DERS 7: ISO 14046 Su Ayak İzi Standardı

Lesson 7: The ISO 14046 Water Footprint Standard

Program: Sanayide Sürdürülebilirlik, İklim Değişikliği ve Karbon Ayak İzi Eğitimi

Künye	Açıklama
Hedef kitle	Öğrenciler, sanayi çalışanları ve uzmanlar
Bu materyalin kapsamı	ISO 14046'nın mantığı, dört aşamalı değerlendirme, amaç ve kapsam, sistem sınırı ve işlevsel birim, su envanteri, su akış şeması ve kütle denkliği, su ayak izi profili ve tek değer, su kıtlığı etkisi (AWARE), su kalitesi etkileri, gri su kavramının sınırı, karşılaştırmalı iddia kuralları ve boyanmış kumaş örneği
Örnek verisi	Bu materyaldeki tüm hesap örneklerinin sayıları eğitim verisidir. Gerçek şirket ya da gerçek havza verisi değildir
Bilgi güncelliği	Eylül 2026
İlgili dersler	Ders 6 (mavi, yeşil ve gri su ayak izi bileşenleri, doğrudan ve dolaylı su kullanımı). Ders 8 (kritik noktalardan sanayide su verimliliği, proses iyileştirmesi, geri kullanım, izleme ve uygulama planına geçiş)

Öğrenme çıktıları

Bu materyali tamamlayan kişi şunları yapabilir:

- ISO 14046'nın ne olduğunu ve ne olmadığını açıklar. Standardın bir ölçüm yöntemi, etiket ya da sertifika olmadığını ayırt eder.
- Dört aşamayı (amaç ve kapsam, su ayak izi envanteri, etki değerlendirmesi, yorumlama) ve bunların yinelemeli yapısını tanımlar.
- Ürün, proses, tesis ve kuruluş düzeyinde amaç, kapsam, sistem sınırı ve işlevsel birim belirler.
- Su envanterini kaynak, çıkış, iç geri kullanım ve veri kalitesi açısından kurar.
- Su kütle denkliğini birimleriyle hesaplar, kapanmayan farkı yorumlar ve iç geri kullanımın çift sayılmasını önler.
- Su ayak izi profili ile tek değerli sonucu, orta-nokta ile uç-nokta göstergelerini ayırt eder.
- AWARE yönteminin ne ölçtüğünü, karakterizasyon faktörü aralığını (0,1 ile 100) ve ISO 14046 için zorunlu olmadığını açıklar.
- Su kalitesi etkilerini (ötrofikasyon, asidifikasyon, ekotoksisite) ve gri su göstergesinin ISO 14046'daki sınırını açıklar.
- Karşılaştırmalı iddia için gereken koşulları sayar ve boyanmış kumaş örneğinde kritik noktaları bulur.

1. Giriş: Ölçülen litre ile potansiyel etki

Bir tesisin ne kadar su çektiğini bilmek, suyla ilgili çevresel etkisini bildiğimiz anlamına gelmez. Aynı miktardaki su kullanımı, suyun bol olduğu bir havzada ve su stresi yüksek başka bir havzada aynı sonucu doğurmaz. Benzer biçimde, yalnızca atıksu miktarı da su kalitesi üzerindeki baskıyı tek başına açıklamaz.

Ders 6'da su ayak izinin mavi, yeşil ve gri bileşenlerini, doğrudan ve dolaylı su kullanımını, ayrıca havza ve zaman boyutunun önemini öğrendik. Bu derste bir sonraki adıma geçiyoruz. ISO 14046, suyla ilişkili miktarları bir yaşam döngüsü değerlendirmesi (YDD, LCA) içinde ele alarak bunların **potansiyel çevresel etkilerini** değerlendirmeyi amaçlar.

Bu materyalde şu sorulara yanıt aranır:

- Standardın temel mantığı nedir ve neyi kapsamaz?
- Amaç ve kapsam nasıl belirlenir, ürün, proses, tesis ve kuruluş çalışmaları nasıl ayrılır?
- Su envanteri nasıl kurulur ve su akış şeması ile kütle denkliği neden gerekir?
- Su miktarı ve su kalitesi bilgileri havza koşullarıyla birlikte nasıl yorumlanır?
- Sanayi kuruluşları sonuçlardan nasıl öncelik alanları çıkarır?

2. ISO 14046 nedir, ne değildir?

Standardın tam adı *ISO 14046:2014, Environmental management — Water footprint — Principles, requirements and guidelines* biçimindedir. Türkçesi, çevre yönetimi kapsamında su ayak izi için ilkeler, gereklilikler ve kılavuzdur. Standart ürünlerin, proseslerin ve kuruluşların su ayak izi değerlendirmesini yaşam döngüsü değerlendirmesi yaklaşımına

dayandırır. Çalışma bağımsız bir su ayak izi değerlendirmesi olarak yapılabilir ya da daha geniş bir çevresel değerlendirmenin parçası olabilir.

Standardın temel özellikleri

- **Yaşam döngüsü temelli:** ISO 14040 ve ISO 14044'teki YDD çerçevesini izler.
- **Etki odaklı:** Su ayak izi, suyla ilgili potansiyel çevresel etkileri nicelendiren göstergelerdir. Yalnızca hacim toplamı değildir.
- **Coğrafi ve zamansal boyut içerir:** Suyun nerede ve ne zaman kullanıldığı sonucu belirler. Hidrolojik bilgi değerlendirmenin parçasıdır.
- **Miktar ve kaliteyi birlikte ele alır:** Su kullanımının yanında su kalitesindeki değişimler de değerlendirilir. Havaya veya toprağa salınan bütün emisyonlar değil, yalnızca su kalitesini etkileyen ilgili emisyonlar dahil edilir.
- **Modülerdir:** Yaşam döngüsünün farklı aşamalarına ait sonuçlar, sınırlar ve veri kalitesi uyumlu olduğu sürece bir araya getirilebilir. Bu, farklı çalışmaların sonuçlarının koşulsuz karşılaştırılabileceği anlamına gelmez.
- **Sonuç biçimi esnektir:** Sonuç tek bir değer ya da etki göstergesi sonuçlarından oluşan bir profil olabilir.

Ders 6 ile köprü

Mavi, yeşil ve gri bileşenler, Water Footprint Network (WFN) yaklaşımında su kullanımı ve kirlilik baskısını hacimsel bir dille açıklar. ISO 14046 ise su kullanımını ve su kalitesindeki değişimleri, coğrafi ve zamansal bağlam içinde potansiyel çevresel etkiler olarak değerlendirir. İki yaklaşım birbirinin kopyası değildir. Aynı envanter verilerinden yararlanabilirler, ancak soruları, göstergeleri ve yorumlama biçimleri farklıdır.

Kavram	ISO 14046 için doğru mu?	Açıklama
Standart	Evet	Su ayak izi değerlendirmesinin nasıl tasarlanacağı, yürütüleceği ve raporlanacağı için ilke, gereklilik ve kılavuz verir
Tek bir evrensel ISO su ayak izi sayısı	Hayır	Sonuç, amaca ve seçilen etki değerlendirme yöntemine göre tek gösterge ya da gösterge profili olur
Ölçüm cihazı ya da tek hesap yöntemi	Hayır	Karakterizasyon modeli ve katsayı seti dayatılmaz
Ürün etiketi	Hayır	Sonucun etiket ya da beyan olarak iletişimi standardın kapsamı dışındadır
Otomatik sertifika ya da geçer-kalır puanı	Hayır	Bağımsız kritik gözden geçirme yapılabilir, ancak standart kendiliğinden sertifika vermez

> **Güncel durum (Eylül 2026): ISO 14046'nın sürüm durumu.** ISO sayfasına göre standart Ağustos 2014'te yayımlanmıştır (Edition 1, ISO/TC 207/SC 5). Son olarak 2020'de gözden geçirilip teyit edilmiştir ve mevcut sürüm olarak yürürlüktedir. 30 Eylül 2026'da yapılan kontrolde aşama 90.60 (gözden geçirme kapandı) görünmektedir. Yani beş yıllık sistematik gözden geçirme döngüsündedir ve teyit, revizyon ya da geri çekme kararı sayfada henüz yansımamıştır. Sayfada yeni bir revizyon çalışmasına dair kayıt bulunmamıştır. Avrupa'da standart *EN ISO 14046:2016* olarak kabul edilmiştir ve Türkiye'de TS EN ISO 14046 adıyla kullanılmaktadır. Sürüm durumu değişebileceği için çalışma öncesinde ISO sayfası kontrol edilmelidir.

3. ISO 14046, ISO 14040/14044 ve ISO 14067 ilişkisi

ISO 14046, bağımsız bir yöntem değil, YDD standart ailesinin bir üyesidir.

Standart	Konusu	ISO 14046 ile ilişkisi
ISO 14040:2006	YDD ilkeleri ve çerçevesi	ISO 14046 aynı ürün sistemi ve aşama mantığını kullanır
ISO 14044:2006	YDD gereklilikleri ve kılavuzu (amaç ve kapsam, envanter, etki değerlendirmesi, yorumlama, raporlama, kritik gözden geçirme)	ISO 14046 bu çerçeveyi su konusuna uyarlar. Karşılaştırma ve kritik gözden geçirme kuralları ISO 14044'ten gelir
ISO 14067:2018	Ürünlerin karbon ayak izi	Kardeş standarttır. Aynı YDD iskeletini kullanır, ancak tek bir etki kategorisine (iklim değişikliği) odaklanır
ISO/TR 14073:2017	ISO 14046'nın nasıl uygulanacağına dair açıklayıcı örnekler	Teknik rapordur. Gereklilik değil, örnek içerir. Örnekler tek olası uygulama yolu değildir ve bazı verileri kurgusaldır

Karbon ayak izi ile su ayak izi arasındaki temel fark

Karbon ayak izinde her yerde salınan bir kilogram sera gazı iklime aynı küresel etkiyi yapar. Bu yüzden sonuç tek bir sayıya (CO_2e) indirgenir. Suda ise aynı litrenin etkisi havzaya, mevsime ve su kalitesine göre değişir. Bu nedenle su ayak izinde coğrafi ve zamansal çözünürlük, etki modelinin seçimi ve bazen bir gösterge profili belirleyicidir.

> **Güncel durum (Eylül 2026):** ISO sayfasına göre ISO 14040:2006 ve ISO 14044:2006 2022'de teyit edilmiştir. ISO 14040'ın Amd 1:2020 değişikliği, ISO 14044'ün Amd 1:2017 ve Amd 2:2020 değişiklikleri vardır. ISO 14067:2018 için 2024'teki gözden geçirme sonrası revizyon gerekli bulunmuş ve ISO/WD 14067.2 çalışma taslağı listelenmiştir. Bu derste yürürlükteki 2018 sürümü esas alınır.

4. Değerlendirmenin dört aşamalı mimarisi

ISO 14046 değerlendirmesi, YDD'nin temel aşamalarını izler.

Aşama	Temel soru	Ana çıktı
1. Amaç ve kapsam	Çalışma neden yapılıyor, sonucu kim kullanacak, hangi karar destekleniyor? Ürün, proses, tesis ya da kuruluş mu? Sistem sınırı ve karşılaştırma temeli nedir?	Amaç, hedef kullanıcı, işlevsel birim, sistem sınırı, referans dönemi
2. Su ayak izi envanteri	Hangi su, nerede, ne zaman, hangi kalitede girdi ve çıktı?	Kaynak, giriş, çıkış, tüketim yolu, deşarj, kirletici yük, konum ve zaman bilgisi, enerji ve tedarik zinciri verisi
3. Etki değerlendirmesi	Bu miktarlar ve kalite değişimleri hangi potansiyel çevresel etkiye karşılık gelir?	Seçilen yöntemle karakterize edilmiş gösterge sonuçları (tek değer ya da profil)
4. Yorumlama	Sonuç hangi süreçlerden kaynaklanıyor, hangi veri ve varsayıma duyarlı, hangi iyileştirme öncelikli?	Kritik noktalar, belirsizlik ve duyarlılık değerlendirmesi, sonuç ve öneriler

Yinelemeli süreç

Bu aşamalar birbirinden kopuk, tek yönlü bir üretim hattı değildir.

- Envanter sırasında veri bulunamazsa kapsam yeniden gözden geçirilebilir.
- Etki sonuçları anlamsız görünüyorsa coğrafi çözünürlük ya da sistem sınırı kontrol edilebilir.
- Yorumlama sonucu, veri toplamanın hangi noktada derinleştirilmesi gerektiğini gösterebilir.

Bu nedenle çalışma doğrusal değil, **yinelemeli** bir süreçtir.

Raporlama ve veri kalitesi bütün aşamalara yayılır

Raporlama yalnızca en sonda yapılan bir yazım işi değildir. Kullanılan verilerin kaynağı, hesaplama tercihleri, sınırlar, dışarıda bırakılan süreçler ve belirsizlikler çalışma boyunca kaydedilmelidir. Sonuçlar dış karşılaştırmada kullanılacaksa yöntem uyumu ve bağımsız kritik gözden geçirme ihtiyacı daha da önem kazanır (Bölüm 13).

5. Amaç, kapsam ve değerlendirme düzeyi

Su ayak izi çalışmasının kalitesi, veri toplamaya başlamadan önce sorulan sorulara bağlıdır. ISO 14046'nın ilk disiplini hesap yapmak değil, **karar sorusunu doğru kurmaktır.** Amaç ve hedef kullanıcı belirsizse, çok veri toplanmasına rağmen karar vermeye yaramayan bir çalışma ortaya çıkabilir.

Amaç değiştiğinde kapsam ve veri ihtiyacı da değişir. Firma şunlardan hangisini amaçlıyor olabilir:

- Bir ürünün tedarik zincirindeki kritik su etkilerini bulmak.
- Bir üretim prosesini alternatif teknolojiyle karşılaştırmak.
- Tesisin havza riskine maruziyetini anlamak.
- Kuruluş düzeyinde performansı izlemek ve raporlamak.

