DERS 8: Sanayide Su Verimliliği ve İyileştirme Uygulamaları

Lesson 8: Water Efficiency and Improvement Practices in Industry

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

Künye	Açıklama
Hedef kitle	Üniversite öğrencileri ile sanayi kuruluşlarında çalışan teknik ve idari personel
Bu materyalin kapsamı	Sanayide su verimliliği: kullanım noktalarını haritalama, ölçüm, kalite eşleştirme, kayıp-kaçak, kapalı devre ve geri kazanım, spesifik su tüketimi, Türkiye'deki yönetim çerçevesi, suyun gerçek maliyeti ve yatırım önceliklendirme
Örnek verisi	Bu materyaldeki tüm sayısal örnekler ve birim fiyatlar eğitim varsayımıdır. Gerçek tesis verisi, güncel tarife ya da sektör performans değeri değildir
İlgili dersler	Ders 7 (ISO 14046 su ayak izi), Ders 9 (yaşam döngüsü analizi, ürün karbon ayak izi ve EPD), Ders 15 (doğal gaz emisyon hesabı)
Bilgi güncelliği	Eylül 2026

Öğrenme çıktıları

Bu materyali tamamlayan katılımcı şunları yapabilir:

- Suyun bir sanayi tesisi için neden yalnızca çevresel değil, aynı zamanda operasyonel bir konu olduğunu açıklar.
- Su azaltma hiyerarşisini (azalt, uygun olduğunda ikame et, yeniden kullan) doğru sırayla uygular.
- Su kullanım noktalarını miktar ve kalite olmak üzere iki katmanda haritalar.
- Alt sayaç yapısı ve baz durum ile iyileştirmeyi güvenilir biçimde doğrular.
- Her kullanım için gereken su kalitesini belirler ve kullanım amacına uygun kaynak seçer.
- Kayıp-kaçakları gece debisi analiziyle bulur, onarım sonrası etkiyi sayaçla doğrular.
- Kapalı devre ve geri kazanım seçeneklerini soğutma, buhar ve durulama örnekleriyle değerlendirir.
- Yağmur suyu, gri su, proses atıksuyu ve arıtılmış atıksuyu doğru adlandırır.
- Spesifik su tüketimini hesaplar ve toplam tüketimle spesifik tüketimi karşılaştırarak yorumlar.
- Türkiye'deki su verimliliği yönetim çerçevesini (Su Verimliliği Yönetmeliği, kurumlar, ilgili mevzuat, standartlar) tanır ve kendi tesisi için kapsam kontrolü yapar.
- Suyun gerçek maliyetini hesaplar ve iyileştirme fırsatlarını geri ödeme ile birlikte teknik ve operasyonel ölçütlere göre önceliklendirir.

1. Su neden bir operasyon konusudur

Su verimliliği sanayi kuruluşları için yalnızca bir çevresel sorumluluk başlığı değildir. Birçok tesiste su şunların hepsidir:

- Doğrudan proses girdisi
- Soğutma aracı
- Buhar üretimi kaynağı
- Temizlik unsuru
- Çalışanların günlük ihtiyacı

Bu nedenle suyun erişilebilirliğinde ya da kalitesinde bir sorun üretim sürekliliğini etkileyebilir. Doğru su yönetimi pompalama, şartlandırma, ısıtma, soğutma, kimyasal kullanımı ve atıksu arıtımı gibi diğer maliyetlerle de ilişkilidir.

Bu materyalde suyu yalnızca tesis girişindeki sayaçtan izlenen bir hacim olarak ele almayız. Dört soruya yanıt ararız:

1. Su nerede kullanılıyor?
2. Hangi kullanım gerçekten gerekli?
3. Nerede kayıp oluşuyor?
4. Hangi akımlar güvenli biçimde yeniden değerlendirilebilir?

Amaç tek bir teknoloji önermek değildir. Amaç, bir sanayi kuruluşunun su verimliliği fırsatlarını sistematik biçimde nasıl bulacağını ve önceliklendireceğini öğrenmektir.

Su stresinin arttığı ya da arzın mevsimsel değiştiği bölgelerde bu bakış işletme dayanıklılığı için daha da önemlidir. Bir tesis bugün suya erişebiliyor olabilir. Üretim artışı, yeni kullanıcılar, kurak dönemler veya kalite sorunları aynı kaynağı gelecekte daha kırılgan hale getirebilir. Su verimliliği bu yüzden bugünkü faturayı azaltmanın yanında gelecekteki üretim riskini de azaltan bir hazırlık aracıdır.

Su verimliliğinin tanımı Türkiye'de Su Verimliliği Yönetmeliği'nde de yer alır: bir ürünün veya hizmetin üretiminde en az miktarda su kullanımı ya da aynı miktarda su ile daha fazla ürün üretilmesi.

2. Su azaltma hiyerarşisi: azalt, ikame et, yeniden kullan

İyi bir programda çözümlerin sırası önemlidir. Yararlı karar hiyerarşisi üç basamaklıdır. ISO 46001 su verimliliği yönetim sistemi standardı da yaklaşımını aynı üç kavramla (azaltma, ikame etme, yeniden kullanma) çerçeveler.

Basamak	Temel soru	Örnek
1. Azalt	Bu su kullanımına gerçekten ihtiyaç var mı? Mevcut kullanım azaltılabilir mi?	Kaçak giderme, temizlik yöntemini değiştirme, proses kontrolünü iyileştirme
2. İkame et (uygun olduğunda)	Kullanımın gerektirdiği kaliteye daha uygun bir kaynak var mı?	İçme suyu kalitesi gerekmeyen işte mevzuata ve kalite ölçütlerine uygun geri kazanılmış su veya yağmur suyu
3. Yeniden kullan	Su sistem içinde tekrar kullanılabilir ya da geri kazanılabilir mi?	Kondensat dönüşü, kademeli durulama, arıtma sonrası geri kazanım

Sıralamanın pratik değeri yanlış yatırım riskini azaltmasıdır:

- Gereksiz bir kullanım proses değişikliğiyle ortadan kalkabiliyorken önce pahalı bir arıtma sistemi kurmak ekonomik olmayabilir.
- Yüksek kaliteli geri kazanılmış su üretip bunu düşük kalite gerektiren bir işte kullanmak kaynak israfıdır.

Bu nedenle teknoloji seçimi çözüm sürecinin başlangıcı değil, ihtiyacın ve kalite gereğinin tanımlanmasından sonraki aşamadır.

> **Dikkat:** Hiyerarşi bir zorunluluk sırası değil, karar sırasıdır. Bir tesiste üç basamak aynı anda ilerleyebilir. Ancak her yeni yatırım için önce ilk basamağın tüketilip tüketilmediği sorulur.

3. Su kullanım noktalarını haritalamak

Su verimliliği çalışması kullanım noktalarını haritalamakla başlar.

Grup	Tipik kullanıcılar
Doğrudan proses suyu	Yıkama, durulama, karışım, ürün formülasyonu, üretim hattındaki diğer işlemler
Yardımcı işletmeler	Soğutma kuleleri, kazan besi suyu, buhar sistemleri, ısı değiştiriciler
Temizlik ve hijyen	CIP sistemleri, zemin yıkama, araç yıkama
Diğer	Laboratuvar, personel alanları (duş, tuvalet, mutfak)

Haritalamada yalnızca her noktaya kaç metreküp gittiğine bakılmaz. Bu kullanım için hangi su kalitesinin gerçekten gerekli olduğu da sorulur. Bütün kullanım noktaları aynı kalitede suya ihtiyaç duymaz. Bu yüzden su kullanım haritası iki katmanlıdır:

- **Miktar katmanı:** Toplam tüketim hangi proseslerde yoğunlaşıyor?
- **Kalite katmanı:** Hangi kullanımlar daha düşük kaliteli ama uygun bir alternatif kaynakla karşılanabilir?

Haritalama sırasında her kullanım noktasının **sahibi** de belirlenir. Soğutma suyu yardımcı işletmelerin, proses yıkamaları üretim ekibinin, temizlik suyu hijyen veya operasyon ekibinin sorumluluğunda olabilir. Miktarı, kalite gereği ve operasyon sorumlusu belli olan her ana kullanım noktasında iyileştirme önerilerinin uygulanması ve izlenmesi kolaylaşır. Böylece su verisi yalnızca çevre biriminin tuttuğu bir tablo olmaktan çıkar.

