanal yayın balığı için 0,78 ABD Doları ve kanal yayın balığı için 0,31 ABD Dolarıdır. Yılda bir kez kurutulan havuzlarda üretilir. Tablo 1'de gösterildiği gibi, kurak iklimlerde yetiştiricilik havuzları için su gereksinimleri daha fazla olacaktır. Ancak diğer mahsuller için sulama ihtiyacı da daha fazla olacaktır. Bu nedenle, gölet balıkçılığı kurak iklimlerde bile muhtemelen suyu diğer karasal, sulu tarıma göre daha verimli kullanacaktır (Boyd 2000).

Sonuç

Özetle, su ayak izi (WF) kavramı bize tatlı su kaynaklarıyla ilişkimizi değerlendirebileceğimiz güçlü bir merceğe sağlıyor. Çoğunlukla hafife aldığımız bir madde olan su, gezegenimizin ekosistemlerinin sağlığının ve insan toplumunun refahının sürdürülmesinde temel taş görevi görüyor.

Dünya genelinde tatlı su kıtlığı, nüfus artışı, iklim değişikliği ve verimsiz su yönetimi gibi faktörlerle daha da kötüleşen, baş döndürücü bir sorundur. Üstelik çeşitli kirlilik türleri nedeniyle su kalitesinin bozulması da bu endişeleri artırıyor. Artan bu sorunlar karşısında, bu paha biçilmez kaynağın koruyucuları olarak rolümüzün farkına varmamız zorunludur.

Küresel tatlı su ayak izimizin önemli bir kısmı tarıma atfedilmektedir ve hayvan üretimi bu kullanımın önemli bir kısmını oluşturmaktadır. Bu, su tüketimini en aza indiren ve çevresel etkileri azaltan sürdürülebilir tarım uygulamalarının benimsenmesinin aciliyetini vurgulamaktadır.

Özellikle su ürünleri sektörü bir dönüm noktasındadır. Dünyanın artan deniz ürünleri talebinin karşılanmasında hayati bir rol oynamaya devam ederken, aynı zamanda aşırı su kullanımı, çevresel sürdürülebilirlik ve sorumlu su ürünleri yetiştiriciliği uygulamalarına ilişkin endişeleri de ele almalıdır. Su ürünleri yetiştiriciliğinin zorunluluğu açıktır: su verimliliğini artırmak, çevresel etkileri en aza indirmek ve gelişen su tasarrufu standartlarına uyum sağlamak.

Temelde su kaynaklarımızı koruma sorumluluğu bireylerden topluluklara ve işletmelere kadar her birimize düşüyor. Sorumlu su kullanımını desteklemek, çevre dostu uygulamaları benimsemek ve su tasarrufuna öncelik veren politikaları savunmak ortak görevimizdir. Bunu yaparak, yalnızca şu an için tatlı suyun bulunabilirliğini ve kalitesini güvence altına almakla kalmıyor, aynı zamanda gelecek nesiller için suyun yaşam ve canlılık kaynağı olarak kaldığı sürdürülebilir bir geleceği de garanti ediyoruz.



Sonuç olarak, su ayakizi kavramı, su kaynaklarının etkili bir şekilde yönetilmesine katkıda bulunan önemli bir araçtır. Su ayakizi hesaplamaları ve bu verilerin bilinçli bir şekilde kullanılması, su kullanımının izlenmesi, su tasarrufu ve sürdürülebilirlik çabalarının desteklenmesi için büyük potansiyele sahiptir. Gelecek nesillerin temiz ve bol miktarda su kaynaklarından yararlanabilmesi için su ayakizi konusunda sürekli olarak bilinçlenmeye ve adımlar atmaya devam etmeliyiz.

Kaynaklar

- Boyd JC. 2000. <https://www.globalseafood.org/advocate/water-use-in-aquaculture/>
- Burlingame B, Dernini S, (Eds.) 2012. Sustainable diets and biodiversity: Directions and solutions for policy, research and action, in: Proceedings of the International Scientific Symposium Biodiversity and Sustainable Diets United Against Hunger, 3–5 November 2010, Food and Agriculture Organization, Rome, Italy.
- Chapagain A, James J. 2011. The Water and Carbon Footprint of Household Food and Drink Waste in the UK. Waste and Resources Action Programme (WRAP), Banbury, Oxon, UK & WWF, Godalming, Surrey, UK.
- Debra T, Feng H, Hubert T, Dawn McG. 2015. TOWARDS A WATER & ENERGY SECURE CHINA Tough choices ahead in power expansion with limited water resources. ChinaWaterRisk.org CWR0415.
- Gerbens-Leenes PW, Mekonnen MM, Hoekstra AY. 2013. The water footprint of poultry, pork and beef: A comparative study in different countries and production systems. Water resources and industry, 1, 25-36.
- Hoekstra AY. 2010. The water footprint of animal products. The meat crisis: Developing more sustainable production and consumption, 22-33.
- Mekonnen MM, Hoekstra AY. 2012 A Global Assessment of the Water Footprint of Farm Animal Products. Ecosystems 15, 401–415 (<https://doi.org/10.1007/s10021-011-9517-8>)
- Plassmann K, Edwards-Jones G. 2010. Carbon footprinting and carbon labelling of food products. In Environmental Assessment and Management in the Food Industry (pp. 272-296). Woodhead Publishing.
- Yuan Q, Song G, Fullana-i-Palmer P, Wang Y, Semakula HM, Mekonnen MM, Zhang S. 2017. Water footprint of feed required by farmed fish in China based on a Monte Carlo-supported von Bertalanffy growth model: A policy implication. Journal of Cleaner Production, 153, 41-50.