Düzey	Tipik karar sorusu	Sınır ve veri odağı
Ürün	Bu ürünün yaşam döngüsünde hangi su etkileri kritik?	İşlevsel birim, yaşam döngüsü aşamaları, tedarik zinciri veri setleri
Proses	Bu üretim adımı alternatif teknolojiyle karşılaştırıldığında nasıl?	Belirli bir adım: yıkama, boyama, soğutma ya da buhar üretimi gibi

Tesis	Tesis hangi havzadan ne kadar çekiyor, nereye veriyor?	Su çekimleri, tüketim yolları, deşarjlar, yerel havza bağlantısı
Kuruluş	Birden fazla tesis ve ürün grubu genelinde performansımız nedir?	Birden fazla tesis, ürün grubu, enerji kullanımı, satın alınan girdiler, değer zinciri ilişkileri

Hedef kullanıcı

Sonucun kimin için hazırlandığı açıkça yazılmalıdır: iç yönetim kararı, müşteri talebi, sürdürülebilirlik raporlaması ya da ürünler arasında dış karşılaştırma. Hedef kullanıcı, gereken kanıt düzeyini belirler.

Referans dönemi

Referans dönemi kapsamın parçasıdır. Yalnızca yıllık ortalama kullanmak, kurak mevsimdeki kısa fakat kritik baskıyı gizleyebilir. Yeni bir proses yatırımı değerlendiriliyorsa mevcut durum ile beklenen yeni durumun hangi üretim hacmi ve kalite düzeyinde karşılaştırıldığı açık olmalıdır.

6. Sistem sınırı, işlevsel birim ve karşılaştırılabilirlik

Sistem sınırı, değerlendirmeye hangi faaliyetlerin ve yaşam döngüsü aşamalarının dahil edileceğini belirler. **İşlevsel birim**, sonuçların hangi ortak temele göre ifade edileceğini belirler. Örnek: *belirli kalite ve performans özelliklerine sahip bir ton boyanmış kumaş.* Yalnızca bir ürün demek yeterli bir karşılaştırma temeli değildir.

Üç sınır yaklaşımı (pamuklu tekstil örneği)

Yaşam döngüsü zinciri: hammadde, enerji ve kimyasal, üretim, dağıtım, kullanım, yaşam sonu.

Yaklaşım	Kapsadığı aşamalar	Güçlü yanı	Sınırı
Kapıdan kapıya	Yalnızca seçilen tesis ya da proses içindeki akışlar	Operasyonel iyileştirme için yararlıdır	Hammadde ve enerji üretimindeki dolaylı su etkilerini dışarıda bırakabilir
Beşikten kapıya	Hammaddenin elde edilmesinden ürünün fabrika kapısından çıkışına kadar	Tarımsal hammadde, madencilik, enerji, kimyasal ve ambalaj girdilerini yakalar	Kullanım ve yaşam sonunu kapsamaz
Beşikten mezara	Dağıtım, kullanım ve yaşam sonu da dahil	Örneğin sık yıkama gerektiren tekstil ürününde kullanım aşamasını görünür kılar	Veri ihtiyacı ve belirsizlik artar

Sınırın geniş olması her zaman daha iyi olduğu anlamına gelmez. Sınır, çalışmanın amacıyla uyumlu olmalıdır. Ancak kapsam dışında bırakılan önemli süreçler açıkça belirtilmeli ve sonucun anlamı buna göre sınırlandırılmalıdır.

Karşılaştırılabilirlik

Karşılaştırma yapılacaksa işlevsel birim, sistem sınırı, veri dönemi, kalite varsayımları ve etki değerlendirme yöntemi uyumlu olmalıdır. Bir kilogram ürün ile bir kullanım hizmeti aynı karşılaştırma temeli değildir. Aynı tesis için farklı sınır ve temeller kullanılırsa birbirinden oldukça farklı fakat kendi içinde tutarlı sonuçlar elde edilebilir.

Tahsis

Bir proses birden fazla ürün üretiyorsa su akışlarının ürünlere nasıl dağıtılacağı açıklanmalıdır. Sıra şöyledir: önce mümkünse süreç ayrıştırılır ya da sistem genişletilir. Tahsis gerekiyorsa seçilen yaklaşım şeffaf biçimde gerekçelendirilir.

Kesme ölçütleri

Kapsam dışında bırakılan küçük akışlar için kesme ölçütleri kullanılıyorsa bunların toplam sonucu önemli ölçüde değiştirmediği gerekçelendirilmelidir. Özellikle su yoğun bir hammaddeyi yalnızca satın alma tutarı düşük olduğu için dışarıda bırakmak yanlış önceliklendirmeye yol açar.

7. Su envanteri: hangi veriler toplanmalıdır?

Envanter aşaması, su ayak izi değerlendirmesinin veri temelidir. Fakat yalnızca aylık su faturasını toplamak yeterli değildir.

Girişler

- **Kaynaklar ayrı tanımlanır:** yüzey suyu, yeraltı suyu, şebeke suyu, toplanan yağmur suyu ve başka bir kuruluştan gelen geri kazanılmış su aynı kategoriye yazılmaz. Şebeke suyunun mümkünse asıl kaynağı ve hizmet verdiği havza da araştırılır.
- **Miktar, tarih ve konum** birlikte kaydedilir. Ölçüm sayaçtan mı geliyor, hesaplamaya mı dayanıyor, tahmin mi? Veri sıklığı günlük, aylık ya da yıllık mı? Mevsimsel değişimi görecek çözünürlük var mı?

Çıkışlar

Arıtılmış ya da arıtılmamış deşarj, kanalizasyona verilen su, yüzey suyuna bırakılan akış, başka tesise transfer, buharlaşma, ürüne katılma ve depolama değişimi ayrı ayrı izlenir.

İç geri kullanım

İç geri kullanım doğru gösterilmelidir. Aynı su proses içinde beş kez dolaşıyorsa bu beş ayrı yeni su çekimi değildir. İç dolaşım operasyonel verimlilik için önemlidir, ancak dış kaynaktan alınan suyla karıştırılırsa envanter şişer.

Su kalitesi verisi

Yalnızca atıksu hacmi yetmez. Çalışmanın kapsamına göre ilgili kirleticilerin yükleri, konsantrasyonları, arıtma performansı, deşarj noktası ve alıcı ortam bilgisi gerekir. Sıcaklık değişimi gibi su kalitesini etkileyen fiziksel özellikler de bağlama göre önemli olabilir.

Tedarik zinciri

Enerji, hammadde, kimyasal, ambalaj ve taşıma verileri suyla ilişkili yaşam döngüsü veri setlerine bağlanır.

Birincil ve ikincil veri

Veri türü	Kaynak örnekleri
Birincil	Tesis sayaçları, laboratuvar analizleri, satın alma kayıtları, tedarikçi bilgileri
İkincil	YDD veri tabanları, sektör çalışmaları, bölgesel istatistikler

Hangisinin kullanıldığı açıkça belirtilmelidir.

Veri kalitesi

Veri kalitesi değerlendirilirken teknolojik temsil gücü, coğrafi uygunluk, zaman bakımından güncellik, ölçüm doğruluğu, eksiksizlik ve tutarlılık birlikte düşünülür. Türkiye'deki güncel bir üretim hattını başka bir kıta ve eski teknolojiye ait ortalama veriyle temsil etmek mümkün olabilir, fakat yaratacağı belirsizlik sonuçla birlikte açıklanmalıdır.

> **İyi envanterin dört özelliği:** kaynakları ayrıştırır, miktar ve kaliteyi birlikte ele alır, coğrafi ve zamansal bağlamı korur ve veri kalitesini görünür kılar.

8. Su akış şeması ve su kütle denkliği

Su akış şeması, envanteri anlaşılır bir sistem hâline getirir. Suyun kaynaktan tesise nereden girdiğini, hangi sayaçlardan geçtiğini, hangi proseslerde kullanıldığını, nerede geri dolaştırıldığını ve hangi yollarla sistemden çıktığını gösterir. İyi bir şema yalnızca boru hattını çizmez. Su kaynağını, havzayı, ölçüm noktasını, miktar bilgisini, kalite değişimini ve alıcı ortamı birbirine bağlar.

Kütle denkliği

En temel düzeyde toplam su girişi, toplam su çıkışları ile sistemdeki depolama değişiminin toplamına eşit olmalıdır.

```
Toplam giriş = Toplam çıkış + Depolama değişimi
Kapanmayan fark = Toplam giriş - Toplam çıkış - Depolama değişimi
```

Birimlerin hepsi aynı olmalıdır (örneğin m^3/yıl) ve aynı dönemi kapsamalıdır. Depolama değişimi, tank, havuz ve benzeri stokların dönem sonu ile dönem başı farkıdır. Stok artışı pozitif alınır.

- Çıkışlar yalnızca atıksudan oluşmaz. Buharlaşma, ürüne katılan su, başka bir sisteme transfer, arıtılmış deşarj, sızıntı ya da ölçülmeyen akışlar da denklemin parçası olabilir.
- İç geri kullanım miktarı ayrıca izlenir, ancak aynı suyun sistem içinde tekrar dolaşması yeni dış su girişi olarak sayılmaz.
- Kapanmayan fark kırmızı uyarı değil, nötr bir **veri açığı** olarak ele alınır. Denkliğin kapanmaması hemen bir çevresel ihlal anlamına gelmez. Sayaç doğruluğu, farklı ölçüm dönemleri, stok değişimi, buharlaşma tahmini ya da kayıtsız yan akışlar fark yaratabilir. Asıl amaç farkı saklamak değil, kaynağını araştırmaktır.

Hesap örneği: boyama tesisinin yıllık su denkliği

Aşağıdaki değerler eğitim verisidir. Tesis yılda 1.200 ton kuru kumaş boyamaktadır.

Kalem	Yön	Miktar (m³/yıl)	Not
Yeraltı suyu (kuyu)	Giriş	140.000	Sayaç
Şebeke suyu	Giriş	45.000	Sayaç
Toplanan yağmur suyu	Giriş	2.000	Tahmin
Dışarıdan geri kazanılmış su	Giriş	13.000	Sayaç
Toplam giriş		**200.000**	140.000 + 45.000 + 2.000 + 13.000
Arıtılmış deşarj (yüzey suyu)	Çıkış	125.000	Sayaç
Kanalizasyona verilen su	Çıkış	26.000	Sayaç
Buharlaşma (buhar, kurutma, soğutma)	Çıkış	41.000	Hesap ve tahmin
Ürünle taşınan su	Çıkış	96	1.200 t × 0,08 t su/t kumaş (eğitim varsayımı nem oranı). 1 t su = 1 m³
Toplam çıkış		**192.096**	125.000 + 26.000 + 41.000 + 96
Depolama değişimi (stok artışı)		1.500	Tank ve havuz seviyesi
Kapanmayan fark		**6.404**	200.000 - 192.096 - 1.500

```
Kapanmayan fark oranı = 6.404 m³ ÷ 200.000 m³ = %3,2
```

Yorum: Fark, toplam girişin yüzde 3,2'sidir. Kabul edilebilir fark eşiği çalışmada önceden belirlenmelidir. Bu eğitim örneğinde eşik varsayımı yoktur, asıl mesaj farkın kaynağının araştırılmasıdır. Olası kaynaklar arasında yağmur suyu tahmininin belirsizliği ve buharlaşma tahmini sayılabilir.

İç geri kullanımın çift sayılması. Tesiste soğutma ve durulama suyu olarak yılda 75.000 m³ su iç döngüde dolaşsın. Bu su dış kaynaktan alınmaz. Yanlışlıkla giriş olarak eklenirse giriş 275.000 m³ görünür ve envanter yüzde 37,5 şişer. Birim başına çekim de yanlış hesaplanır:

Yaklaşım	Giriş (m³/yıl)	Çekim yoğunluğu (m³/t kumaş)	Sonuç
Doğru: yalnızca dış kaynaklı giriş	200.000	200.000 ÷ 1.200 = 166,7	166,7 m³/t (166,7 L/kg)
Yanlış: iç geri kullanım da eklendi	275.000	275.000 ÷ 1.200 = 229,2	Yüzde 37,5 fazla

Tüketim ve kapanmayan farkın duyarlılığı. Uygulamada su tüketimi, çekilen suyun aynı havzaya geri verilmeyen kısmı olarak ele alınır. Tanım seçilen yönteme ve veri tabanına göre değişebileceği için çalışmada açıkça yazılmalıdır. Bu örnekte arıtılmış deşarj ile kanalizasyona verilen suyun aynı havzaya döndüğü varsayılır. Bu varsayım da raporlanmalıdır.

```
Tüketim = Buharlaşma + Ürünle taşınan su = 41.000 + 96 = 41.096 m³/yıl
Tüketim / ton kumaş = 41.096 ÷ 1.200 = 34,25 m³/t
Kontrol: Çekim - Geri verilen - Depolama = 200.000 - 151.000 - 1.500 = 47.500
         Tüketim + Kapanmayan fark = 41.096 + 6.404 = 47.500
```

Kapanmayan farkın tamamı buharlaşma çıksaydı tüketim 47.500 m³/yıl (39,58 m³/t) olurdu. Yani sonuç yüzde 15,6 artardı. Bu nedenle fark kapatılmadan etki değerlendirmesine geçmek sonucun belirsizliğini görünür kılmayı gerektirir.

Şema ve denkliğin üç işlevi

1. Envanterin tutarlılığını kontrol eder.
2. Ölçüm eksiklerini ve veri kalitesi sorunlarını gösterir.
3. Yüksek çekim, tüketim, kayıp ya da kirlilik yükünün hangi proseste yoğunlaştığını ortaya çıkarır.

Şema sayaç planının geliştirilmesine de yardımcı olur. Tesis girişinde tek sayaç toplam çekimi gösterir ama hangi prosesin tüketim yarattığını açıklamaz. Ana kullanım noktalarında alt sayaçlar ve düzenli kalite ölçümleri olmadan iyileştirmenin etkisi güvenilir biçimde izlenemez.