4. Temizlik ve evsel kullanım: düşük maliyetli fırsatlar

Bazı tesislerde en hızlı kazanımlar büyük yatırımlardan değil, temizlik ve günlük kullanım alışkanlıklarından gelir. Fark edilmeden sürekli su tüketen tipik durumlar:

- Sürekli açık bırakılan hortumlar
- Gereksiz yüksek debi
- Standartlaştırılmamış yıkama süreleri
- Arızalı rezervuarlar
- Uygunsuz temizlik sıralaması

Çözüm personele yalnızca daha az su kullanın demek değildir. Aşağıdaki önlemler davranış değişikliğiyle birlikte düşünülür:

- Doğru nozullar
- Basınç kontrollü sistemler
- Kuru veya mekanik ön temizlik
- Uygun otomasyon (örneğin fotoselli armatürler)
- Düzenli bakım

Suyu kirliliği taşımak için gereksiz kullanmayın. Önce kuru süpürme, kazıma, vakumlama veya mekanik ön temizlikle katı yük azaltılırsa sonraki ıslak temizliğin su ihtiyacı da düşer. Bu yaklaşım atıksudaki kirletici yükü de etkileyebilir. Temizlik optimizasyonu bu nedenle yalnızca debiyi kısmak değil, temizlik sırasını ve yöntemini yeniden tasarlamaktır.

> **Dikkat:** Temizlik kalitesi, hijyen ve iş güvenliği hiçbir zaman su azaltımına feda edilmez. Hedef, gerekli kaliteyi koruyarak yöntemi iyileştirmektir. Düşük maliyetli önlemler daha büyük geri kazanım yatırımlarından önce incelenir.

5. Ölçüm, alt sayaçlar ve doğru baz durum

Ölçülmeyen suyu yönetmek zordur. Tesis girişindeki ana sayaç toplam çekimi gösterir ama suyun hangi proseste kullanıldığını ve nerede kayıp oluştuğunu açıklamaz. Bu nedenle **alt sayaçlandırma** su verimliliğinin temel araçlarından biridir. Ana prosesler, soğutma, kazan dairesi, arıtma, temizlik ve diğer büyük kullanım noktaları ayrı izlenince anormallikler görünür olur. Örneğin üretim yokken gece devam eden yüksek debi kaçak ya da gereksiz sürekli akış işareti olabilir.

5.1 Sayaç kapsamı ve su dengesi

Aşağıdaki eğitim örneğinde bir ayın ana sayaç ve alt sayaç verisi karşılaştırılır.

Kalem	Değer (m³/ay)
Ana sayaç (toplam çekim)	10.000
Soğutma sistemi alt sayacı	2.900
Kazan dairesi alt sayacı	1.800
Proses yıkama alt sayacı	3.100
Temizlik alt sayacı	900
Alt sayaçların toplamı	8.700
Açıklanamayan fark	10.000 − 8.700 = 1.300

```
Sayaç kapsama oranı = 8.700 ÷ 10.000 = %87
Açıklanamayan pay   = 1.300 ÷ 10.000 = %13
```

Açıklanamayan pay sayaç hatasından, ölçülmeyen kullanımdan ya da kaçaktan gelebilir. Bu fark izlenir ve zamanla küçültülür.

5.2 Baz durum

İyileştirme öncesi ve sonrası toplam suyu karşılaştırmak her zaman yeterli değildir. Üretim miktarı, ürün karması, çalışma saati veya mevsim değişmiş olabilir. Bu nedenle toplam tüketimin yanında ton ürün başına su gibi normalize göstergeler izlenir. İyi bir baz durum yalnızca geçen ay kaç metreküp kullandığımızı değil, bu tüketimin hangi üretim ve işletme koşullarında gerçekleştiğini de yanıtlar.

5.3 Sayaç seçimi ve veri kalitesi

- Çok küçük debileri göremeyen sayaç kaçak takibinde yetersiz kalır.
- Yanlış yerleştirilen sayaç proses performansını açıklamaz.
- Ölçüm planı hazırlanırken hangi kararın hangi veriye dayanacağı sorulur.
- Sayaçlar periyodik olarak kontrol edilir, veri kaybı izlenir ve ölçümler üretim kayıtlarıyla zaman açısından eşleştirilir.

İyi veri altyapısı su verimliliği yatırımının kendisinden önce gelen temel kapasitedir.

6. Proses bazlı izleme ve kullanım amacına uygun su kalitesi

Proses bazlı izleme suyu miktar ve kalite birlikte ele alır. Her ana akım için suyun nereden geldiği, proseste ne olduğu, hangi kalitede çıktığı ve yeniden kullanım potansiyeli değerlendirilir.

Ana ilke **kullanım amacına uygunluktur** (İngilizcede fit-for-purpose): her kullanım için gereken kaliteyi belirle ve o kaliteyi karşılayan en uygun kaynağı kullan.

Kullanım	Gereken kalite düzeyi (örnek)
Ürünle doğrudan temas eden kritik proses	Yüksek
Kazan besi suyu	Yüksek, şartlandırılmış
Soğutma kulesi makyaj suyu	Orta, sertlik ve iletkenlik kontrollü
Zemin yıkama, araç yıkama	Düşük

Tabloda düzeyler yönlendiricidir. Gerçek kalite kriterleri proses, ürün ve mevzuata göre belirlenir.

Kademeli geri kullanım basit bir örnektir: son durulama suyu daha kirli bir önceki yıkama kademesinde kullanılır. Ancak kalite eşleştirmesi yapılmadan yalnızca su tasarrufu için akımları birbirine bağlamak doğru değildir. Ürün kalitesi, hijyen, korozyon, birikim, proses güvenilirliği ve mevzuat koşulları birlikte değerlendirilir. Su akış şeması bu yüzden yalnızca hacimlerin değil, kalite gerekliliklerinin de haritasıdır.

Kaynakta ayırma. Düşük kirlenmiş akımlar yüksek kirlenmiş akımlardan ayrı tutulabiliyorsa geri kullanım daha kolay olur ve daha az arıtma gerekir. Suyun prosesten çıktıktan sonra tek bir atıksu havuzunda kaybedilmemesi gerekir. Temiz akımı ne kadar erken ayırırsak yeniden kullanım seçenekleri o kadar esnek olur. Bazı tesislerde kaynakta ayırma, geri kazanım teknolojisinden önce düşünülmesi gereken tasarım kararıdır.

7. Kayıp-kaçak ve gereksiz sürekli akışlar

Kayıp-kaçak yönetimi çoğu tesiste en hızlı ve en düşük maliyetli iyileştirme alanlarından biridir. Zaman içinde önemli hacim oluşturan tipik kaynaklar:

- Damlayan vanalar
- Arızalı şamandıralar
- Taşan depolar
- Açık unutulan baypas hatları
- Yer altı boru kaçakları
- Üretim dışında devam eden sürekli akışlar

Bulma yöntemleri birlikte kullanılır: saha turu, gece debisi analizi, basınç takibi, bakım kayıtları ve operatör bildirimleri.

7.1 Gece debisi analizi: sayısal örnek

Üretimin durduğu gece saatlerinde ana sayaçtan en düşük debi ölçülür. Bu değerden meşru sürekli kullanım çıkarılır, kalan fark kaçak göstergesidir.

Adım	Değer	Birim	İşlem
Ölçülen en düşük gece debisi	3,2	m³/h	Sayaç verisi
Meşru sürekli kullanım	0,4	m³/h	Bilinen kullanımlar (örneğin sürekli çalışan bir soğutma devresi)
Tahmini kaçak	2,8	m³/h	3,2 − 0,4
Onarım sonrası en düşük gece debisi	0,5	m³/h	Sayaç verisi
Doğrulanmış azalma	2,7	m³/h	3,2 − 0,5

Yıllık su kazancı	23.652	m³/yıl	2,7 m³/h × 8.760 h/yıl

```
2,7 m³/h × 8.760 h/yıl = 23.652 m³/yıl
```

Kaçağın sürekli aktığı ve debisinin sabit olduğu varsayılmıştır. Gerçek sistemlerde basınç değiştikçe kaçak debisi de değişir.

Asıl önemli nokta doğrulamadır. Kaçağın onarıldığını görmek teknik olarak yeterli değildir. İlgili alanın tüketim profilinin sayaç verisinde gerçekten düştüğü izlenir. Böylece bakım faaliyeti ölçülebilir bir su performansı sonucuna bağlanır. Kayıp-kaçak yönetimi ayrıca çalışanların küçük anormallikleri bildirdiği bir işletme kültürü gerektirir.

7.2 Kaçağın parasal etkisi

Kaçağın maliyeti yalnızca kaybolan suyun bedeli değildir:

- Kaçak sıcak su ya da şartlandırılmış proses suyuysa onunla birlikte enerji ve kimyasal da kaybolur.
- Basınçlı hatta kaçak varsa pompalar gereksiz çalışır ve ek enerji tüketir.

Bakım ekiplerine su kaybını yalnızca çevresel gösterge olarak değil, toplam proses kaybı olarak göstermek davranışı güçlendirir. Bu maliyetlerin hesabı 12. bölümdedir.