> **Önemli sınır: Kütle denkliği tek başına ISO 14046 su ayak izi sonucu değildir.** Bu çalışma miktarları düzenler. Potansiyel çevresel etkiyi anlayabilmek için coğrafi, zamansal ve kalite bağlamıyla etki değerlendirmesine geçmek gerekir.

9. Envanterden potansiyel çevresel etkiye

Etki değerlendirmesi, envanterdeki litreleri ve kirletici yükleri karar açısından anlamlı çevresel göstergelere dönüştürür. Temel işlem **karakterizasyondur.** Su kullanımı, gerçekleştiği havzanın su erişilebilirliği, mevsimsel koşulları, ekosistem gereksinimleri ve diğer kullanıcıların talebiyle ilişkilendirilir. Bu yüzden aynı miktarda su tüketimi için farklı bölgelerde farklı karakterizasyon sonuçları oluşur.

```
Etki göstergesi sonucu = Envanter miktarı × Karakterizasyon faktörü
```

Miktar ve su kalitesi iki ayrı kanaldan ilerler. Miktar kanalında su tüketimi havzanın kıtlık durumuyla, kalite kanalında salınan maddeler alıcı ortam ve seçilen etki yolu ile ilişkilendirilir.

Orta-nokta ve uç-nokta

Düzey	Anlamı	Örnek
Orta-nokta	Neden-sonuç zincirinin ara halkası	Su kıtlığı ya da suya erişilebilirlik üzerindeki potansiyel baskı. Ötrofikasyon potansiyeli
Uç-nokta	Zincirin sonundaki daha ileri potansiyel sonuçlar	İnsan sağlığı ve ekosistemler üzerindeki potansiyel sonuçlar

Zincir şöyle okunur: su tüketimi, orta-nokta su kıtlığı potansiyeli, uç-nokta insan sağlığı ve ekosistem sonuçları. Her ISO 14046 çalışmasının uç-nokta sonucu üretmesi gerekmez.

Su ayak izi profili ve tek değerli su ayak izi

ISO 14046'nın kapsam tanımına göre su ayak izi değerlendirmesinin sonucu, tek bir değer ya da etki göstergesi sonuçlarından oluşan bir profil olabilir.

Sonuç biçimi	Ne zaman uygun?	Dikkat
Tek değerli su ayak izi	Karar vericiye tek sayı gerektiğinde, ilgili etkiler tutarlı biçimde birleştirilebildiğinde	Farklı etki kategorilerini bir araya getirmek önemli bilgileri gizleyebilir
Su ayak izi profili	Birden çok etki kategorisi (örneğin su kıtlığı, ötrofikasyon, ekotoksisite) ayrı ayrı görülmek istendiğinde	Okuması daha zordur, ancak ödünleşimleri gösterir

Nitelendirici ad kuralı

ISO 14046'ya göre yalnızca sınırlı bir etki göstergesine dayanan çalışma, sonucuna tek başına su ayak izi demez. Kapsamı belirten bir nitelendirici kullanır. Örnekler: *su kıtlığı ayak izi*, *su ötrofikasyon ayak izi*. Yalnızca envanter sonucu (örneğin m³/ton) ise su ayak izi değil, **su envanteri** sonucudur.

Su ayak izi ile su riski farklıdır

Etki değerlendirmesi çevresel sonuçlara odaklanır. Firmanın üretim kesintisi, maliyet, mevzuat ya da itibar riskiyle karşılaşması ilişkili olabilir ancak aynı kavram değildir.

Yöntem seçimi

ISO 14046 tek bir karakterizasyon modeli ya da zorunlu katsayı seti dayatmaz. Seçilen yöntemin çalışmanın amacıyla uyumlu, bilimsel olarak gerekçelendirilmiş, coğrafi ve zamansal açıdan uygun ve şeffaf biçimde raporlanmış olması gerekir.

> **Bu bölümün ana mesajı:** ISO 14046'da suyun miktarı önemlidir, fakat miktarın nerede, ne zaman ve hangi kalite değişimiyle ilişkili olduğu sonuç üzerinde belirleyicidir.

10. Su kıtlığı etkisi ve AWARE yöntemi

Su tüketiminin su kıtlığıyla ilişkili potansiyel etkisini orta-nokta düzeyinde değerlendirmek için yaygın kullanılan uzlaşı yöntemlerinden biri **AWARE** (*Available WAter REmaining*) yöntemidir. AWARE, UNEP-SETAC Yaşam Döngüsü Girişimi bünyesindeki WULCA (*Water Use in Life Cycle Assessment*) çalışma grubu tarafından geliştirilmiştir. Yöntemin tanıtımı Boulay ve diğerleri (2018) çalışmasındadır.

> **AWARE yalnızca somut bir yöntem örneğidir. ISO 14046'nın zorunlu yöntemi değildir.** AWARE bir uç-nokta yöntemi değildir ve bütün su etkilerini kapsayan tek yöntem de değildir.

AWARE neyi ölçer?

AWARE, bir havzada insanların ve sucul ekosistemlerin talebi karşılandıktan sonra alan başına **kalan su miktarını** ölçer. Kalan su ne kadar azsa, o havzada tüketilen bir metreküpün başka kullanıcılardan yoksun bıraktığı su miktarı o kadar büyüktür.

Özellik	Değer
Karakterizasyon faktörü (KF) birimi	m³ dünya eşdeğeri / m³ tüketilen su
KF aralığı	0,1 ile 100
KF = 1	Alan başına kalan su miktarı dünya ortalamasına eşit olan bölge
KF = 10	Dünya ortalamasına göre alan başına 10 kat daha az kalan su
Çözünürlük	Alt havza düzeyinde ve aylık zaman adımıyla hesaplanır, ülke ya da yıllık ölçeğe toplulaştırılabilir
Kullanım türü	Tarımsal ve tarım dışı kullanım için ayrı KF setleri vardır
Tüketim ağırlıklı dünya ortalaması	Belirtilmemiş kullanım için 43, tarım dışı için 20, tarımsal için 46 (WULCA)
Kapsam	Yalnızca su tüketiminin kıtlık yönü. Su kalitesi etkilerini kapsamaz

KF, dünya ortalamasından fazla ya da az bir kıtlığı gösteren göreli bir değerdir ve iki uçta sınırlanmıştır. Kalan su sıfır ya da negatif ise KF üst sınır olan 100 alınır. Bu yüzden AWARE, bir havzanın kıtlığını mutlak bir ölçekte değil, dünya ortalamasına göre ifade eder.

Neden konum ve zaman önemlidir? Hesap örneği

Aynı 1.000 m³ su tüketimi iki havzada farklı sonuç verir. KF değerleri eğitim verisidir ve gerçek bir havzaya ait değildir.

Havza	Tüketim (m³)	KF (m³ dünya eşdeğeri / m³)	Sonuç (m³ dünya eşdeğeri)
A: su bol	1.000	2	1.000 × 2 = 2.000
B: su stresi yüksek	1.000	50	1.000 × 50 = 50.000

Aynı hacim, B havzasında 25 kat (50 ÷ 2) daha yüksek potansiyel su kıtlığı etkisi gösterir. Birim kontrolü: m³ × (m³ dünya eşdeğeri / m³) = m³ dünya eşdeğeri.

AWARE sonucunu yorumlarken

- Sonuç bir **orta-nokta** göstergesidir. İnsan sağlığı ya da ekosistem kaybı gibi uç-nokta sonucu olarak sunulmamalıdır.
- Aylık ve yıllık KF arasında seçim yapılması, kurak mevsimdeki baskının görünmesini etkiler. Seçim gerekçelendirilmelidir.
- Tüketim konumu belirsizse (örneğin tedarik zinciri) ülke ortalaması ya da belirtilmemiş kullanım KF'si kullanılabilir. Bu, belirsizliği artırır ve raporlanmalıdır.

> **Güncel durum (Eylül 2026): AWARE2.0.** Seitfudem ve diğerleri (2025, *Journal of Industrial Ecology*, 29, 891–907) AWARE'ın güncellenmiş sürümü AWARE2.0'ı yayımlamıştır. Makalede, Boulay ve diğerleri (2018) yazarlarına danışıldıktan sonra AWARE2.0'ın AWARE'ın halefi olarak önerildiği belirtilir. Yeni sürümde su erişilebilirliği verisi 1990–2019 dönemine, tüketim envanteri 2019'a dayanır (önceki sürümde 1960–2010 ve 2010). KF aralığı iki sürümde de 0,1 ile 100'dür. Kullandığınız YDD yazılımı ya da veri tabanı hangi sürümü içeriyorsa raporda sürüm belirtilmelidir. İki sürümün sonuçları doğrudan karşılaştırılmamalıdır.

11. Su kalitesi etkileri

Su kalitesi tarafında deşarj edilen maddelerin türü, yükü, alıcı ortam ve seçilen etki yolu önemlidir. Yalnızca toplam atıksu hacmine bakmak yeterli değildir. ISO 14046, su kalitesini (fiziksel, kimyasal ve biyolojik özellikler) miktar kadar ele almayı bekler ve hangi etki kategorilerinin seçileceğini çalışmanın amacına bırakır.

Etki kategorisi	Ne anlatır?	Sanayiden örnek kaynak
Ötrofikasyon	Azot ve fosfor gibi besin maddelerinin alıcı ortamda aşırı alg gelişimi ve oksijen azalması yaratma potansiyeli	Azotlu ve fosforlu deşarjlar, gıda ve tekstil atıksuları
Asidifikasyon	Asidik etkiye yol açan maddelerin (örneğin kükürt ve azot oksitleri) ekosistemlerde asitleşme potansiyeli. ISO 14046 kapsamında yalnızca su kalitesini etkileyen emisyonlar dahil edilir	Yakma ve kimyasal prosesler
Ekotoksisite	Metal ve organik kirleticilerin sucul ekosistemlere toksik etki potansiyeli	Metal yüzey işleme, boya ve kimyasal kullanan prosesler

Kategorilerin birimleri yönteme göre değişir (örneğin ötrofikasyon için fosfor eşdeğeri, ekotoksisite için toksik birim). Bu nedenle sonuçlar kategori içinde yorumlanır ve kategoriler arası toplanmaz.

Su kalitesi değerlendirmesinde şunlar ayrı tutulur:

- **Gerçek atıksu hacmi** (m^3).
- **Kirletici konsantrasyonu** (mg/L).
- **Kirletici yükü** (kg), yani konsantrasyon ile hacmin birlikte ele alınmasıyla bulunan miktar.

Arıtma performansı yalnızca çıkış konsantrasyonuna değil, giriş ve çıkış yükleri arasındaki değişime bakılarak anlaşılır. Üretim miktarı değişiyorsa mutlak yük ile ürün başına yük birlikte izlenmelidir. Deşarjın gerçekleştiği alıcı ortam da önemlidir. Aynı yük farklı akış, arka plan kalitesi ve ekolojik hassasiyete sahip ortamlarda farklı sonuçlar doğurur.

> **Güncel durum (Eylül 2026):** 2016–2026 arasındaki 49 makaleyi inceleyen bir sistematik derleme (*Water quality assessment in ISO 14046 water footprint studies: A systematic review*), ISO 14046 çalışmalarında en sık tatlı su ötrofikasyonu, tatlı su ekotoksisitesi ve su kıtlığının raporlandığını bulmuştur. Derleme, su kıtlığının birçok çalışmada öncelikli ve bazen tek etki olduğunu, su kalitesinin görece az ele alındığını da belirtir. ISO 14046'nın miktar ve kaliteyi birlikte beklediği düşünülürse, yalnızca kıtlık sonucuna dayanan çalışma nitelendirici ad kullanmalıdır (Bölüm 9).

12. Atıksu, kirlilik yükü ve gri su kavramının sınırı

Ders 6'da gri su ayak izini, belirli bir kirletici yükün kabul edilen su kalitesi sınırıyla ilişkisini teorik bir tatlı su hacmi üzerinden gösteren WFN göstergesi olarak öğrendik. **ISO 14046 çalışmasında ise gri su hacmi zorunlu ya da varsayılan sonuç değildir.**

	WFN gri su yaklaşımı	ISO 14046 su kalitesi yaklaşımı
Mantık	Kirletici yük, kalite standardı, teorik su hacmi	Emisyon envanteri, alıcı ortam, su kalitesi değişimi, seçilen etki göstergeleri
Sonuç	Hacim (m^3)	Etki göstergesi sonucu (örneğin ötrofikasyon potansiyeli)
Kalite ölçütü	Seçilen ortam kalite sınırı (en yüksek kabul edilen ve doğal konsantrasyon)	Seçilen etki modeli ve karakterizasyon faktörleri
Zorunlu mu?	WFN yaklaşımında temel göstergedir	ISO 14046'da zorunlu değildir

ISO 14046'da suya, toprağa ya da havaya salınan ve su kalitesini etkileyen ilgili emisyonlar envantere alınır. Ardından bunların alıcı ortam ve seçilen etki yöntemi içindeki potansiyel sonuçları değerlendirilir. Gri su göstergesi, su kalitesi bilgisi olarak aynı çalışma içinde yan yana kullanılabilir. Ancak ISO 14046 etki göstergelerinin yerine geçirilmemeli ve aynı sonuçmuş gibi raporlanmamalıdır.

Hesap örneği: yük, konsantrasyon ve gri su

Boyama tesisinin arıtılmış deşarjı yılda 125.000 m³ olsun (Bölüm 8 örneği). Toplam azot konsantrasyonu eğitim verisidir.

Adım	İşlem	Sonuç
Birim kontrolü	1 mg/L = 1 g/m³	12 mg/L = 12 g/m³
Çıkış yükü	125.000 m³/yıl × 12 g/m³	1.500.000 g/yıl = 1.500 kg/yıl
Arıtma girişi yükü	125.000 m³/yıl × 40 g/m³ (giriş 40 mg/L)	5.000.000 g/yıl = 5.000 kg/yıl
Yük azaltımı	(5.000 - 1.500) ÷ 5.000	%70 (hacim aynı kabul edilmiştir)
Ürün başına yük	1.500 kg ÷ 1.200 t	1,25 kg/t kumaş

WFN gri su hacmi, yükün kabul edilen konsantrasyon farkına bölünmesiyle bulunur:

```
Gri su hacmi = Yük ÷ (En yüksek kabul edilen konsantrasyon - Doğal konsantrasyon)
```

Eğitim varsayımı olarak en yüksek kabul edilen konsantrasyon 2 g/m³, doğal konsantrasyon 0,3 g/m³ alınsın:

```
1.500.000 g/yıl ÷ (2 - 0,3) g/m³ = 882.353 m³/yıl
```

Bu hacim gerçek deşarjın yaklaşık 7,06 katıdır (882.353 ÷ 125.000). Sınır değeri 4 g/m³ seçilseydi sonuç 405.405 m³/yıl olurdu. İki sonuç şunu gösterir:

- Gri su hacmi gerçek bir su akışı değil, **teorik bir seyreltme hacmidir.**
- Sonuç, seçilen kalite sınırına güçlü biçimde bağlıdır.
- Bu sayı, ISO 14046 anlamında bir ötrofikasyon etki sonucu değildir. ISO yolunda aynı yük (kg azot) seçilen bir karakterizasyon modeliyle etki göstergesine çevrilir.

> **Dikkat:** Bu örnek seyreltmeyi bir çözüm olarak önermez. Arıtma öncesi ve sonrası yük, gerçek veri akışı olarak izlenir.

13. Karşılaştırmalı iddia kuralları

Karşılaştırmalı iddia, bir ürünün rakip bir ürüne göre üstün ya da eşdeğer olduğuna dair çevresel beyandır. Su ayak izi sonuçları tek başına aynı birimde yazılmış olsa da doğrudan kıyaslanamaz. Farklı işlevsel birimler, farklı sistem sınırları, farklı havza verileri ya da farklı karakterizasyon yöntemleriyle hazırlanmış iki sonuç bu durumdadır.

Kontrol	Karşılaştırma için koşul
İşlevsel birim	Aynı işlevi ve kaliteyi temsil etmeli. Bir kilogram ürün ile bir kullanım hizmeti aynı temel değildir
Sistem sınırı	Aynı yaşam döngüsü aşamalarını kapsamalı
Veri dönemi ve kalitesi	Uyumlu dönem, coğrafya, teknoloji temsili
Tahsis ve kesme kuralları	Aynı kurallar ve açık gerekçe
Etki yöntemi	Aynı yöntem ve aynı sürüm (örneğin AWARE ile AWARE2.0 karıştırılmaz)
Coğrafi ve zamansal çözünürlük	Aynı düzeyde (havza ve ay ya da yıl)
Kapsam	Miktar ve kalite birlikte ele alınmış olmalı. Yalnızca sınırlı gösterge kullanıldıysa nitelendirici ad kullanılmalı
Envanter sonucu	Yalnızca m³/ton karşılaştırması su ayak izi karşılaştırması sayılmaz
Kritik gözden geçirme	Kamuya açık karşılaştırmalı iddia için ISO 14044'teki gibi ilgili tarafların oluşturduğu bir panelle bağımsız kritik gözden geçirme beklenir

İç yönetim için hazırlanan çalışma ile kamuya açık ürün karşılaştırması aynı kanıt ve inceleme düzeyini gerektirmez. Aynı tesisin yıllar içindeki performansı aynı yöntemle izlendiğinde daha güvenli karşılaştırılır. Kamuya açık karşılaştırmalı iddia düşünülüyorsa standardın ve ISO 14044'ün ilgili maddelerinin tam metni okunmalıdır. Bu materyal yalnızca ilkeleri

özetler.

14. Sanayide örnek uygulama: boyanmış kumaş değerlendirmesi

Hipotetik bir tekstil firması, *belirli kalite özelliklerine sahip bir ton boyanmış kumaşın* su ayak izini değerlendirmek istesin. Süreç altı adımdır: amaç, sınır, envanter, akış ve denklik, etki değerlendirmesi, kritik noktalar. Tedarik zincirinde pamuk, elektrik ve kimyasal, tesiste yıkama, boyama, buhar ve arıtma, havzada su stresi ve alıcı ortam katmanları vardır. Tüm sayılar eğitim verisidir.

Adım	İçerik
1. Amaç	Karar sorusu: mevcut ürünün en önemli su etkilerini bulmak ve iyileştirme seçeneklerini önceliklendirmek. Hedef kullanıcı: iç yönetim
2. Sınır	Yalnızca boyama tesisi ise kapıdan kapıya. Pamuk, iplik, elektrik, kimyasal ve ambalaj da dahilse beşikten kapıya. Bu örnekte beşikten kapıya seçilir
3. Envanter	Yüzey, yeraltı ve şebeke suyu çekimleri, proses bazlı kullanım, buharlaşma, ürünle taşınan su, arıtılmış deşarj, kirletici yükler, alıcı ortam. Tedarik zinciri için pamuk, enerji ve kimyasal verileri uygun YDD veri setleriyle eşleştirilir
4. Akış ve denklik	Bölüm 8'deki gibi denklik kurulur ve veri tutarlılığı kontrol edilir. Sonuç: tesis tüketimi 34,25 m³/t
5. Etki değerlendirmesi	Su miktarları ve kalite değişimleri, ilgili havza ve dönem bilgileriyle seçilen yönteme aktarılır
6. Kritik noktalar	Etkinin yoğunlaştığı yerler belirlenir, iyileştirme seçeneği ilgili noktaya bağlanır

Etki değerlendirmesi örneği

Aşağıda ton kumaş başına mavi su tüketimi ve hipotetik kıtlık KF değerleri verilir. KF değerleri 0,1 ile 100 aralığında seçilmiş eğitim verisidir, gerçek bir havzanın AWARE değeri değildir. Pamuk, ağırlıkla yağmurla beslenen bölgelerden gelsin (bu nedenle mavi su tüketimi düşüktür).

Kalem	Tüketim (m³/t kumaş)	KF	Sonuç (m³ dünya eşdeğeri/t)	Hacim payı	Etki payı
Tesis içi (yıkama, boyama, buhar)	34,25	45	1.541,1	%17,2	%60,2
Pamuk üretimi	150	4	600,0	%75,3	%23,4
Kimyasal tedariki	3	100	300,0	%1,5	%11,7
Elektrik üretimi	12	10	120,0	%6,0	%4,7
Toplam	**199,25**		**2.561,1**	%100	%100

Yorum: En büyük hacim pamuktadır (%75,3), ancak en büyük potansiyel etki tesis içindedir (%60,2). Çünkü tesis su stresi yüksek bir havzadadır. Kimyasal tedariki hacimde elektriğin altında kalır, etkide ise üstüne çıkar. Bu, **en büyük su hacminin her zaman en önemli kritik nokta olmadığını** gösterir. Değer zincirinde etkinin yoğunlaştığı alanlar su açısından kritik noktalardır.

Duyarlılık analizi

Yorumlama aşamasında pamuk verisi, elektrik karışımı ya da havza karakterizasyonu değiştiğinde sıralamanın değişip değişmediği sınanır. Pamuk havzasının KF'si değişirse:

Pamuk KF	Pamuk sonucu (m³ dünya eşdeğeri/t)	Toplam	Pamuğun etki payı
4	600	2.561,1	%23,4
12	1.800	3.761,1	%47,9
20	3.000	4.961,1	%60,5

Pamuk ile tesis içi sonuç, pamuk KF'si yaklaşık 10,3 olduğunda eşitlenir (1.541,1 ÷ 150). Bu eşiğin üzerinde kritik nokta pamuğa kayar. Sonuç tek bir belirsiz veriye aşırı bağlıysa, yatırım kararından önce o verinin iyileştirilmesi gerekebilir.

İyileştirme seçeneklerini kritik noktaya bağlamak

Proses suyu azaltımı, geri kullanım, kimyasal ikamesi, arıtma geliştirmesi, tedarikçi değişimi ve havza düzeyinde ortak çalışma farklı sorunlara yanıt verir. Örneğin tesis içi tüketim baskın ise proses suyu azaltımı ve buharlaşma kaybının düşürülmesi, pamuk baskın ise tedarikçi ve kaynak bölge seçimi öne çıkar. Bu seçeneklerin uygulama planına dönüşümü

Ders 8'de ele alınır.

Python ile doğrulama

Aşağıdaki kod bu materyaldeki hesap örneklerinin sayılarını yeniden hesaplar.

```
from decimal import Decimal as D

# Bolum 8: su kutle denkligi (m3/yil)
giris = D(140000) + D(45000) + D(2000) + D(13000)
kumas_t = D(1200)
urun_suyu = kumas_t * D(8) / D(100)
cikis = D(125000) + D(26000) + D(41000) + urun_suyu
depo = D(1500)
fark = giris - cikis - depo
print(giris, cikis, urun_suyu, fark, fark / giris * 100)

# Ic geri kullanim cift sayimi
yanlis = giris + D(75000)
print(giris / kumas_t, yanlis / kumas_t, D(75000) / giris * 100)

# Tuketim ve duyarlilik
tuketim = D(41000) + urun_suyu
print(tuketim, tuketim / kumas_t, giris - D(151000) - depo)
print(tuketim + fark, (tuketim + fark) / kumas_t, fark / tuketim * 100)

# Bolum 14: etki payi tablosu
kalemler = [(tuketim / kumas_t, D(45)), (D(150), D(4)), (D(3), D(100)), (D(12), D(10))]
hacim = sum(v for v, k in kalemler)
etki = sum(v * k for v, k in kalemler)
for v, k in kalemler:
    print(v, k, v * k, v / hacim * 100, v * k / etki * 100)
print(hacim, etki, (tuketim / kumas_t) * D(45) / D(150))

# Bolum 12: yuk ve gri su
yuk_g = D(125000) * D(12)
print(yuk_g / D(1000), D(125000) * D(40) / D(1000))
gri = yuk_g / (D(2) - D(3) / D(10))
print(gri, gri / D(125000), yuk_g / (D(4) - D(3) / D(10)))
```

Alıştırmalar (cevaplarıyla)

Alıştırma 1: Hata avcısı

Aşağıdaki dokuz hatayı bulun ve düzeltin. Cevaplar tabloda verilmiştir.

Hata	Neden sorun	Doğrusu
1. ISO 14046'yı ürün etiketi, otomatik sertifika ya da geçer-kalır puanı saymak	Standart gereklilik koyar, etiket ya da sertifika vermez. İletişim kapsam dışıdır	Standart, değerlendirmenin tasarım, yürütme ve raporlama çerçevesidir
2. Su envanteri sonucunu (m³/ton) su ayak izi gibi sunmak	Su ayak izi potansiyel etkiyi nicelendirir. Envanter yalnızca miktardır	Etki değerlendirmesine geçin ya da sonucu su envanteri olarak adlandırın
3. Coğrafi ve zamansal bağlamı yok saymak	Aynı litre her havzada ve her mevsimde aynı etkiyi yaratmaz	Havza ve zaman çözünürlüğünü koruyun
4. Kütle denkliğini su ayak izi sonucu saymak	Denklik miktarları düzenler, etkiyi açıklamaz	Denkliği envanter kontrolü olarak kullanın, etki değerlendirmesini ayrıca yapın
5. İç geri kullanımı yeni su çekimi olarak saymak	Envanter şişer, çekim yoğunluğu yanlış çıkar	Yalnızca dış kaynaklı girişi çekim sayın, iç dolaşımı ayrı izleyin
6. WFN gri su hacmini ISO 14046 su kalitesi etki sonucu gibi raporlamak	Gri su teorik seyreltme hacmidir. ISO etki göstergesi farklı bir zincirdir	İkisini ayrı bilgi olarak, birbirinin yerine geçirmeden raporlayın
7. AWARE ya da başka bir yöntemi ISO'nun zorunlu tek yöntemi gibi sunmak	ISO 14046 zorunlu karakterizasyon modeli dayatmaz	Yöntemi amaçla uyumlu seçin, gerekçelendirin ve raporlayın
8. AWARE sonucunu uç-nokta insan sağlığı ya da ekosistem sonucu gibi sunmak	AWARE orta-nokta bir kıtlık göstergesidir	Orta-nokta ve uç-nokta ayrımını koruyun
9. En büyük hacmi otomatik olarak kritik	Hacim ile potansiyel etki farklı yerlerde	Kritik noktayı karakterize edilmiş etkiye göre

nokta saymak	yoğunlaşabilir	belirleyin

Alıştırma 2: Kapanmayan fark

Bir tesisin yıllık girişi 12.000 m³, arıtılmış deşarjı 8.400 m³, buharlaşması 2.700 m³, ürünle taşınan suyu 50 m³ ve depolama artışı 300 m³'tür. Kapanmayan fark kaç m³ ve giriş içindeki oranı nedir?

Cevap: 12.000 - 8.400 - 2.700 - 50 - 300 = 550 m³. Oran 550 ÷ 12.000 = %4,58. Fark, nötr bir veri açığı olarak ele alınır ve kaynağı (sayaç, dönem, buharlaşma tahmini, kayıtsız akış) araştırılır.

Alıştırma 3: Aynı hacim, farklı havza

5.000 m³ su, KF değeri 1,5 olan bir havzada ve KF değeri 60 olan bir havzada tüketiliyor. Sonuçları ve oranı bulun.

Cevap: 5.000 × 1,5 = 7.500 m³ dünya eşdeğeri ve 5.000 × 60 = 300.000 m³ dünya eşdeğeri. Oran 60 ÷ 1,5 = 40. Aynı hacim ikinci havzada 40 kat daha yüksek potansiyel kıtlık etkisi gösterir.

Alıştırma 4: Yük ve gri su

Bir tesis yılda 30.000 m³ atıksuyu 20 mg/L konsantrasyonla deşarj ediyor. Yükü kg cinsinden bulun. En yüksek kabul edilen konsantrasyon 5 g/m³ ve doğal konsantrasyon 1 g/m³ ise WFN gri su hacmi nedir ve bu sayı ISO 14046 etki sonucu mudur?