8. Kapalı devre, geri kazanım ve üç sanayi örneği

Kapalı devre, suyun aynı sistem içinde tekrar dolaştırılmasıdır. **Bu, sistemin hiç taze suya ihtiyaç duymadığı anlamına gelmez.** Buharlaşma, blöf, kalite bozulması, sızıntı veya birikim nedeniyle ilave su gerekir. Aşağıdaki üç örnek yaygındır.

8.1 Örnek 1: Soğutma sistemleri

Açık ve kontrolsüz su kullanımı yerine devir daim, uygun izleme ve blöf yönetimi değerlendirilir. Blöf akımının kalitesi uygunsa uygun arıtma sonrası başka bir kullanım için geri kazanım incelenebilir.

Bir soğutma kulesinde makyaj suyu buharlaşma ve blöf toplamıdır (sürüklenme kaybı ihmal edilmiştir):

```
Blöf (B) = E ÷ (C − 1)
Makyaj suyu (M) = E + B
E: buharlaşma kaybı (m³/gün), C: deriştirme devri (boyutsuz)
```

Eğitim verisi: E = 120 m³/gün.

Deriştirme devri (C)	Blöf (m³/gün)	Makyaj suyu (m³/gün)
3	120 ÷ (3 − 1) = 60	120 + 60 = 180
5	120 ÷ (5 − 1) = 30	120 + 30 = 150
Fark	30	30

Devri 3'ten 5'e çıkarmak günde 30 m³ makyaj suyu ve aynı hacimde deşarj suyu azaltır. Yılda 330 gün çalışan bir kulede bu 9.900 m³/yıldır. Devir sınırsız artırılamaz. Sertlik, korozyon ve kireçlenme riski ile arıtma programı sınırı belirler. Makyaj suyu buharlaşma kaybından (E) hiçbir zaman küçük olamaz, yani kapalı devre sıfır taze su demek değildir.

8.2 Örnek 2: Buhar sistemi ve kondensat dönüşü

Proses sonrası oluşan sıcak kondensatın uygun koşullarda sisteme geri döndürülmesi yalnızca suyu değil, kondensatın taşıdığı ısıyı da değerlendirir.

Eğitim verisi: Buhar üretimi 5 t/h, yılda 6.000 saat. Kondensat dönüş oranı %40'tan %70'e çıkarılıyor. Kondensat 90 °C, ilave (makyaj) su 15 °C. Kazan verimi %90, yakıt doğal gaz. 1 t kondensat yaklaşık 1 m³ kabul edilmiştir.

Adım	İşlem	Sonuç
Azalan makyaj suyu	5 t/h × (0,70 − 0,40) × 6.000 h/yıl	9.000 m³/yıl
Özgül ısı farkı	4,186 kJ/(kg·K) × (90 − 15) K	313,95 kJ/kg
Isı içeriği farkı	313,95 kJ/kg × 1.000 kg/m³ ÷ 3.600 kJ/kWh	87,21 kWh/m³
Yıllık yakıt tasarrufu	9.000 m³/yıl × 87,21 kWh/m³ ÷ 0,90	yaklaşık 872.083 kWh/yıl

Bu örnekte ısı kazancı su kazancından daha değerlidir (12. bölüme bakın). Ders 15'teki yöntemle karbon etkisi de görülür:

```
872.083,3 kWh × 3,6 MJ/kWh = 3.139.500 MJ = 3,1395 TJ
3,1395 TJ × 56.100 kg CO₂/TJ = 176.125,95 kg CO₂ = 176,13 tCO₂
```

Yalnızca CO_2 hesaplanmıştır. CH_4 ve N_2O payı küçüktür ve burada ihmal edilmiştir. Flaş buhar, hat kayıpları ve kondensat kalitesi gibi etkiler basitleştirme nedeniyle dışarıda bırakılmıştır.

8.3 Örnek 3: Yıkama ve durulama

En temiz son durulama suyunun bir önceki yıkama kademesinde kullanılması taze su ihtiyacını azaltır. Kademeli ters akışlı durulama ile gereken su miktarı kabaca şöyle hesaplanır.

Model: Ürünle her kademeye q kadar kirli sıvı (taşınan çözelti) geçer. Son kademede kirletici derişimin 1000 kat düşmesi istenir (seyreltme oranı D = 1000). Kademeler ideal karışımlı, q sabittir. Gereken durulama suyu Q = r × q olmak üzere n kademe için $D = 1 + r + r^2 + ... + r^n$ bağıntısı geçerlidir.

Eğitim verisi: q = 0,05 m³/h.

Kademe sayısı (n)	r = Q ÷ q	Gereken taze su Q (m³/h)	Tek kademeye göre azalma
1	999,0	49,95	Referans
2	31,11	1,56	%96,9
3	9,64	0,48	%99,0

Daha yüksek kalite gerektiğinde filtrasyon, membran, iyon değişimi veya proses özel arıtma çözümleri değerlendirilebilir.

8.4 Geri kazanım projesi nasıl seçilir

Geri kazanım projesi yalnızca kaç metreküp su kazanırım sorusuyla seçilmez. Şunlar da karara dahildir:

- Ek enerji ihtiyacı
- Kimyasal tüketimi
- Konsantre veya çamur oluşumu
- Bakım yükü
- Ürün kalitesi
- İşletme güvenilirliği

En iyi çözüm toplam kaynak kullanımını ve operasyonel riski birlikte iyileştiren çözümdür.

En iyi geri kullanım fırsatı çoğu zaman suyun çıktığı noktaya yakın olan ve benzer kalite gerektiren kullanımdır. Akımı uzun mesafe taşımak, çok ileri arıtmak veya büyük depolama yapmak gerekmiyorsa sistem daha basit olur. Prosesin hassas olduğu durumlarda küçük kalite dalgalanmaları bile ürün veya ekipman riski yaratabilir. Pilot uygulama, kalite izleme ve kademeli devreye alma bu yüzden önemli güvenlik adımlarıdır.

> **Dikkat: Üç örneğin ortak dersi.** Soğutmada makyaj suyu sıfıra inmez, kondensatta asıl kazanç çoğu zaman ısıdır, durulamada kademe sayısı etkiyi büyük ölçüde değiştirir. Modeller yön gösterir, gerçek değerler tesis ölçümüyle doğrulanır.

9. Yağmur suyu, gri su ve arıtılmış atıksuyu doğru adlandırmak

Alternatif su kaynaklarında terminoloji önemlidir. Doğru adlandırma doğru kalite kriterini ve doğru kullanım senaryosunu seçmeye yardımcı olur.

Kavram	Tanım	Sanayide dikkat
Yağmur suyu hasadı	Geçirimsiz yüzeylerden toplanan yağışın depolanarak uygun kullanımlarda değerlendirilmesi	Kalite, depolama kapasitesi, yağış rejimi ve mevzuat koşulları kullanım alanını belirler
Gri su	Evsel atıksuyun siyah suyu (klozet) içermeyen, daha az kirlenmiş kısmı (duş, lavabo, küvet, mutfak, çamaşır ve bulaşık makinesi)	Uygun arıtma sonrası belirli kullanımlarda değerlendirilebilir
Proses	Üretim proseslerinden çıkan atıksu	Gri su diye adlandırılmaz

atıksuyu		
Arıtılmış atıksu	Uygun arıtma sonrası yeniden kullanıma uygun hale getirilmiş atıksu	Kalite kriteri kullanım amacına göre belirlenir
Geri kazanılmış proses suyu	Proses akımından arıtılarak geri kazanılan su	Kaynak akımı ve kalitesi ile tanımlanır

Gri su, su ayak izindeki gri su göstergesi değildir. Su ayak izi yaklaşımında gri su ayak izi, kirleticiyi seyreltmek için gereken su hacmini ifade eder (ISO 14046, Ders 7). Bu materyalde gri su, yukarıdaki evsel kavramı anlatır. Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği'nin 2022 değişikliğinde de gri su, klozet dışı evsel atıksu olarak tanımlanmıştır.

Endüstriyel proseslerden gelen akımları genel olarak gri su diye adlandırmak doğru değildir. Bir tekstil durulama akımıyla personel duşundan gelen gri su aynı kavram değildir.

Su Verimliliği Yönetmeliği geleneksel olmayan su kaynakları kavramını atık sular, yağmur suyu, gri su, acı su ve deniz suyunu kapsayacak biçimde tanımlar. Tarım ve Orman Bakanlığı Su Yönetimi Genel Müdürlüğü'nün Ekim 2024 tarihli bilgilendirmesinde de gri su, arıtılmış atıksu ve yağmur suyu kavramları bu ayrımla açıklanır.