Cevap: 20 mg/L = 20 g/m³. Yük 30.000 × 20 = 600.000 g = 600 kg/yıl. Gri su hacmi 600.000 ÷ (5 - 1) = 150.000 m³/yıl. Bu teorik bir seyreltme hacmidir ve ISO 14046 etki sonucu değildir.

Özet

- ISO 14046, ürün, proses ve kuruluşların su ayak izi değerlendirmesi için YDD temelli ilke, gereklilik ve kılavuzdur. Etiket, sertifika ya da tek bir evrensel sayı değildir.
- Standart ISO sayfasına göre 2014'te yayımlanmış, 2020'de teyit edilmiştir ve Eylül 2026'da aşama 90.60'tadır. Yürürlükteki sürüm 2014 sürümüdür.
- Dört aşama (amaç ve kapsam, envanter, etki değerlendirmesi, yorumlama) yinelemelidir. Raporlama ve veri kalitesi bütün aşamalara yayılır.
- Amaç ve hedef kullanıcı önce belirlenir. Sistem sınırı (kapıdan kapıya, beşikten kapıya, beşikten mezara), işlevsel birim, tahsis ve kesme ölçütleri sonucun anlamını belirler.
- Su envanteri kaynakları ayrıştırır, miktar ve kaliteyi birlikte ele alır, konum ve zamanı korur. İç geri kullanım yeni çekim sayılmaz.
- Kütle denkliği (giriş = çıkış + depolama değişimi) envanter kontrolüdür. Örnekte fark %3,2'dir ve kendi başına su ayak izi sonucu değildir.
- Sonuç tek değer ya da profil olabilir. Sınırlı göstergeli çalışma nitelendirici ad kullanır. Yalnızca envanter su ayak izi değildir.
- AWARE, orta-nokta bir su kıtlığı yöntemidir. KF aralığı 0,1 ile 100'dür, ISO 14046 için zorunlu değildir ve uç-nokta sonucu vermez. AWARE2.0 halefi olarak önerilmektedir.
- Su kalitesi etkileri (ötrofikasyon, asidifikasyon, ekotoksisite) yük ve alıcı ortamla değerlendirilir. WFN gri su hacmi teorik bir hacimdir ve ISO etki sonucunun yerine geçmez.
- Karşılaştırmalı iddia için işlevsel birim, sınır, veri, yöntem ve çözünürlük uyumlu olmalıdır. Kamuya açık iddia için kritik gözden geçirme beklenir.
- En büyük hacim her zaman en önemli kritik nokta değildir. Örnekte pamuk hacmin %75,3'ünü, tesis içi ise etkinin %60,2'sini oluşturur.

Bilgi kontrolü (cevaplarıyla)

1. Su kütle denkliği tek başına ISO 14046 su ayak izi sonucu mudur? Cevap: Hayır. Kütle denkliği miktarları düzenler ve envanteri kontrol eder. Potansiyel çevresel etki için coğrafi, zamansal ve kalite bağlamıyla etki değerlendirmesi gerekir.

2. Aynı litre su her havzada aynı potansiyel etkiyi mi yaratır? Cevap: Hayır. Etki havzanın su erişilebilirliğine, mevsime, ekosistem ihtiyacına ve diğer kullanıcıların talebine bağlıdır. Örnekte aynı 1.000 m³ iki havzada 2.000 ve 50.000 m³ dünya eşdeğeri verdi.

3. WFN gri su hacmi ile ISO 14046 su kalitesi etki sonucu aynı kavram mıdır? Cevap: Hayır. Gri su teorik bir seyreltme hacmidir ve ISO 14046'da zorunlu ya da varsayılan sonuç değildir. ISO yolunda emisyon envanteri, alıcı ortam ve seçilen etki göstergeleri kullanılır.

4. En büyük su hacmi her zaman en önemli kritik nokta mıdır? Cevap: Hayır. Hacim ile karakterize edilmiş etki farklı yerlerde yoğunlaşabilir. Örnekte pamuk hacmin %75,3'ünü, tesis içi etkinin %60,2'sini oluşturdu.

5. ISO 14046 bir ürün etiketi ya da sertifika mıdır? Cevap: Hayır. Değerlendirmenin nasıl tasarlanacağı, yürütüleceği ve raporlanacağı için gereklilik koyar. Sonucun etiket ya da beyan olarak iletişimi standardın kapsamı dışındadır.

6. AWARE ISO 14046'nın zorunlu yöntemi midir ve hangi düzeyde sonuç verir? Cevap: Hayır. AWARE yaygın kullanılan bir orta-nokta su kıtlığı yöntemi örneğidir. Uç-nokta insan sağlığı ya da ekosistem sonucu vermez. KF aralığı 0,1 ile 100'dür.

7. Su ayak izi sonucu tek değer mi olmalıdır? Cevap: Hayır. Tek değer ya da etki göstergelerinden oluşan bir profil olabilir. Sınırlı bir göstergeye dayanan çalışma su kıtlığı ayak izi gibi nitelendirici ad kullanır.

8. İç geri kullanım envanterde nasıl ele alınır? Cevap: Ayrıca izlenir ancak yeni dış su girişi olarak sayılmaz. Sayılırsa envanter şişer. Örnekte giriş 200.000 yerine 275.000 m³ görünür ve çekim yoğunluğu yüzde 37,5 fazla çıkar.

9. Hangi koşullarda iki su ayak izi sonucu karşılaştırılabilir? Cevap: İşlevsel birim, sistem sınırı, veri dönemi ve kalitesi, tahsis kuralları, etki yöntemi ve sürümü, coğrafi ve zamansal çözünürlük uyumlu olmalıdır. Kamuya açık iddiada kritik gözden geçirme beklenir.

10. 125.000 m³ deşarjda 12 mg/L azot olduğunda yük kaç kg'dır? Cevap: 12 mg/L = 12 g/m³. 125.000 × 12 = 1.500.000 g = 1.500 kg/yıl.

Anahtar kavramlar sözlüğü (TR – EN)

Türkçe	English
su ayak izi	water footprint
yaşam döngüsü değerlendirmesi (YDD)	life cycle assessment (LCA)
amaç ve kapsam	goal and scope
su ayak izi envanteri	water footprint inventory
etki değerlendirmesi	impact assessment
yorumlama	interpretation
işlevsel birim	functional unit
sistem sınırı	system boundary
kapıdan kapıya	gate-to-gate
beşikten kapıya	cradle-to-gate
beşikten mezara	cradle-to-grave
tahsis	allocation
kesme ölçütü	cut-off criterion
su çekimi	water withdrawal
su tüketimi	water consumption
iç geri kullanım	internal reuse
depolama değişimi	change in storage
su kütle denkliği	water mass balance
su akış şeması	water flow diagram
karakterizasyon faktörü	characterization factor
orta-nokta	midpoint
uç-nokta	endpoint
su ayak izi profili	water footprint profile
tek değerli su ayak izi	single-value water footprint
su kıtlığı ayak izi	water scarcity footprint

ötrofikasyon	eutrophication
asidifikasyon	acidification
ekotoksisite	ecotoxicity
kirletici yükü	pollutant load
alıcı ortam	receiving environment
gri su ayak izi	grey water footprint
karşılaştırmalı iddia	comparative assertion
kritik gözden geçirme	critical review
duyarlılık analizi	sensitivity analysis
kritik nokta	hotspot
veri kalitesi	data quality

Kaynaklar ve güncellik notu

- ISO, *ISO 14046:2014, Environmental management — Water footprint — Principles, requirements and guidelines*. 2014, son teyit 2020, aşama 90.60 (30 Eylül 2026 kontrolü). https://www.iso.org/standard/43263.html
- CEN, *EN ISO 14046:2016* (ISO 14046:2014'ün Avrupa kabulü). Türkiye'de TS EN ISO 14046 olarak kullanılır (Türk Standardları Enstitüsü). https://www.tse.org.tr/duyuru/ts-en-iso-14046-cevre-yonetimi-su-ayak-izi-egitimi-2026/
- ISO, *ISO/TR 14073:2017, Environmental management — Water footprint — Illustrative examples on how to apply ISO 14046*. https://www.iso.org/standard/72264.html
- ISO, *ISO 14044:2006, Environmental management — Life cycle assessment — Requirements and guidelines* (Amd 1:2017 ve Amd 2:2020 ile). Son teyit 2022. https://www.iso.org/standard/38498.html
- ISO, *ISO 14040:2006, Environmental management — Life cycle assessment — Principles and framework* (Amd 1:2020 ile). Son teyit 2022. https://www.iso.org/standard/37456.html
- ISO, *ISO 14067:2018, Greenhouse gases — Carbon footprint of products — Requirements and guidelines for quantification*. https://www.iso.org/standard/71206.html
- Boulay, A.-M. ve diğerleri, *The WULCA consensus characterization model for water scarcity footprints: assessing impacts of water consumption based on available water remaining (AWARE)*. International Journal of Life Cycle Assessment, 23(2), 368–378, 2018. https://doi.org/10.1007/s11367-017-1333-8
- Seitfudem, G. ve diğerleri, *The updated and improved method for water scarcity impact assessment in LCA, AWARE2.0*. Journal of Industrial Ecology, 29, 891–907, 2025. https://doi.org/10.1111/jiec.70023
- WULCA, *What is AWARE (Available WAter REmaining)?* https://wulca-waterlca.org/what-is-aware/
- *Addressing water quality in water footprinting: current status, methods and limitations*. International Journal of Life Cycle Assessment, 2020. https://doi.org/10.1007/s11367-020-01838-1
- *Water quality assessment in ISO 14046 water footprint studies: A systematic review*. ScienceDirect, 2026. https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2950263226001055
- Hoekstra, A.Y., Chapagain, A.K., Aldaya, M.M., Mekonnen, M.M., *The Water Footprint Assessment Manual: Setting the Global Standard*. Earthscan, 2011 (WFN gri su yaklaşımı). https://www.waterfootprint.org
- Franke, N.A., Boyacioglu, H., Hoekstra, A.Y., *Grey water footprint accounting: Tier 1 supporting guidelines*. Value of Water Research Report Series No. 65, UNESCO-IHE, 2013. https://www.waterfootprint.org/resources/Report65-GreyWaterFootprint-Guidelines.pdf
- SATSO-SUBÜ Eğitim Programı, Ders 7 amacı, öğrenme çıktısı ve kapsamı.

Güncellik notu: Bu materyaldeki güncel bilgiler Eylül 2026 itibarıyla erişilebilen kaynaklara dayanır. ISO 14046'nın sürüm durumu (aşama 90.60) değişebilir. AWARE ve AWARE2.0 faktörleri ile veri tabanı sürümleri güncellenmektedir. Hesap örneklerindeki tüm sayılar ve KF değerleri eğitim verisidir, gerçek uygulamada ilgili havza verisi ve yöntemin güncel faktör tablosu kullanılmalıdır. Karşılaştırmalı iddia ve kritik gözden geçirme konusunda standardın tam metni okunmalıdır.

ENGLISH VERSION

LESSON 7: The ISO 14046 Water Footprint Standard

Ders 7: ISO 14046 Su Ayak İzi Standardı

Program: Sanayide Sürdürülebilirlik, İklim Değişikliği ve Karbon Ayak İzi Eğitimi

Profile	Description
Target audience	Students, industry professionals and specialists
Scope of this material	The logic of ISO 14046, the four-phase assessment, goal and scope, system boundary and functional unit, water inventory, water flow diagram and mass balance, water footprint profile and single value, water scarcity impact (AWARE), water quality impacts, the limit of the grey water concept, rules for comparative assertions and the dyed fabric example
Example data	All numbers in the calculation examples in this material are training data. They are not real company or real basin data
Currency of information	September 2026
Related lessons	Lesson 6 (blue, green and grey water footprint components, direct and indirect water use). Lesson 8 (moving from hotspots to industrial water efficiency, process improvement, reuse, monitoring and implementation planning)

Learning outcomes

After completing this material, the learner can:

- Explain what ISO 14046 is and what it is not. Distinguish the standard from a measurement method, a label or a certificate.
- Describe the four phases (goal and scope, water footprint inventory, impact assessment, interpretation) and their iterative structure.
- Define goal, scope, system boundary and functional unit at product, process, facility and organization level.
- Build a water inventory in terms of sources, outputs, internal reuse and data quality.
- Calculate a water mass balance with units, interpret an unclosed difference and avoid double counting internal reuse.
- Distinguish a water footprint profile from a single-value result, and midpoint from endpoint indicators.
- Explain what the AWARE method measures, its characterization factor range (0.1 to 100) and that it is not mandatory under ISO 14046.
- Explain water quality impacts (eutrophication, acidification, ecotoxicity) and the limit of the grey water indicator within ISO 14046.
- List the conditions required for a comparative assertion and identify hotspots in the dyed fabric example.

1. Introduction: Measured litres versus potential impact

Knowing how much water a facility withdraws does not mean we know its water-related environmental impact. The same amount of water use does not have the same result in a water-abundant basin and in a highly water-stressed basin. Similarly, the volume of wastewater alone does not explain the pressure on water quality.

In Lesson 6 we learned the blue, green and grey components of the water footprint, direct and indirect water use, and the importance of the basin and time dimensions. In this lesson we take the next step. ISO 14046 addresses water-related quantities within a life cycle assessment (LCA) and aims to evaluate their **potential environmental impacts.**

This material answers the following questions:

- What is the basic logic of the standard and what does it not cover?
- How are goal and scope defined, and how are product, process, facility and organization studies separated?
- How is a water inventory built, and why are a water flow diagram and mass balance needed?
- How are water quantity and water quality information interpreted together with basin conditions?
- How can industrial organizations derive priority areas from the results?

2. What is ISO 14046 and what is it not?

The full title of the standard is *ISO 14046:2014, Environmental management — Water footprint — Principles, requirements and guidelines.* The standard bases the water footprint assessment of products, processes and organizations on the life cycle assessment approach. A study can be carried out as a stand-alone water footprint assessment or as part of a broader environmental assessment.

Key features of the standard

- **Life cycle based:** It follows the LCA framework of ISO 14040 and ISO 14044.
- **Impact oriented:** A water footprint consists of indicators that quantify potential environmental impacts related to water. It is not just a volume total.
- **Includes geographical and temporal dimensions:** Where and when water is used determines the result. Hydrological knowledge is part of the assessment.
- **Addresses quantity and quality together:** Besides water use, changes in water quality are assessed. Not all emissions to air or soil are included, only relevant emissions that affect water quality.
- **Modular:** Results for different life cycle stages can be combined as long as boundaries and data quality are compatible. This does not mean that the results of different studies can be compared unconditionally.
- **Flexible result format:** The result can be a single value or a profile of impact indicator results.

Bridge to Lesson 6

The blue, green and grey components describe water use and pollution pressure in a volumetric language in the Water Footprint Network (WFN) approach. ISO 14046 assesses water use and changes in water quality as potential environmental impacts within a geographical and temporal context. The two approaches are not copies of each other. They can draw on the same inventory data, but their questions, indicators and ways of interpretation differ.

Concept	True for ISO 14046?	Explanation
Standard	Yes	Provides principles, requirements and guidelines on how to design, conduct and report a water footprint assessment
A single universal ISO water footprint number	No	The result is a single indicator or an indicator profile, depending on the goal and the chosen impact assessment method
Measuring device or single calculation method	No	No characterization model or factor set is imposed
Product label	No	Communicating the result as a label or declaration is outside the scope of the standard
Automatic certificate or pass-fail score	No	An independent critical review can be carried out, but the standard does not award a certificate by itself

> **Current status (September 2026): version status of ISO 14046.** According to the ISO page, the standard was published in August 2014 (Edition 1, ISO/TC 207/SC 5). It was last reviewed and confirmed in 2020 and remains the current version. A check on 30 September 2026 shows stage 90.60 (close of review). That means it is within its five-year systematic review cycle and a confirmation, revision or withdrawal decision is not yet reflected on the page. No record of a new revision project was found on the page. In Europe the standard has been adopted as *EN ISO 14046:2016* and in Türkiye it is used as TS EN ISO 14046. Because the version status may change, the ISO page should be checked before starting a study.

3. The relationship of ISO 14046 with ISO 14040/14044 and ISO 14067

ISO 14046 is not a stand-alone method. It is a member of the LCA family of standards.

Standard	Subject	Relationship with ISO 14046
ISO 14040:2006	Principles and framework of LCA	ISO 14046 uses the same product system and phase logic
ISO 14044:2006	Requirements and guidelines for LCA (goal and scope, inventory, impact assessment, interpretation, reporting, critical review)	ISO 14046 adapts this framework to water. The rules on comparison and critical review come from ISO 14044
ISO	Carbon footprint of products	A sister standard. It uses the same LCA skeleton but focuses on a

ISO 14067:2018	Carbon footprint of products	A sister standard. It uses the same LCA skeleton but focuses on a single impact category (climate change)
ISO/TR 14073:2017	Illustrative examples on how to apply ISO 14046	A technical report. It contains examples, not requirements. The examples are not the only possible way to apply the standard and some of the data are fictitious

The key difference between carbon footprint and water footprint

In the carbon footprint, one kilogram of greenhouse gas has the same global climate effect wherever it is emitted. The result is therefore reduced to a single number (CO_2e). In water, the effect of the same litre changes with the basin, the season and the water quality. For this reason, in the water footprint, geographical and temporal resolution, the choice of impact model and sometimes an indicator profile are decisive.

> **Current status (September 2026):** According to the ISO pages, ISO 14040:2006 and ISO 14044:2006 were confirmed in 2022. ISO 14040 has Amd 1:2020, and ISO 14044 has Amd 1:2017 and Amd 2:2020. For ISO 14067:2018, a revision was found necessary after the review in 2024 and a working draft, ISO/WD 14067.2, is listed. This lesson is based on the current 2018 edition.

4. The four-phase architecture of the assessment

An ISO 14046 assessment follows the basic phases of LCA.

Phase	Key question	Main output
1. Goal and scope	Why is the study done, who will use the result, which decision is supported? Product, process, facility or organization? What are the system boundary and the basis for comparison?	Goal, intended user, functional unit, system boundary, reference period
2. Water footprint inventory	Which water, where, when and at what quality goes in and out?	Sources, inputs, outputs, consumption pathways, discharges, pollutant loads, location and time information, energy and supply chain data
3. Impact assessment	Which potential environmental impact do these quantities and quality changes correspond to?	Indicator results characterized with the chosen method (single value or profile)
4. Interpretation	Which processes cause the result, which data and assumptions is it sensitive to, which improvement is a priority?	Hotspots, uncertainty and sensitivity assessment, conclusions and recommendations

An iterative process

These phases are not disconnected, one-way production lines.

- If data cannot be found during the inventory, the scope can be revisited.
- If impact results look meaningless, the geographical resolution or system boundary can be checked.
- The interpretation result can show where data collection should be deepened.

The study is therefore an **iterative** process, not a linear one.

Reporting and data quality run through all phases

Reporting is not a writing task done only at the end. The source of the data, calculation choices, boundaries, excluded processes and uncertainties should be recorded throughout the study. If the results will be used in an external comparison, methodological consistency and the need for independent critical review become even more important (Section 13).

5. Goal, scope and level of assessment

The quality of a water footprint study depends on the questions asked before data collection starts. The first discipline of ISO 14046 is not calculation but **framing the decision question correctly.** If the goal and the intended user are unclear, a study may end up with a lot of data but no use for decisions.

When the goal changes, the scope and data needs change too. The company may be aiming to:

- Find the critical water impacts in the supply chain of a product.
- Compare a production process with an alternative technology.

- Understand the exposure of a facility to basin risk.
- Monitor and report performance at organization level.

Level	Typical decision question	Boundary and data focus
Product	Which water impacts are critical in the life cycle of this product?	Functional unit, life cycle stages, supply chain datasets
Process	How does this production step compare with an alternative technology?	A specific step such as washing, dyeing, cooling or steam generation
Facility	From which basin does the facility withdraw how much, and where does it return water?	Withdrawals, consumption pathways, discharges, local basin link
Organization	What is our performance across several facilities and product groups?	Several facilities, product groups, energy use, purchased inputs, value chain relationships

Intended user

It must be stated clearly for whom the result is prepared: an internal management decision, a customer request, sustainability reporting or an external comparison between products. The intended user determines the level of evidence required.

Reference period

The reference period is part of the scope. Using only an annual average can hide a short but critical pressure in the dry season. If a new process investment is assessed, it must be clear at which production volume and quality level the current situation and the expected new situation are compared.

6. System boundary, functional unit and comparability

The **system boundary** determines which activities and life cycle stages are included in the assessment. The **functional unit** determines the common basis on which results are expressed. Example: *one tonne of dyed fabric with defined quality and performance characteristics.* Saying only one product is not a sufficient basis for comparison.

Three boundary approaches (cotton textile example)

The life cycle chain: raw material, energy and chemicals, production, distribution, use, end of life.

Approach	Stages covered	Strength	Limit
Gate-to-gate	Only flows inside the selected facility or process	Useful for operational improvement	May leave out indirect water impacts from raw material and energy production
Cradle-to-gate	From raw material extraction to the product leaving the factory gate	Captures agricultural raw materials, mining, energy, chemical and packaging inputs	Does not cover use and end of life
Cradle-to-grave	Also includes distribution, use and end of life	Makes the use stage visible, for example in textiles that need frequent washing	Data needs and uncertainty increase

A wider boundary is not always better. The boundary must be consistent with the goal of the study. However, important processes left outside the scope must be stated openly and the meaning of the result must be limited accordingly.

Comparability

If a comparison will be made, the functional unit, system boundary, data period, quality assumptions and impact assessment method must be consistent. One kilogram of product and one unit of use service are not the same comparison basis. If different boundaries and bases are used for the same facility, results that differ widely but are each internally consistent can be obtained.

Allocation

If a process produces more than one product, it must be explained how water flows are distributed among the products. The order is: first, if possible, the process is subdivided or the system is expanded. If allocation is needed, the chosen approach is justified transparently.

Cut-off criteria

If cut-off criteria are used for small flows left outside the scope, it must be justified that they do not change the total result significantly. In particular, excluding a water-intensive raw material only because its purchase value is low leads to wrong prioritization.

7. Water inventory: which data should be collected?

The inventory phase is the data basis of the water footprint assessment. But collecting only the monthly water bill is not enough.

Inputs

- **Sources are defined separately:** surface water, groundwater, network water, harvested rainwater and reclaimed water from another organization are not written into the same category. Where possible, the original source of network water and the basin it serves are also investigated.
- **Quantity, date and location** are recorded together. Does the measurement come from a meter, from calculation or from estimation? Is the data frequency daily, monthly or annual? Is there enough resolution to see seasonal variation?

Outputs

Treated or untreated discharge, water sent to sewer, flow released to surface water, transfer to another facility, evaporation, water incorporated into product and change in storage are tracked separately.

Internal reuse

Internal reuse must be shown correctly. If the same water circulates five times within a process, these are not five new withdrawals. Internal circulation matters for operational efficiency, but if it is mixed with water taken from external sources, the inventory is inflated.

Water quality data

Wastewater volume is not enough. Depending on the scope, the loads and concentrations of relevant pollutants, treatment performance, discharge point and receiving environment information are needed. Physical properties that affect water quality, such as temperature change, can also matter depending on the context.

Supply chain

Data on energy, raw materials, chemicals, packaging and transport are linked to water-related life cycle datasets.

Primary and secondary data

Data type	Example sources
Primary	Facility meters, laboratory analyses, purchasing records, supplier information
Secondary	LCA databases, sector studies, regional statistics

Which one is used must be stated clearly.

Data quality

When data quality is assessed, technological representativeness, geographical fit, temporal currency, measurement accuracy, completeness and consistency are considered together. A current production line in Türkiye might be represented with average data from another continent and older technology, but the uncertainty this creates must be explained together with the result.

> **Four features of a good inventory:** it separates sources, treats quantity and quality together, keeps geographical and temporal context and makes data quality visible.

8. Water flow diagram and water mass balance

The **water flow diagram** turns the inventory into an understandable system. It shows where water enters the facility from the source, which meters it passes, in which processes it is used, where it is recirculated and by which routes it leaves the system. A good diagram does not only draw the pipeline. It links the water source, the basin, the measurement point, the quantity information, the quality change and the receiving environment.

Mass balance

At the most basic level, total water input must equal the sum of total water outputs and the change in storage in the system.

```
Total input = Total output + Change in storage
Unclosed difference = Total input - Total output - Change in storage
```

All units must be the same (for example m³/year) and cover the same period. Change in storage is the difference between the end and the start of the period for tanks, ponds and similar stocks. A stock increase is taken as positive.

- Outputs do not consist only of wastewater. Evaporation, water incorporated into the product, transfer to another system, treated discharge, leakage or unmeasured flows can also be part of the equation.
- The amount of internal reuse is tracked separately, but the recirculation of the same water inside the system is not counted as new external input.
- The unclosed difference is treated not as a red warning but as a neutral **data gap.** A balance that does not close does not immediately mean an environmental violation. Meter accuracy, different measurement periods, stock change, evaporation estimates or unrecorded side flows can create the difference. The main aim is not to hide the difference but to investigate its source.

Calculation example: annual water balance of a dyeing facility

The values below are training data. The facility dyes 1,200 tonnes of dry fabric per year.

Item	Direction	Amount (m³/year)	Note
Groundwater (well)	Input	140,000	Meter
Network water	Input	45,000	Meter
Harvested rainwater	Input	2,000	Estimate
Reclaimed water from outside	Input	13,000	Meter
Total input		**200,000**	140,000 + 45,000 + 2,000 + 13,000
Treated discharge (surface water)	Output	125,000	Meter
Water sent to sewer	Output	26,000	Meter
Evaporation (steam, drying, cooling)	Output	41,000	Calculation and estimate
Water carried with product	Output	96	1,200 t × 0.08 t water/t fabric (training assumption for moisture ratio). 1 t water = 1 m³
Total output		**192,096**	125,000 + 26,000 + 41,000 + 96
Change in storage (stock increase)		1,500	Tank and pond level
Unclosed difference		**6,404**	200,000 - 192,096 - 1,500

```
Unclosed difference ratio = 6,404 m³ ÷ 200,000 m³ = 3.2%
```

Interpretation: The difference is 3.2% of total input. The acceptable difference threshold must be set in advance in the study. This training example assumes no threshold. The main message is that the source of the difference must be investigated. Possible sources include the uncertainty of the rainwater estimate and the evaporation estimate.

Double counting of internal reuse. Suppose 75,000 m³ of water circulates internally per year as cooling and rinsing water. This water is not taken from an external source. If it is wrongly added as input, input appears as 275,000 m³ and the inventory is inflated by 37.5%. Withdrawal per unit of product is also calculated wrongly:

Approach	Input (m³/year)	Withdrawal intensity (m³/t fabric)	Result

Correct: external input only	200,000	200,000 ÷ 1,200 = 166.7	166.7 m³/t (166.7 L/kg)
Wrong: internal reuse added too	275,000	275,000 ÷ 1,200 = 229.2	37.5% too high

Consumption and the sensitivity to the unclosed difference. In practice, water consumption is treated as the part of withdrawn water that is not returned to the same basin. Because the definition can vary with the chosen method and database, it must be stated clearly in the study. In this example, treated discharge and water sent to sewer are assumed to return to the same basin. This assumption must also be reported.

```
Consumption = Evaporation + Water carried with product = 41,000 + 96 = 41,096 m³/year
Consumption / tonne fabric = 41,096 ÷ 1,200 = 34.25 m³/t
Check: Withdrawal - Returned - Storage = 200,000 - 151,000 - 1,500 = 47,500
       Consumption + Unclosed difference = 41,096 + 6,404 = 47,500
```

If the whole unclosed difference turned out to be evaporation, consumption would be 47,500 m³/year (39.58 m³/t). The result would be 15.6% higher. Moving on to impact assessment without closing the difference therefore requires making the uncertainty of the result visible.