Süreklilik ve eşzamanlılık. Bir su kaynağının teorik olarak mevcut olması her an kullanılabilir olduğu anlamına gelmez:

- Yağışın mevsimselliği üretimin su talebiyle aynı döneme denk gelmeyebilir.
- Geri kazanılmış suyun kullanım noktası sürekli değilse dengeleme tankı gerekebilir.
- Depolama süresi boyunca kalite değişebilir.

Alternatif kaynakları değerlendirirken miktar kadar süreklilik ve eşzamanlılık da önemlidir.

10. Spesifik su tüketimi, KPI ve iyileştirmenin doğrulanması

Toplam su tüketimi önemli bir göstergedir ama üretim değişiyorsa performansı tek başına açıklamaz. Bu nedenle **spesifik su tüketimi** kullanılır. Sektöre göre ton ürün başına metreküp, birim ürün başına litre veya proses saati başına su gibi göstergeler seçilir. Amaç, aynı üretim koşullarını mümkün olduğunca karşılaştırılabilir hale getirmektir.

```
Spesifik su tüketimi (m³/t) = Toplam su tüketimi (m³) ÷ Üretim (t)
```

10.1 Sayısal örnek: toplam ve spesifik tüketim

Eğitim verisi: baz yıl 40.000 t üretim ve 120.000 m³ su.

Durum	Üretim (t)	Su (m³)	Toplam su değişimi	Spesifik tüketim (m³/t)	Spesifik değişim
Baz yıl	40.000	120.000		3,000	
A: üretim düştü	32.000	108.000	%10,0 azalma	3,375	%12,5 artış
B: üretim yükseldi	48.000	120.000	Değişim yok	2,500	%16,7 azalma

Durum A'da toplam tüketim yüzde 10 düşmüş görünür. Oysa üretim yüzde 20 düşmüştür ve verimlilik kötüleşmiştir. Durum B'de toplam tüketim sabit kalmış ama üretim yüzde 20 artmıştır ve verimlilik belirgin iyileşmiştir.

10.2 Doğrulama döngüsü

İyileştirmeyi doğrulamak için basit bir döngü kurulur:

1. Baz durumu belirle.
2. Müdahaleyi uygula.
3. Sonucu ölç.
4. Üretim ve işletme koşullarındaki değişiklikleri dikkate al.
5. Performansı doğrula.

10.3 Tamamlayıcı göstergeler

Tek bir KPI yerine tamamlayıcı göstergeler kullanılabilir:

- Yeniden kullanım oranı
- Sayaç kapsama oranı
- Ana proseslerin spesifik tüketimi
- Kaçak olaylarının kapanma süresi

- Geri kazanılan su miktarı

İyi KPI ölçülebilir, sorumlusu belli ve karar almaya yarayan göstergedir. Aşırı sayıda KPI de yararlı değildir. Yönetimin karar vereceği birkaç ana gösterge ile teknik ekiplerin izleyeceği ayrıntılı göstergeler ayrılır. Örneğin üst yönetim toplam ve spesifik su tüketimini izlerken yardımcı işletmeler soğutma kulesi makyaj suyunu veya kazan sistemi kondensat dönüş oranını takip eder.

11. Türkiye'de su verimliliği yönetim çerçevesi

Türkiye'de su verimliliği artık yalnızca gönüllü bir iyi uygulama başlığı değildir. Bu bölümde çerçeve beş başlıkta özetlenir. Amaç mevzuat ayrıntılarını ezberlemek değil, su kullanımını ölçen, hedefleyen ve sürekli iyileştiren bir sistemin Türkiye'de açık bir yönetim çerçevesine sahip olduğunu bilmektir.

11.1 Su Verimliliği Yönetmeliği

Başlık	İçerik
Künye	*Su Verimliliği Yönetmeliği*, Tarım ve Orman Bakanlığı, Resmî Gazete 27 Aralık 2024, sayı 32765. Yayımı tarihinde yürürlüğe girmiştir
Kapsam	Su verimliliği sisteminin kurulması, izlenmesi ve belgelendirilmesi ile il planlarının hazırlanması. Kentsel, endüstriyel ve tarımsal faaliyetleri kapsar
Belge düzeyleri	Mavi (sistem kuran tüm yükümlülere), Yeşil (belirlenen yükümlülere belirli süre içinde zorunlu), Turkuaz (gönüllü)
Sanayi yükümlülüğü	Yönetmeliğin ekinde tanımlı NACE kodlarında faaliyet gösteren ve çalışan sayısı 49'un üzerinde (yani 50 ve üzeri) olan işletmeler sistem kurma ve belge başvurusu yükümlüsüdür. Daha az çalışanı olan işletmeler gönüllü başvurabilir
Yeşil belge süresi	Ek-2'deki NACE kodlu endüstriyel faaliyetler için sistem kurulduktan sonra en fazla beş yıl. Organize sanayi bölgeleri ve serbest bölgeler de yeşil belge yükümlülüğü kapsamındadır
Başvuru	Bakanlığın çevrim içi sistemi üzerinden yapılır
Rehberler	Endüstriyel, kentsel ve tarımsal su verimliliği sistem kurulumu ve belgelendirme kılavuzları 12 Ocak 2026'da Bakanlık tarafından duyurulmuştur. Sektörel su verimliliği rehber dokümanları serisi de yayımlanmaktadır

Yönetmelik kapsamındaki sistem kurma süreci dört aşamalıdır: personel görevlendirme, plan hazırlama, eğitim ve uygulama-izleme-raporlama. Beş yıllık uygulama takvimini içeren plan Bakanlık onayına sunulur.

> **Dikkat: Kapsam kontrolü tekrarlanır.** Mevzuat ve belge çerçevesi zamanla güncellenebilir. Kuruluş kendi NACE kodunu, çalışan sayısını ve güncel kılavuzu kontrol eder. NACE sınıflaması, tesis yapısı veya çalışan sayısı değiştiğinde yükümlülük yeniden değerlendirilir. Sistem kurma süresi gibi takvim bilgileri için güncel Ek-1 ve kılavuz resmî kaynaktan (suverimliligi.gov.tr) doğrulanmalıdır.

Belge tek başına sonuç olmamalıdır. Asıl değer, sistem kapsamında oluşturulan ölçüm, hedef, eylem planı ve izleme disiplininin gerçek su performansını iyileştirmesidir. Belgelendirme bu yönetim yaklaşımının kurumsallaşmasına yardımcı olan araçlardan biridir.

11.2 Kurumlar ve ilgili mevzuat haritası

Konu	Kurum veya belge	Not
Su verimliliği politikası ve belgelendirme	Tarım ve Orman Bakanlığı, Su Yönetimi Genel Müdürlüğü	Yönetmelik, kılavuzlar ve suverimliligi.gov.tr portalı
Ulusal yol haritası	*Değişen İklime Uyum Çerçevesinde Su Verimliliği Strateji Belgesi ve Eylem Planı (2023-2033)*	Cumhurbaşkanlığı Genelgesi ile duyurulmuştur (Resmî Gazete 4 Mayıs 2023)
Su kaynaklarının geliştirilmesi ve tahsisi	Devlet Su İşleri (DSİ) Genel Müdürlüğü	Tarım ve Orman Bakanlığı'na bağlı kuruluştur. Sanayi için yüzey ve yeraltı suyu temini ve belgeleri bu alandadır
Atıksu deşarjı	*Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği* (Resmî Gazete 31 Aralık 2004, sayı 25687)	Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı. 17 Aralık 2022 değişikliği geri kullanım ve gri su tanımını getirmiştir. 23 Ekim 2025'te yeniden değiştirilmiştir
Kentsel atıksu	*Kentsel Atıksu Arıtımı Yönetmeliği* (Resmî	Kentsel arıtma yükümlülükleri. Sanayi kentsel şebekeye deşarj ediyorsa

	Gazete 8 Ocak 2006, sayı 26047)	ilgili idare şartları da geçerlidir
Organize sanayi bölgeleri	*Organize Sanayi Bölgeleri Kanunu* (4562) ve OSB uygulama yönetmeliği	OSB'ler su verimliliği yönetmeliğinde yeşil belge yükümlüsüdür. Atıksu ve deşarj koşulları OSB yönetimince de düzenlenir
Yağmur suyu ve gri su	İmar ve yapı mevzuatı ile su kirliliği mevzuatı	Yağmur suyu toplama hükümleri imar mevzuatında yer alabilir. Güncel metin tesis için ayrıca kontrol edilmelidir
Sanayide en iyi teknikler	*Mevcut En İyi Teknikler Tebliğleri* (Resmî Gazete 30 Kasım 2025, sayı 33093)	Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı. Kimya, enerji, metal, mineral, atık ve diğer üretim faaliyetleri gibi sektörler için yayımlanmıştır
İklim	*İklim Kanunu* (7552, Resmî Gazete 9 Temmuz 2025, sayı 32951)	Emisyon ticaret sistemi ve uyum planlamasını düzenler. Su, uyum planlamasında ele alınan risk alanlarından biridir

> **Dikkat: İki bakanlığın rolü farklıdır.** Su verimliliği sistemi ve belgelendirme Tarım ve Orman Bakanlığı'nın alanındadır. Atıksu deşarjı, arıtma ve en iyi teknikler Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı'nın alanındadır. Bir tesis çoğu zaman ikisine de tabidir.