Three functions of the diagram and the balance

1. They check the consistency of the inventory.
2. They reveal measurement gaps and data quality problems.
3. They show in which process high withdrawal, consumption, loss or pollution load is concentrated.

The diagram also helps to improve the metering plan. A single meter at the facility inlet shows total withdrawal but does not explain which process creates consumption. Without sub-meters at the main points of use and regular quality measurements, the effect of an improvement cannot be tracked reliably.

> **Important limit: A mass balance alone is not an ISO 14046 water footprint result.** This work organizes quantities. To understand potential environmental impact, one must move on to impact assessment with geographical, temporal and quality context.

9. From inventory to potential environmental impact

Impact assessment converts the litres and pollutant loads in the inventory into environmental indicators that are meaningful for decisions. The core operation is **characterization.** Water use is related to the water availability of the basin where it occurs, its seasonal conditions, ecosystem requirements and the demand of other users. For this reason, the same amount of water consumption produces different characterization results in different regions.

```
Impact indicator result = Inventory quantity × Characterization factor
```

Quantity and water quality follow two separate channels. In the quantity channel, water consumption is related to the scarcity situation of the basin. In the quality channel, released substances are related to the receiving environment and the chosen impact pathway.

Midpoint and endpoint

Level	Meaning	Example
Midpoint	An intermediate link in the cause-effect chain	Potential pressure on water scarcity or water availability. Eutrophication potential
Endpoint	Further potential consequences at the end of the chain	Potential consequences for human health and ecosystems

The chain reads as follows: water consumption, midpoint water scarcity potential, endpoint human health and ecosystem consequences. Not every ISO 14046 study needs to produce an endpoint result.

Water footprint profile and single-value water footprint

According to the scope of ISO 14046, the result of a water footprint assessment can be a single value or a profile of impact indicator results.

Result format	When suitable?	Caution
Single-value water footprint	When the decision maker needs one number and the relevant impacts can be combined consistently	Combining different impact categories can hide important information
Water footprint profile	When several impact categories (for example water scarcity, eutrophication, ecotoxicity) should be seen separately	Harder to read but shows trade-offs

The qualifier rule

According to ISO 14046, a study based on only a limited impact indicator does not call its result simply a water footprint. It uses a qualifier that shows the scope. Examples: *water scarcity footprint*, *water eutrophication footprint*. If the result is only an inventory result (for example m³/tonne), it is not a water footprint but a **water inventory** result.

Water footprint and water risk are different

Impact assessment focuses on environmental consequences. A company facing production interruption, cost, regulatory or reputation risk may be related but it is not the same concept.

Method choice

ISO 14046 does not impose a single characterization model or a mandatory factor set. The chosen method must be consistent with the goal of the study, scientifically justified, appropriate in geographical and temporal terms and reported transparently.

> **Main message of this section:** In ISO 14046 the quantity of water matters, but where and when the quantity occurs and which quality change it is associated with determine the result.

10. Water scarcity impact and the AWARE method

One of the widely used consensus methods for assessing the potential water-scarcity-related impact of water consumption at midpoint level is **AWARE** (*Available WAter REmaining*). AWARE was developed by the WULCA (*Water Use in Life Cycle Assessment*) working group within the UNEP-SETAC Life Cycle Initiative. The method is presented in Boulay et al. (2018).

> **AWARE is only one concrete method example. It is not the mandatory method of ISO 14046.** AWARE is not an endpoint method and it is not the only method that covers all water impacts.

What does AWARE measure?

AWARE measures the **available water remaining** per area in a basin after the demand of humans and aquatic ecosystems has been met. The less water remains, the more other users are deprived of water by one cubic metre consumed in that basin.

Feature	Value
Characterization factor (CF) unit	m³ world-eq / m³ water consumed
CF range	0.1 to 100
CF = 1	A region where the available water remaining per area equals the world average
CF = 10	10 times less available water remaining per area than the world average
Resolution	Calculated at sub-basin level with a monthly time step, can be aggregated to country or annual scale
Use type	Separate CF sets for agricultural and non-agricultural use
Consumption-weighted world average	43 for unspecified use, 20 for non-agricultural, 46 for agricultural (WULCA)
Scope	Only the scarcity side of water consumption. Does not cover water quality impacts

The CF is a relative value that shows scarcity above or below the world average, and it is bounded at both ends. If the remaining water is zero or negative, the CF is set to the upper limit of 100. AWARE therefore expresses the scarcity of a basin not on an absolute scale but relative to the world average.

Why do location and time matter? Calculation example

The same 1,000 m³ of water consumption gives different results in two basins. The CF values are training data and do not belong to a real basin.

Basin	Consumption (m³)	CF (m³ world-eq / m³)	Result (m³ world-eq)
A: water abundant	1,000	2	1,000 × 2 = 2,000
B: highly water stressed	1,000	50	1,000 × 50 = 50,000

The same volume shows a 25 times (50 ÷ 2) higher potential water scarcity impact in basin B. Unit check: m³ × (m³ world-eq / m³) = m³ world-eq.

When interpreting an AWARE result

- The result is a **midpoint** indicator. It should not be presented as an endpoint result such as human health or ecosystem loss.
- Choosing between monthly and annual CFs affects whether pressure in the dry season becomes visible. The choice must be justified.
- If the consumption location is uncertain (for example in the supply chain), a country average or the unspecified-use CF can be used. This increases uncertainty and must be reported.

> **Current status (September 2026): AWARE2.0.** Seitfudem et al. (2025, *Journal of Industrial Ecology*, 29, 891–907) published AWARE2.0, the updated version of AWARE. The article states that, after consulting the authors of Boulay et al. (2018), AWARE2.0 is recommended as the successor of AWARE. In the new version, water availability data rely on the period 1990–2019 and the consumption inventory on 2019 (earlier version: 1960–2010 and 2010). The CF range is 0.1 to 100 in both versions. The version must be stated in the report, whichever version your LCA software or database contains. Results from the two versions should not be compared directly.

11. Water quality impacts

On the water quality side, the type and load of discharged substances, the receiving environment and the chosen impact pathway matter. Looking only at the total wastewater volume is not enough. ISO 14046 expects water quality (physical, chemical and biological characteristics) to be addressed as much as quantity, and leaves the choice of impact categories to the goal of the study.

Impact category	What it describes	Example industrial source
Eutrophication	The potential of nutrients such as nitrogen and phosphorus to cause excess algal growth and oxygen depletion in the receiving environment	Nitrogen and phosphorus discharges, food and textile wastewater
Acidification	The acidifying potential of substances (for example sulfur and nitrogen oxides) in ecosystems. Within ISO 14046 only emissions that affect water quality are included	Combustion and chemical processes
Ecotoxicity	The potential of metals and organic pollutants to have toxic effects on aquatic ecosystems	Metal surface treatment, processes using dyes and chemicals

The units of the categories depend on the method (for example phosphorus equivalents for eutrophication, toxic units for ecotoxicity). Results are therefore interpreted within a category and not added across categories.

In the assessment of water quality, the following are kept separate:

- **Actual wastewater volume** (m³).
- **Pollutant concentration** (mg/L).
- **Pollutant load** (kg), the quantity found by considering concentration and volume together.

Treatment performance is understood not only from the outlet concentration but from the change between inlet and outlet loads. If production volume changes, absolute load and load per unit of product should be tracked together. The receiving environment where the discharge occurs also matters. The same load leads to different results in environments with different flow, background quality and ecological sensitivity.

> **Current status (September 2026):** A systematic review of 49 articles from 2016 to 2026 (*Water quality assessment in ISO 14046 water footprint studies: A systematic review*) found that freshwater eutrophication, freshwater ecotoxicity and water scarcity were the most frequently reported in ISO 14046 studies. The review also notes that water scarcity was the priority and sometimes the only impact in many studies, and that water quality was addressed relatively little. Since ISO 14046 expects quantity and quality together, a study that relies only on a scarcity result should use a qualifier (Section 9).

12. Wastewater, pollutant load and the limit of the grey water concept

In Lesson 6 we learned the grey water footprint as a WFN indicator that expresses the relationship between a pollutant load and an accepted water quality limit through a theoretical freshwater volume. **In an ISO 14046 study, however, a grey water volume is not a mandatory or default result.**

	WFN grey water approach	ISO 14046 water quality approach
Logic	Pollutant load, quality standard, theoretical water volume	Emission inventory, receiving environment, water quality change, chosen impact indicators
Result	Volume (m^3)	Impact indicator result (for example eutrophication potential)
Quality benchmark	Chosen ambient quality limit (maximum accepted and natural concentration)	Chosen impact model and characterization factors
Mandatory?	The core indicator in the WFN approach	Not mandatory in ISO 14046

In ISO 14046, relevant emissions to water, soil or air that affect water quality are included in the inventory. Then their potential consequences are assessed within the receiving environment and the chosen impact assessment method. The grey water indicator can be used side by side as water quality information within the same study. However, it should not replace ISO 14046 impact indicators and should not be reported as if it were the same result.

Calculation example: load, concentration and grey water

Let the treated discharge of the dyeing facility be 125,000 m^3 per year (the example in Section 8). The total nitrogen concentrations are training data.

Step	Operation	Result
Unit check	1 mg/L = 1 g/m^3	12 mg/L = 12 g/m^3
Outlet load	125,000 m^3/year × 12 g/m^3	1,500,000 g/year = 1,500 kg/year
Treatment inlet load	125,000 m^3/year × 40 g/m^3 (inlet 40 mg/L)	5,000,000 g/year = 5,000 kg/year
Load reduction	(5,000 - 1,500) ÷ 5,000	70% (volume assumed the same)
Load per product	1,500 kg ÷ 1,200 t	1.25 kg/t fabric

The WFN grey water volume is found by dividing the load by the accepted concentration difference:

```
Grey water volume = Load ÷ (Maximum accepted concentration - Natural concentration)
```

As a training assumption, take the maximum accepted concentration as 2 g/m^3 and the natural concentration as 0.3 g/m^3:

```
1,500,000 g/year ÷ (2 - 0.3) g/m³ = 882,353 m³/year
```

This volume is about 7.06 times the actual discharge (882,353 ÷ 125,000). If a limit value of 4 g/m^3 were chosen, the result would be 405,405 m^3/year. The two results show the following:

- The grey water volume is not an actual water flow but a **theoretical dilution volume.**
- The result depends strongly on the chosen quality limit.

- This number is not an eutrophication impact result in the ISO 14046 sense. In the ISO route, the same load (kg nitrogen) is converted into an impact indicator with a chosen characterization model.

> **Caution:** This example does not recommend dilution as a solution. The load before and after treatment is tracked as a real data flow.

13. Rules for comparative assertions

A *comparative assertion* is an environmental claim about the superiority or equivalence of one product over a competing product. Water footprint results cannot be compared directly even if written in the same unit. Two results prepared with different functional units, different system boundaries, different basin data or different characterization methods fall into this case.

Check	Condition for comparison
Functional unit	Must represent the same function and quality. One kilogram of product and one unit of use service are not the same basis
System boundary	Must cover the same life cycle stages
Data period and quality	Compatible period, geography and technology representation
Allocation and cut-off rules	The same rules and a clear justification
Impact method	The same method and the same version (for example AWARE and AWARE2.0 are not mixed)
Geographical and temporal resolution	At the same level (basin and month or year)
Scope	Quantity and quality should both be addressed. If only a limited indicator is used, a qualifier must be used
Inventory result	A comparison of m³/tonne alone is not a water footprint comparison
Critical review	For a comparative assertion disclosed to the public, an independent critical review by a panel of interested parties is expected, as in ISO 14044

A study prepared for internal management and a public product comparison do not require the same level of evidence and review. The performance of the same facility over the years is compared more safely when tracked with the same method. If a public comparative assertion is considered, the full text of the relevant clauses of the standard and of ISO 14044 must be read. This material only summarizes the principles.

14. Industrial application example: dyed fabric assessment

Let a hypothetical textile company want to assess the water footprint of *one tonne of dyed fabric with defined quality characteristics.* The process has six steps: goal, boundary, inventory, flow and balance, impact assessment, hotspots. The supply chain includes cotton, electricity and chemicals, the facility includes washing, dyeing, steam and treatment, and the basin includes water stress and receiving environment layers. All numbers are training data.

Step	Content
1. Goal	Decision question: find the most important water impacts of the current product and prioritize improvement options. Intended user: internal management
2. Boundary	If only the dyeing facility, gate-to-gate. If cotton, yarn, electricity, chemicals and packaging are included, cradle-to-gate. In this example, cradle-to-gate is chosen
3. Inventory	Surface, groundwater and network water withdrawals, use by process, evaporation, water carried with product, treated discharge, pollutant loads, receiving environment. For the supply chain, cotton, energy and chemical data are matched with suitable LCA datasets
4. Flow and balance	The balance is built as in Section 8 and data consistency is checked. Result: facility consumption 34.25 m³/t
5. Impact assessment	Water quantities and quality changes are entered into the chosen method with the relevant basin and period information
6. Hotspots	The places where impact is concentrated are identified and improvement options are linked to the relevant point

Impact assessment example

The table below gives blue water consumption per tonne of fabric and hypothetical scarcity CFs. The CF values are training data chosen within the range of 0.1 to 100 and are not the AWARE value of any real basin. Let the cotton come mainly from rain-fed regions (so its blue water consumption is low).

Item	Consumption (m^3/t fabric)	CF	Result (m^3 world-eq/t)	Volume share	Impact share
On-site (washing, dyeing, steam)	34.25	45	1,541.1	17.2%	60.2%
Cotton production	150	4	600.0	75.3%	23.4%
Chemical supply	3	100	300.0	1.5%	11.7%
Electricity generation	12	10	120.0	6.0%	4.7%
Total	**199.25**		**2,561.1**	100%	100%

Interpretation: The largest volume is in cotton (75.3%), but the largest potential impact is on site (60.2%), because the facility is in a highly water-stressed basin. Chemical supply is below electricity in volume but above it in impact. This shows that **the largest water volume is not always the most important hotspot.** The areas of the value chain where impact is concentrated are the water hotspots.