11.3 Standartlar ve en iyi teknikler (BAT)

ISO 46001. *ISO 46001:2019 Water efficiency management systems, Requirements with guidance for use* su verimliliği yönetim sistemi standardıdır. Gönüllüdür, azaltma, ikame etme ve yeniden kullanma yaklaşımına dayanır ve her ölçekte kuruluş için geçerlidir. Standart 2024'te *Amd 1:2024 Climate action changes* değişikliği ile güncellenmiştir. Standardın ikinci edisyonu ISO/TC 224 bünyesinde geliştirme aşamasındadır ve yayımlanana kadar 2019 sürümü (Amd 1:2024 ile) geçerlidir.

AB BAT sonuçları ve BREF belgeleri. Avrupa Birliği Sanayi Emisyonları Direktifi (2010/75/EU) kapsamında sektörel BAT sonuçları yayımlanır. Su verimliliği açısından örnekler:

Belge	Su ile ilgili içerik
Food, Drink and Milk Industries BAT sonuçları, (AB) 2019/2031	Su tüketimini azaltma teknikleri, kuru temizlik, su akımlarının ayrılması, geri kullanım
Textiles Industry BAT sonuçları, (AB) 2022/2508	Su yönetim planı, su akımlarının ayrılması, yeniden kullanım ve geri dönüşüm. Süreç bazlı gösterge su tüketimi aralıkları içerir (örneğin sürekli boyamada 2 ile 16 m³/t, kesikli kumaş boyamada 10 ile 150 m³/t)
Common Waste Water and Waste Gas Treatment in the Chemical Sector, (AB) 2016/902	Kimya sektöründe atıksu yönetimi ve arıtma
Industrial Cooling Systems BREF (2001)	Soğutma sistemlerinde su ve enerji tüketimi

Bu değerler Türkiye'de otomatik olarak bağlayıcı değildir. Kendi sektörünüz için hedef belirlerken kıyas olarak kullanılır. Türkiye'nin yerli Mevcut En İyi Teknikler Tebliğleri de 2025'te yayımlanmıştır (bir önceki tablo).

11.4 Güncel durum (Eylül 2026)

- Su Verimliliği Yönetmeliği yürürlüktedir. Belgelendirme kılavuzları Ocak 2026'da yayımlanmıştır.
- ISO 46001 ikinci edisyonu henüz yayımlanmamıştır. Gelişmeler ISO sayfasından izlenir.
- Kılavuz ve Ek listeleri güncellenebilir. Yükümlülük kararı vermeden önce Bakanlık portalındaki güncel metin esas alınır.

12. Suyun gerçek maliyeti ve yatırım önceliklendirme

Sık yapılan hata, kazancı yalnızca satın alınan ya da çekilen suyun birim fiyatıyla hesaplamaktır. Tesis açısından suyun gerçek maliyeti daha geniştir:

- Pompalama
- Şartlandırma ve filtrasyon
- Isıtma veya soğutma
- Kimyasal kullanımı
- Proses içinde taşıma
- Atıksu arıtımı, deşarj ve çamur yönetimi

Bir metreküp suyu kullanmamak yalnızca su bedelini değil, suya bağlı enerji ve arıtma maliyetlerini de önler.

12.1 Gerçek su maliyeti: sayısal örnek

Aşağıdaki birim fiyatlar eğitim varsayımıdır, güncel tarife değildir.

Kalem	Hesap	TL/m³
Su temini (birim fiyat)	Varsayım	30,00
Pompalama	0,50 kWh/m³ × 3,50 TL/kWh	1,75
Şartlandırma ve filtrasyon	Varsayım	4,00
Atıksu deşarjı ve arıtma	Varsayım	18,00
Toplam (soğuk kullanım)		**53,75**
Isıtma (25 K)	4,186 kJ/(kg·K) × 1.000 kg × 25 K ÷ 3.600 = 29,07 kWh. 29,07 ÷ 0,90 = 32,30 kWh yakıt. 32,30 × 1,80 TL/kWh	58,14
Toplam (ısıtılan kullanım)	53,75 + 58,14	**111,89**

Yalnızca birim fiyata bakan hesap metreküp başına 30,00 TL görür. Soğuk kullanımda gerçek maliyet bunun 1,79 katı, ısıtılan kullanımda 3,73 katıdır.

12.2 Yatırım önceliklendirme: sayısal örnek

İyileştirme fırsatları dört gruba ayrılır:

1. Düşük maliyetli önlemler: davranış, bakım, kaçak azaltımı
2. Proses optimizasyonu ve kontrol iyileştirmeleri
3. Ekipman değişiklikleri ve kapalı devre uygulamaları
4. Arıtma ve geri kazanım yatırımları

Her seçenek teknik uygunluk, ürün kalitesi, iş güvenliği, mevzuat, ilk yatırım, işletme gideri, su ve enerji kazancı, bakım yükü ve operasyonel risk açısından değerlendirilir. Böylece en pahalı teknoloji değil, sorunun bulunduğu noktaya en uygun çözüm seçilir.

Aşağıdaki tablo bu bölümdeki eğitim örneklerini kullanır. Basit geri ödeme = yatırım ÷ yıllık net kazanç.

Fırsat	Grup	Yatırım (TL)	Yıllık su kazancı (m³)	Yıllık net kazanç, yalnızca birim fiyat (TL)	Geri ödeme (yıl)	Yıllık net kazanç, gerçek maliyet (TL)	Geri ödeme (yıl)
Kaçak onarımı (bölüm 7)	1	150.000	23.652	709.560	0,21	1.271.295	0,12
Nozul ve hortum düzenlemesi	1	40.000	6.000	180.000	0,22	322.500	0,12
Soğutma kulesi devri 3'ten 5'e (bölüm 8.1)	2	180.000	9.900	297.000	0,61	532.125	0,34
Kondensat dönüşü (bölüm 8.2)	3	600.000	9.000	270.000	2,22	1.891.500	0,32
Arıtma ve geri kazanım	4	2.400.000	30.000	714.000	3,36	1.426.500	1,68

Hesap notları:

- Kaçak, nozul ve soğutma kulesi için gerçek maliyet 53,75 TL/m³ alınmıştır (deşarj azalması dahil).
- Kondensat dönüşünde deşarj azalmaz. Su tarafı 35,75 TL/m³ (53,75 − 18,00) ve 9.000 m³ için 321.750 TL, yakıt tarafı 872.083 kWh × 1,80 TL/kWh = 1.569.750 TL, toplam 1.891.500 TL alınmıştır. Yalnızca birim fiyat görünümünde 9.000 × 30 = 270.000 TL.
- Geri kazanım tesisinin ek işletme gideri 6,20 TL/m³ kabul edilmiştir (1,2 kWh/m³ × 3,50 TL/kWh + 2,00 TL/m³ kimyasal). Net kazançtan düşülmüştür.
- Basit geri ödeme paranın zaman değerini, bakım giderlerini ve fiyat değişimini içermez.

Sonuçlar:

- Kondensat dönüşünün geri ödemesi yalnızca birim fiyatla 2,22 yıl görünürken gerçek maliyetle 0,32 yıla düşer. Isı kazancı su kazancından büyüktür.

- Geri kazanım tesisi gerçek maliyetle bile en uzun geri ödemeli projedir (1,68 yıl). Ancak su arzı kritik bir prosesi etkiliyorsa bu proje üretim sürekliliği açısından stratejik olabilir.

12.3 Yalnızca geri ödeme yetmez

Önceliklendirmede yalnızca geri ödeme süresine bakmak her zaman doğru değildir:

- Su arzı kritik bir prosesi etkiliyorsa mali geri dönüşü uzun bir proje stratejik olabilir.
- Bir çözüm suyu azaltsa bile yüksek enerji, fazla kimyasal veya yeni bir atık sorunu yaratıyorsa yeniden değerlendirilir.

İyi su verimliliği kararı ekonomik, çevresel ve operasyonel sonuçları birlikte tartar.

13. Sürekli iyileştirme

Su verimliliğinin en güçlü yanı sürekli iyileştirmedir. Bir kez yapılan su etüdü yıllarca aynı biçimde kullanılmaz. Yeni ürün, yeni hat, kapasite artışı, farklı hammadde veya yeni bir su kaynağı tesisin su profilini değiştirebilir. Bu nedenle su haritası, sayaç yapısı, hedefler ve iyileştirme listesi düzenli gözden geçirilir. Böylece su verimliliği tek seferlik bir proje değil, işletmenin normal performans yönetiminin parçası olur.

Ders boyunca izlenen mantık tek zincirdir:

```
Neden yönetilmeli → su verimliliği nedir → azalt, ikame et, yeniden kullan → haritala → ölç ve izle → kaliteyi eşleştir → kayıp-kaçağı azalt → kapalı devre ve geri kazanım → alternatif kaynakları doğru adlandır → normalize et ve doğrula → Türkiye çerçevesini bil → gerçek maliyetle önceliklendir → sürekli iyileştir
```

14. Python ile doğrulama

Bu materyaldeki hesaplar aşağıdaki betikle yeniden üretilebilir.

```
        # Sayaç kapsamı
        ana = 10000
        alt = [2900, 1800, 3100, 900]
        print(sum(alt), round(sum(alt) / ana * 100, 1), ana - sum(alt))

        # Gece debisi
        print(round((3.2 - 0.5) * 8760))

        # Spesifik tüketim
        for uretim, su in [(40000, 120000), (32000, 108000), (48000, 120000)]:
            print(round(su / uretim, 3))

        # Soğutma kulesi
        E = 120
        for C in (3, 5):
            B = E / (C - 1)
            print(C, B, E + B)

        # Kondensat
        makyaj = 5 * (0.70 - 0.40) * 6000
        kwh_m3 = 4.186 * 75 * 1000 / 3600
        yakit = makyaj * kwh_m3 / 0.90
        tj = yakit * 3.6 / 1e6
        print(round(makyaj), round(kwh_m3, 2), round(yakit), round(tj * 56100, 2))

        # Ters akışlı durulama: 1 + r + ... + r^n = D
        def akis(n, D=1000, q=0.05):
            lo, hi = 1.0, 1e6
            for _ in range(200):
                r = (lo + hi) / 2
                if sum(r**j for j in range(n + 1)) > D:
                    hi = r
                else:
                    lo = r
            return round(r, 2), round(r * q, 2)
        print(akis(1), akis(2), akis(3))

        # Gerçek maliyet ve geri ödeme
        soguk = 30 + 0.5 * 3.5 + 4 + 18
        isitma = 4.186 * 1000 * 25 / 3600 / 0.90 * 1.80
        print(soguk, round(isitma, 2), round(soguk + isitma, 2))
```

Beklenen çıktılar: 8700, 87,0 ve 1300 (sayaç), 23652 (gece debisi), 3,0 / 3,375 / 2,5 (spesifik tüketim), 60 ve 180 ile 30 ve 150 (kule), 9000 ve 87,21 ve 872083 ve 176125,95 (kondensat), (999,0 ve 49,95), (31,11 ve 1,56), (9,64 ve 0,48) (durulama), 53,75 ve 58,14 ve 111,89 (maliyet).

Alıştırmalar (cevaplarıyla)

Alıştırma 1: Hata avcısı

Aşağıdaki beş cümlede hata var mı? Hataları bulun ve düzeltin.

1. Tesis girişindeki tek sayaç kaçakların yerini gösterdiği için alt sayaç gereksizdir.
2. Toplam su tüketimi yüzde 10 düştüyse verimlilik her zaman iyileşmiştir.
3. Kapalı devre soğutma sistemi hiç taze su kullanmaz.
4. Üretim atıksuyu Türkiye'de otomatik olarak gri su sayılır.
5. Su Verimliliği Yönetmeliği endüstriyel işletmelerin hepsine aynı yükümlülüğü getirir.

Cevap.

1. Hatalı. Ana sayaç toplamı gösterir, nerede kullanıldığını ve kaybın yerini göstermez. Alt sayaç gerekir.
2. Hatalı. Üretim daha fazla düştüyse spesifik tüketim artmış olabilir (bölüm 10.1, Durum A).
3. Hatalı. Buharlaşma ve blöf nedeniyle makyaj suyu gerekir.
4. Hatalı. Gri su, evsel atıksuyun klozet dışı kısmıdır. Proses akımları proses atıksuyu, arıtılmış atıksu veya geri kazanılmış proses suyudur.
5. Hatalı. Yükümlülük ekteki NACE kodlarına ve çalışan sayısına (50 ve üzeri) bağlıdır. Diğerleri gönüllü başvurabilir.

Alıştırma 2: Spesifik tüketim

Bir tesiste bir yıl 25.000 t üretimle 70.000 m³ su kullanılmıştır. Ertesi yıl 30.000 t üretimle 78.000 m³ kullanılmıştır. Toplam ve spesifik tüketim nasıl değişmiştir?

Cevap. Birinci yıl 70.000 ÷ 25.000 = 2,800 m³/t. İkinci yıl 78.000 ÷ 30.000 = 2,600 m³/t. Toplam tüketim 8.000 m³ yani yaklaşık %11,4 arttı. Spesifik tüketim 0,200 m³/t yani yaklaşık %7,1 azaldı. Verimlilik iyileşmiştir.

Alıştırma 3: Soğutma kulesi

E = 200 m³/gün olan bir kulede deriştirme devri 4'ten 6'ya çıkarılıyor. Makyaj suyu ne kadar azalır?

Cevap. C = 4 için B = 200 ÷ 3 = 66,67 m³/gün ve M = 266,67 m³/gün. C = 6 için B = 200 ÷ 5 = 40,00 m³/gün ve M = 240,00 m³/gün. Azalma 26,67 m³/gün.

Özet

- Su verimliliği tek bir ekipman ya da arıtma tesisi değildir, bir yönetim mantığıdır.
- Önce kullanım noktalarını haritala ve ölç (alt sayaç, baz durum).
- Önce azalt, uygun olduğunda ikame et, sonra yeniden kullan.
- Her kullanım için gereken kaliteyi belirle ve kaynağı buna göre seç.
- Kayıp-kaçağı gece debisiyle bul, onarım sonrası sayaçla doğrula.
- Kapalı devre sıfır taze su demek değildir. Soğutma, kondensat ve durulama örneklerinde etkiler farklı ölçülerde ve farklı kaynaklardan gelir.
- Gri su evsel bir kavramdır. Proses akımları proses atıksuyu, arıtılmış atıksu veya geri kazanılmış proses suyudur.
- Performansı spesifik tüketimle ve üretim koşullarını dikkate alarak doğrula.
- Türkiye'de Su Verimliliği Yönetmeliği (27 Aralık 2024) ile sistem kurma ve belgelendirme çerçevesi vardır. Kapsamı NACE kodu ve çalışan sayısıyla kontrol et.
- Kararı suyun gerçek maliyetiyle ve teknik, çevresel, operasyonel ölçütlerle ver. Yalnızca geri ödeme yetmez.
- Su etüdü, sayaç yapısı ve hedefler düzenli gözden geçirilir.

Bilgi kontrolü (cevaplarıyla)

1. Tesis girişindeki tek sayaç neden yeterli değildir? Toplam çekimi gösterir, ancak suyun hangi proseste kullanıldığını ve kaybın nerede oluştuğunu göstermez. Alt sayaçlar gerekir.

2. Her kullanım için içme suyu kalitesinde su gerekir mi? Hayır. Her kullanım için gereken kalite belirlenir ve o kaliteyi karşılayan en uygun kaynak seçilir (kullanım amacına uygunluk).

3. Kapalı devre sistem sıfır taze su kullanımı anlamına gelir mi? Hayır. Buharlaşma, blöf, kalite bozulması ve sızıntı nedeniyle ilave su gerekir. Örnekte makyaj suyu buharlaşma kaybından (120 m³/gün) küçük olamaz.

4. Endüstriyel proses atıksuyunu otomatik olarak gri su diye adlandırmak doğru mudur? Hayır. Gri su evsel atıksuyun klozet dışı kısmıdır. Proses akımları proses atıksuyu, arıtılmış atıksu veya geri kazanılmış proses suyudur.

5. Su azaltma hiyerarşisinin sırası nedir ve hangi standart bu yaklaşımı kullanır? Azalt, uygun olduğunda ikame et, yeniden kullan. ISO 46001 yaklaşımını bu üç kavramla çerçeveler.

6. Toplam su tüketimi yüzde 10, üretim yüzde 20 düştü. Verimlilik iyileşti mi? Hayır. Spesifik tüketim 3,000 m³/t değerinden 3,375 m³/t değerine çıkmıştır (yüzde 12,5 artış).

7. Suyun gerçek maliyeti birim fiyattan neden farklıdır? Pompalama, şartlandırma, ısıtma veya soğutma, kimyasal, atıksu arıtımı, deşarj ve çamur gibi bağlı maliyetler vardır. Örnekte soğuk kullanımda gerçek maliyet birim fiyatın 1,79 katıdır.