Sensitivity analysis

In the interpretation phase, it is tested whether the ranking changes when cotton data, the electricity mix or basin characterization changes. If the CF of the cotton basin changes:

Cotton CF	Cotton result (m^3 world-eq/t)	Total	Impact share of cotton
4	600	2,561.1	23.4%
12	1,800	3,761.1	47.9%
20	3,000	4,961.1	60.5%

The cotton result and the on-site result are equal when the cotton CF is about 10.3 (1,541.1 ÷ 150). Above this threshold the hotspot shifts to cotton. If the result depends too heavily on a single uncertain data point, that data may need to be improved before an investment decision.

Linking improvement options to the hotspot

Process water reduction, reuse, chemical substitution, treatment upgrade, supplier change and collective action at basin level respond to different problems. For example, if on-site consumption dominates, process water reduction and lower evaporation losses come to the fore. If cotton dominates, supplier and sourcing region choice come to the fore. Turning these options into an implementation plan is covered in Lesson 8.

Verification with Python

The code below recalculates the numbers of the calculation examples in this material.

```python
from decimal import Decimal as D

# Section 8: water mass balance (m3/year)
giris = D(140000) + D(45000) + D(2000) + D(13000)
kumas_t = D(1200)
urun_suyu = kumas_t * D(8) / D(100)
cikis = D(125000) + D(26000) + D(41000) + urun_suyu
depo = D(1500)
fark = giris - cikis - depo
print(giris, cikis, urun_suyu, fark, fark / giris * 100)

# Double counting of internal reuse
yanlis = giris + D(75000)
print(giris / kumas_t, yanlis / kumas_t, D(75000) / giris * 100)

# Consumption and sensitivity
tuketim = D(41000) + urun_suyu
print(tuketim, tuketim / kumas_t, giris - D(151000) - depo)
print(tuketim + fark, (tuketim + fark) / kumas_t, fark / tuketim * 100)

# Section 14: impact share table
kalemler = [(tuketim / kumas_t, D(45)), (D(150), D(4)), (D(3), D(100)), (D(12), D(10))]
hacim = sum(v for v, k in kalemler)
etki = sum(v * k for v, k in kalemler)
for v, k in kalemler:
    print(v, k, v * k, v / hacim * 100, v * k / etki * 100)
print(hacim, etki, (tuketim / kumas_t) * D(45) / D(150))

# Section 12: load and grey water
yuk_g = D(125000) * D(12)
print(yuk_g / D(1000), D(125000) * D(40) / D(1000))
gri = yuk_g / (D(2) - D(3) / D(10))
print(gri, gri / D(125000), yuk_g / (D(4) - D(3) / D(10)))
```

Exercises (with answers)

Exercise 1: Error hunt

Find and correct the nine errors below. The answers are given in the table.

Error	Why it is a problem	Correct version
1. Treating ISO 14046 as a product label, automatic certificate or pass-fail score	The standard sets requirements, it does not award a label or certificate. Communication is outside its scope	The standard is a framework for designing, conducting and reporting an assessment
2. Presenting a water inventory result (m³/tonne) as a water footprint	A water footprint quantifies potential impact. An inventory is only quantity	Move on to impact assessment or call the result a water inventory
3. Ignoring geographical and temporal context	The same litre does not have the same impact in every basin and season	Keep basin and time resolution
4. Treating a mass balance as a water footprint result	A balance organizes quantities, it does not explain impact	Use the balance as an inventory check and carry out impact assessment separately
5. Counting internal reuse as a new water withdrawal	The inventory is inflated and withdrawal intensity is wrong	Count only external input as withdrawal and track internal circulation separately
6. Reporting the WFN grey water volume as an ISO 14046 water quality impact result	Grey water is a theoretical dilution volume. ISO impact indicators are a different chain	Report the two as separate information, without replacing one with the other
7. Presenting AWARE or another method as the only mandatory ISO method	ISO 14046 does not impose a mandatory characterization model	Choose the method consistent with the goal, justify it and report it
8. Presenting an AWARE result as an endpoint human health or ecosystem result	AWARE is a midpoint scarcity indicator	Keep the midpoint and endpoint distinction
9. Automatically treating the largest volume as the hotspot	Volume and potential impact can be concentrated in different places	Identify hotspots by characterized impact

Exercise 2: Unclosed difference

A facility has annual input of 12,000 m³, treated discharge of 8,400 m³, evaporation of 2,700 m³, water carried with product of 50 m³ and a storage increase of 300 m³. What is the unclosed difference in m³ and as a share of input?

Answer: 12,000 - 8,400 - 2,700 - 50 - 300 = 550 m³. The ratio is 550 ÷ 12,000 = 4.58%. The difference is treated as a neutral data gap and its source (meter, period, evaporation estimate, unrecorded flow) is investigated.

Exercise 3: Same volume, different basin

5,000 m³ of water is consumed in a basin with a CF of 1.5 and in a basin with a CF of 60. Find the results and the ratio.

Answer: 5,000 × 1.5 = 7,500 m³ world-eq and 5,000 × 60 = 300,000 m³ world-eq. The ratio is 60 ÷ 1.5 = 40. The same volume shows a 40 times higher potential scarcity impact in the second basin.

Exercise 4: Load and grey water

A facility discharges 30,000 m³ of wastewater per year at a concentration of 20 mg/L. Find the load in kg. If the maximum accepted concentration is 5 g/m³ and the natural concentration is 1 g/m³, what is the WFN grey water volume, and is this number an ISO 14046 impact result?

Answer: 20 mg/L = 20 g/m³. Load is 30,000 × 20 = 600,000 g = 600 kg/year. Grey water volume is 600,000 ÷ (5 - 1) = 150,000 m³/year. This is a theoretical dilution volume and is not an ISO 14046 impact result.

Summary

- ISO 14046 provides LCA-based principles, requirements and guidelines for the water footprint assessment of products, processes and organizations. It is not a label, a certificate or a single universal number.
- According to the ISO page, the standard was published in 2014, confirmed in 2020 and is at stage 90.60 in September 2026. The current version is the 2014 edition.
- The four phases (goal and scope, inventory, impact assessment, interpretation) are iterative. Reporting and data quality run through all phases.
- Goal and intended user are set first. The system boundary (gate-to-gate, cradle-to-gate, cradle-to-grave), functional unit, allocation and cut-off criteria determine the meaning of the result.
- The water inventory separates sources, treats quantity and quality together and keeps location and time. Internal reuse is not counted as new withdrawal.
- The mass balance (input = output + change in storage) is an inventory check. In the example the difference is 3.2% and it is not a water footprint result by itself.
- The result can be a single value or a profile. A study with a limited indicator uses a qualifier. An inventory alone is not a water footprint.
- AWARE is a midpoint water scarcity method. Its CF range is 0.1 to 100, it is not mandatory for ISO 14046 and it does not give endpoint results. AWARE2.0 is recommended as its successor.
- Water quality impacts (eutrophication, acidification, ecotoxicity) are assessed with load and the receiving environment. The WFN grey water volume is a theoretical volume and does not replace an ISO impact result.
- For a comparative assertion, the functional unit, boundary, data, method and resolution must be consistent. Critical review is expected for a public assertion.
- The largest volume is not always the most important hotspot. In the example cotton is 75.3% of volume while the on-site part is 60.2% of impact.

Knowledge check (with answers)

1. Is a water mass balance alone an ISO 14046 water footprint result? Answer: No. A mass balance organizes quantities and checks the inventory. For potential environmental impact, impact assessment with geographical, temporal and quality context is needed.

2. Does the same litre of water create the same potential impact in every basin? Answer: No. The impact depends on the water availability of the basin, the season, ecosystem needs and the demand of other users. In the example, the same 1,000 m³ gave 2,000 and 50,000 m³ world-eq in two basins.

3. Is the WFN grey water volume the same concept as an ISO 14046 water quality impact result? Answer: No. Grey water is a theoretical dilution volume and is not a mandatory or default result in ISO 14046. The ISO route uses an emission inventory, the receiving environment and chosen impact indicators.

4. Is the largest water volume always the most important hotspot? Answer: No. Volume and characterized impact can be concentrated in different places. In the example cotton was 75.3% of volume and the on-site part was 60.2% of impact.

5. Is ISO 14046 a product label or a certificate? Answer: No. It sets requirements on how to design, conduct and report an assessment. Communicating the result as a label or declaration is outside the scope of the standard.

6. Is AWARE the mandatory method of ISO 14046 and at which level does it give results? Answer: No. AWARE is an example of a widely used midpoint water scarcity method. It does not give endpoint human health or ecosystem results. Its CF range is 0.1 to 100.

7. Must a water footprint result be a single value? Answer: No. It can be a single value or a profile of impact indicators. A study based on a limited indicator uses a qualifier such as water scarcity footprint.

8. How is internal reuse treated in the inventory? Answer: It is tracked separately but not counted as new external water input. If counted, the inventory is inflated. In the example, input would appear as 275,000 instead of 200,000 m^3 and withdrawal intensity would be 37.5% too high.

9. Under which conditions can two water footprint results be compared? Answer: The functional unit, system boundary, data period and quality, allocation rules, impact method and version, and geographical and temporal resolution must be consistent. A critical review is expected for a public assertion.

10. What is the load in kg when 125,000 m^3 of discharge contains 12 mg/L of nitrogen? Answer: 12 mg/L = 12 g/m^3. 125,000 × 12 = 1,500,000 g = 1,500 kg/year.

Glossary of key concepts (TR – EN)

Türkçe	English
su ayak izi	water footprint
yaşam döngüsü değerlendirmesi (YDD)	life cycle assessment (LCA)
amaç ve kapsam	goal and scope
su ayak izi envanteri	water footprint inventory
etki değerlendirmesi	impact assessment
yorumlama	interpretation
işlevsel birim	functional unit
sistem sınırı	system boundary
kapıdan kapıya	gate-to-gate
beşikten kapıya	cradle-to-gate
beşikten mezara	cradle-to-grave
tahsis	allocation
kesme ölçütü	cut-off criterion
su çekimi	water withdrawal
su tüketimi	water consumption
iç geri kullanım	internal reuse
depolama değişimi	change in storage
su kütle denkliği	water mass balance
su akış şeması	water flow diagram
karakterizasyon faktörü	characterization factor
orta-nokta	midpoint
uç-nokta	endpoint
su ayak izi profili	water footprint profile
tek değerli su ayak izi	single-value water footprint

su kıtlığı ayak izi	water scarcity footprint
ötrofikasyon	eutrophication
asidifikasyon	acidification
ekotoksisite	ecotoxicity
kirletici yükü	pollutant load
alıcı ortam	receiving environment
gri su ayak izi	grey water footprint
karşılaştırmalı iddia	comparative assertion
kritik gözden geçirme	critical review
duyarlılık analizi	sensitivity analysis
kritik nokta	hotspot
veri kalitesi	data quality

Sources and currency note

- ISO, *ISO 14046:2014, Environmental management — Water footprint — Principles, requirements and guidelines*. 2014, last confirmed 2020, stage 90.60 (checked 30 September 2026). https://www.iso.org/standard/43263.html
- CEN, *EN ISO 14046:2016* (European adoption of ISO 14046:2014). Used in Türkiye as TS EN ISO 14046 (Turkish Standards Institution). https://www.tse.org.tr/duyuru/ts-en-iso-14046-cevre-yonetimi-su-ayak-izi-egitimi-2026/
- ISO, *ISO/TR 14073:2017, Environmental management — Water footprint — Illustrative examples on how to apply ISO 14046*. https://www.iso.org/standard/72264.html
- ISO, *ISO 14044:2006, Environmental management — Life cycle assessment — Requirements and guidelines* (with Amd 1:2017 and Amd 2:2020). Last confirmed 2022. https://www.iso.org/standard/38498.html
- ISO, *ISO 14040:2006, Environmental management — Life cycle assessment — Principles and framework* (with Amd 1:2020). Last confirmed 2022. https://www.iso.org/standard/37456.html
- ISO, *ISO 14067:2018, Greenhouse gases — Carbon footprint of products — Requirements and guidelines for quantification*. https://www.iso.org/standard/71206.html
- Boulay, A.-M. et al., *The WULCA consensus characterization model for water scarcity footprints: assessing impacts of water consumption based on available water remaining (AWARE)*. International Journal of Life Cycle Assessment, 23(2), 368–378, 2018. https://doi.org/10.1007/s11367-017-1333-8
- Seitfudem, G. et al., *The updated and improved method for water scarcity impact assessment in LCA, AWARE2.0*. Journal of Industrial Ecology, 29, 891–907, 2025. https://doi.org/10.1111/jiec.70023
- WULCA, *What is AWARE (Available WAter REmaining)?* https://wulca-waterlca.org/what-is-aware/
- *Addressing water quality in water footprinting: current status, methods and limitations*. International Journal of Life Cycle Assessment, 2020. https://doi.org/10.1007/s11367-020-01838-1
- *Water quality assessment in ISO 14046 water footprint studies: A systematic review*. ScienceDirect, 2026. https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2950263226001055
- Hoekstra, A.Y., Chapagain, A.K., Aldaya, M.M., Mekonnen, M.M., *The Water Footprint Assessment Manual: Setting the Global Standard*. Earthscan, 2011 (WFN grey water approach). https://www.waterfootprint.org
- Franke, N.A., Boyacioglu, H., Hoekstra, A.Y., *Grey water footprint accounting: Tier 1 supporting guidelines*. Value of Water Research Report Series No. 65, UNESCO-IHE, 2013. https://www.waterfootprint.org/resources/Report65-GreyWaterFootprint-Guidelines.pdf
- SATSO-SUBÜ Training Program, Lesson 7 purpose, learning outcome and scope.

Currency note: The current information in this material rests on sources accessible as of September 2026. The version status of ISO 14046 (stage 90.60) may change. AWARE and AWARE2.0 factors and database versions are being updated. All numbers and CF values in the calculation examples are training data. In a real application, the relevant basin data and the current factor table of the method must be used. For comparative assertions and critical review, the full text of the standard must be read.