8. Su Verimliliği Yönetmeliği'nde endüstriyel yükümlülük kimler için doğar? Yönetmelik ekinde tanımlı NACE kodlarında faaliyet gösteren ve çalışan sayısı 50 ve üzeri olan işletmeler için. Kapsam güncel kılavuzdan kontrol edilir.

9. Kaçak onarımından sonra etki nasıl doğrulanır? İlgili alanın tüketim profilinin ve gece debisinin sayaç verisinde düştüğü izlenir.

10. Yalnızca geri ödeme süresi ne zaman yanıltıcıdır? Su arzı kritik bir prosesi etkilediğinde (strateji), ya da çözüm suyu azaltırken enerji, kimyasal veya atık yükünü artırdığında.

Anahtar kavramlar sözlüğü (TR – EN)

Türkçe	English
su verimliliği	water efficiency
su azaltma hiyerarşisi (azalt, ikame et, yeniden kullan)	water reduction hierarchy (reduce, replace, reuse)
alt sayaçlandırma	sub-metering
baz durum	baseline
spesifik su tüketimi	specific water consumption
kullanım amacına uygunluk	fit-for-purpose
kayıp-kaçak	water loss and leakage
gece debisi analizi	night flow analysis
kapalı devre	closed loop
deriştirme devri	cycles of concentration
blöf	blowdown
makyaj suyu	make-up water
kondensat dönüşü	condensate return
ters akışlı durulama	counter-current rinsing
geri kazanım	reclamation / recovery
yağmur suyu hasadı	rainwater harvesting
gri su	greywater
proses atıksuyu	process wastewater
arıtılmış atıksu	treated wastewater
geleneksel olmayan su kaynakları	non-conventional water sources
suyun gerçek maliyeti	true cost of water
basit geri ödeme süresi	simple payback period
en iyi teknikler (BAT)	best available techniques (BAT)
su verimliliği belgesi (mavi, yeşil, turkuaz)	water efficiency certificate (blue, green, turquoise)
su ayak izi	water footprint

Kaynaklar ve güncellik notu

Bilgi güncelliği Eylül 2026'dır. Mevzuat, kılavuz ve standart durumu değişebilir, karar vermeden önce resmî kaynaktan kontrol edilmelidir.

Türkiye mevzuatı ve resmî kaynaklar

- Tarım ve Orman Bakanlığı. *Su Verimliliği Yönetmeliği*. Resmî Gazete 27.12.2024, sayı 32765. https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2024/12/20241227-3.htm
- Tarım ve Orman Bakanlığı, Su Yönetimi Genel Müdürlüğü. Su Verimliliği portalı, yönetmelik sayfası ve sektörel rehber dokümanları. https://www.suverimliligi.gov.tr
- Tarım ve Orman Bakanlığı, Su Yönetimi Genel Müdürlüğü. *Su Verimliliği Belgelendirme Kılavuzları Yayımlandı* (12 Ocak 2026). https://www.tarimorman.gov.tr/SYGM/Haber/1343
- Tarım ve Orman Bakanlığı, Su Yönetimi Genel Müdürlüğü. *Geleneksel Olmayan Su Kaynaklarının Kullanım Alanları* (1 Ekim 2024). https://www.tarimorman.gov.tr/SYGM/Haber/1243
- Cumhurbaşkanlığı Genelgesi, *Su Verimliliği Strateji Belgesi ve Eylem Planı (2023-2033)*. Resmî Gazete 4 Mayıs 2023. https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2023/05/20230504-6.pdf
- Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı. *Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği*. Resmî Gazete 31.12.2004, sayı 25687 (17.12.2022 ve 23.10.2025 değişiklikleri).
- Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı. *Kentsel Atıksu Arıtımı Yönetmeliği*. Resmî Gazete 08.01.2006, sayı 26047.
- *Mevcut En İyi Teknikler Tebliğleri* (Kimya Endüstrisinde, Diğer Üretim Faaliyetlerinde ve diğer sektörel tebliğler). Resmî Gazete 30.11.2025, sayı 33093.
- *İklim Kanunu* (7552). Resmî Gazete 09.07.2025, sayı 32951.

- *Organize Sanayi Bölgeleri Kanunu* (4562).

Standartlar ve AB belgeleri

- ISO 46001:2019, Water efficiency management systems, Requirements with guidance for use, ve Amd 1:2024 Climate action changes. https://www.iso.org/standard/68286.html
- ISO 46001 ikinci edisyon çalışması (geliştirme aşamasında). https://www.iso.org/standard/92424.html
- ISO 14046:2014, Environmental management, Water footprint, Principles, requirements and guidelines.
- European Commission. Commission Implementing Decision (EU) 2019/2031 of 12 November 2019, BAT conclusions for the food, drink and milk industries.
- European Commission. Commission Implementing Decision (EU) 2022/2508 of 9 December 2022, BAT conclusions for the textiles industry.
- European Commission. Commission Implementing Decision (EU) 2016/902 of 30 May 2016, BAT conclusions for common waste water and waste gas treatment/management systems in the chemical sector.
- European Commission, JRC. Reference Document on Best Available Techniques for Industrial Cooling Systems (2001).

Hesap dayanağı

- Ders 15 materyali, doğal gaz için CO_2 emisyon faktörü 56.100 kg/TJ (IPCC 2006, Cilt 2, Tablo 2.3).
- Bu materyaldeki tüm birim fiyatlar, yatırım tutarları ve tesis verileri eğitim varsayımıdır.

ENGLISH VERSION

LESSON 8: Water Efficiency and Improvement Practices in Industry

Ders 8: Sanayide Su Verimliliği ve İyileştirme Uygulamaları

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

Profile	Description
Target audience	University students and technical and administrative staff working in industrial organizations
Scope of this material	Industrial water efficiency: mapping use points, metering, quality matching, losses and leaks, closed loop and reclamation, specific water consumption, the Turkish management framework, the true cost of water and investment prioritization
Example data	All numerical examples and unit prices in this material are training assumptions. They are not real plant data, current tariffs or sector performance values
Related lessons	Lesson 7 (ISO 14046 water footprint), Lesson 9 (life cycle assessment, product carbon footprint and EPD), Lesson 15 (natural gas emission calculation)
Currency of information	September 2026

Learning outcomes

After completing this material, the participant can:

- Explain why water is an operational issue for an industrial plant and not only an environmental one.
- Apply the water reduction hierarchy (reduce, replace where appropriate, reuse) in the right order.
- Map water use points in two layers, quantity and quality.
- Verify improvements reliably using a sub-metering structure and a baseline.
- Determine the water quality each use requires and choose a fit-for-purpose source.
- Find leaks with night flow analysis and verify the effect of repairs with meter data.
- Evaluate closed loop and reclamation options with cooling, steam and rinsing examples.
- Name rainwater, greywater, process wastewater and treated wastewater correctly.
- Calculate specific water consumption and interpret it against total consumption.
- Recognize the Turkish water efficiency management framework (the Water Efficiency Regulation, institutions, related legislation, standards) and check the scope for their own plant.
- Calculate the true cost of water and prioritize improvement opportunities using payback together with technical and operational criteria.

1. Why water is an operational issue

Water efficiency is not only an environmental responsibility for industrial organizations. In many plants, water is all of the following:

- A direct process input
- A cooling medium
- A source for steam generation
- A cleaning agent
- A daily need for employees

A problem with water availability or quality can therefore affect production continuity. Good water management is also linked to other costs such as pumping, conditioning, heating, cooling, chemical use and wastewater treatment.

In this material we do not treat water only as a volume read at the plant inlet meter. We look for answers to four questions:

1. Where is water used?
2. Which uses are really necessary?
3. Where do losses occur?
4. Which streams can be safely reused?

The aim is not to recommend a single technology. The aim is to learn how an industrial organization can find and prioritize water efficiency opportunities systematically.

In regions where water stress is growing or supply varies by season, this view matters even more for operational resilience. A plant may have access to water today. Production growth, new users, dry periods or quality problems can make the same source more fragile in the future. Water efficiency is therefore a preparation tool that reduces future production risk as well as today's bill.

The definition of water efficiency also appears in Türkiye's Water Efficiency Regulation: using the least amount of water in producing a product or service, or producing more product with the same amount of water.

2. The water reduction hierarchy: reduce, replace, reuse

In a good program the order of solutions matters. A useful decision hierarchy has three steps. The ISO 46001 water efficiency management system standard frames its approach with the same three concepts (reduce, replace, reuse).

Step	Core question	Example
1. Reduce	Is this water use really needed? Can current use be reduced?	Fixing leaks, changing the cleaning method, improving process control
2. Replace (where appropriate)	Is there a source better matched to the quality the use requires?	Reclaimed water or rainwater, meeting legislation and quality criteria, for a use that does not need drinking water quality
3. Reuse	Can water be reused or reclaimed within the system?	Condensate return, cascade rinsing, reclamation after treatment

The practical value of this order is that it lowers the risk of wrong investments:

- Installing an expensive treatment system first may be uneconomic when an unnecessary use could be removed by a process change.
- Producing high-quality reclaimed water and using it for a low-quality duty wastes resources.

Technology selection is therefore not the start of the solution process. It comes after the need and the quality requirement have been defined.

> **Note:** The hierarchy is a decision order, not an order of obligation. In one plant all three steps can move at the same time. For every new investment, however, the first question is whether the first step has been exhausted.

3. Mapping water use points

A water efficiency study starts by mapping use points.

Group	Typical users
Direct process water	Washing, rinsing, mixing, product formulation, other operations on the production line
Utilities	Cooling towers, boiler feed water, steam systems, heat exchangers
Cleaning and hygiene	CIP systems, floor washing, vehicle washing
Other	Laboratory, staff areas (showers, toilets, kitchen)

Mapping does not only look at how many cubic metres go to each point. It also asks what water quality this use really needs. Not all use points need the same quality of water. The water use map is therefore two-layered:

- **Quantity layer:** In which processes is total consumption concentrated?
- **Quality layer:** Which uses could be met by a lower-quality but suitable alternative source?

During mapping, the **owner** of each use point is also identified. Cooling water may be the responsibility of utilities, process washing of the production team, and cleaning water of the hygiene or operations team. When the quantity, quality requirement and operational owner of every main use point are known, it is easier to implement and follow up

improvement proposals. Water data then stops being a table kept only by the environment department.

4. Cleaning and domestic use: low-cost opportunities

In some plants the fastest gains come not from large investments but from cleaning and daily use habits. Typical situations that consume water unnoticed:

- Hoses left running
- Unnecessarily high flow rates
- Unstandardized washing times
- Faulty cisterns
- Poor cleaning sequence

The solution is not just telling staff to use less water. The following measures are considered together with behavior change:

- Correct nozzles
- Pressure-controlled systems
- Dry or mechanical pre-cleaning
- Suitable automation (for example, sensor taps)
- Regular maintenance

Do not use water unnecessarily to carry dirt. If the solid load is first reduced by dry sweeping, scraping, vacuuming or mechanical pre-cleaning, the water demand of the following wet cleaning also falls. This approach can also affect the pollutant load in wastewater. Cleaning optimization is therefore not just cutting flow but redesigning the cleaning sequence and method.

> **Note:** Cleaning quality, hygiene and occupational safety are never sacrificed for water reduction. The goal is to improve the method while keeping the required quality. Low-cost measures are examined before larger reclamation investments.

5. Metering, sub-meters and a correct baseline

Water that is not measured is hard to manage. The main meter at the plant inlet shows total intake but does not explain in which process the water is used or where losses occur. **Sub-metering** is therefore one of the core tools of water efficiency. When the main processes, cooling, boiler house, treatment, cleaning and other large use points are monitored separately, anomalies become visible. For example, high flow continuing at night when there is no production may indicate a leak or an unnecessary continuous flow.

5.1 Meter coverage and water balance

The following training example compares main meter and sub-meter data for one month.

Item	Value (m³/month)
Main meter (total intake)	10,000
Cooling system sub-meter	2,900
Boiler house sub-meter	1,800
Process washing sub-meter	3,100
Cleaning sub-meter	900
Sum of sub-meters	8,700
Unaccounted difference	10,000 − 8,700 = 1,300

```
Meter coverage ratio = 8,700 ÷ 10,000 = 87%
Unaccounted share    = 1,300 ÷ 10,000 = 13%
```

The unaccounted share may come from meter error, unmetered use or leakage. The difference is monitored and reduced over time.

5.2 Baseline

Comparing total water before and after an improvement is not always enough. Production volume, product mix, operating hours or season may have changed. Alongside total consumption, normalized indicators such as water per tonne of product are therefore tracked. A good baseline answers not only how many cubic metres we used last month but also under which production and operating conditions that consumption occurred.

5.3 Meter selection and data quality

- A meter that cannot see very small flows is inadequate for leak tracking.
- A wrongly placed meter does not explain process performance.
- When preparing the metering plan, ask which decision will rely on which data.
- Meters are checked periodically, data loss is monitored and measurements are time-matched with production records.

A good data infrastructure is the basic capability that comes before the water efficiency investment itself.

6. Process-based monitoring and fit-for-purpose water quality

Process-based monitoring treats water quantity and quality together. For every main stream, where the water comes from, what happens to it in the process, at what quality it leaves and its reuse potential are evaluated.

The main principle is **fit-for-purpose**: determine the quality each use needs and use the most suitable source that meets that quality.

Use	Required quality level (example)
Critical process in direct contact with product	High
Boiler feed water	High, conditioned
Cooling tower make-up water	Medium, hardness and conductivity controlled
Floor washing, vehicle washing	Low

The levels in the table are indicative. Real quality criteria are set by the process, product and legislation.

Cascade reuse is a simple example: final rinse water is used in an earlier, dirtier wash stage. However, connecting streams only to save water, without quality matching, is not right. Product quality, hygiene, corrosion, fouling, process reliability and regulatory conditions are assessed together. The water flow diagram is therefore a map not only of volumes but also of quality requirements.

Segregation at source. If lightly polluted streams can be kept apart from heavily polluted ones, reuse is easier and less treatment is needed. Water should not be lost in a single wastewater pool after leaving a process. The earlier a clean stream is separated, the more flexible reuse options become. In some plants segregation at source is a design decision to consider before reclamation technology.

7. Losses, leaks and unnecessary continuous flows

Loss and leak management is one of the fastest and lowest-cost improvement areas in most plants. Typical sources that add up to significant volumes over time:

- Dripping valves
- Faulty float valves
- Overflowing tanks
- Bypass lines left open
- Underground pipe leaks
- Continuous flows running outside production

Detection methods are used together: site walks, night flow analysis, pressure monitoring, maintenance records and operator reports.

7.1 Night flow analysis: numerical example

At night when production has stopped, the lowest flow is measured at the main meter. Legitimate continuous use is subtracted from this value, and the remaining difference indicates leakage.

Step	Value	Unit	Calculation
Lowest measured night flow	3.2	m³/h	Meter data
Legitimate continuous use	0.4	m³/h	Known uses (for example, a continuously running cooling circuit)
Estimated leak	2.8	m³/h	3.2 − 0.4
Lowest night flow after repair	0.5	m³/h	Meter data
Verified reduction	2.7	m³/h	3.2 − 0.5
Annual water gain	23,652	m³/year	2.7 m³/h × 8,760 h/year

```
2.7 m³/h × 8,760 h/year = 23,652 m³/year
```

The leak is assumed to run continuously at a constant flow. In real systems, leak flow changes as pressure changes.

The key point is verification. Seeing that a leak has been repaired is not technically enough. You monitor whether the consumption profile of the area has really fallen in the meter data. A maintenance action is thus linked to a measurable water performance result. Loss and leak management also needs an operating culture in which employees report small anomalies.

7.2 The financial impact of a leak

The cost of a leak is not only the price of the lost water:

- If the leaking water is hot water or conditioned process water, energy and chemicals are lost with it.
- If there is a leak on a pressurized line, pumps run unnecessarily and consume extra energy.

Showing maintenance teams water loss as a total process loss and not only an environmental indicator strengthens behavior. The calculation of these costs is in Section 12.

8. Closed loop, reclamation and three industrial examples

Closed loop means recirculating water within the same system. **This does not mean the system needs no fresh water.** Make-up water is needed because of evaporation, blowdown, quality degradation, leakage or build-up. The following three examples are common.

8.1 Example 1: Cooling systems

Instead of open and uncontrolled water use, recirculation, suitable monitoring and blowdown management are considered. If the quality of the blowdown stream is suitable, reclamation for another use after suitable treatment can be examined.

In a cooling tower, make-up water is the sum of evaporation and blowdown (drift loss is neglected):

```
Blowdown (B) = E ÷ (C − 1)
Make-up water (M) = E + B
E: evaporation loss (m³/day), C: cycles of concentration (dimensionless)
```

Training data: E = 120 m³/day.

Cycles of concentration (C)	Blowdown (m³/day)	Make-up water (m³/day)
3	120 ÷ (3 − 1) = 60	120 + 60 = 180
5	120 ÷ (5 − 1) = 30	120 + 30 = 150
Difference	30	30

Raising the cycles from 3 to 5 reduces make-up water by 30 m³ per day and reduces discharge by the same volume. For a tower operating 330 days a year this is 9,900 m³/year. Cycles cannot be raised without limit. Hardness, corrosion and scaling risk and the treatment program set the limit. Make-up water can never be smaller than the evaporation loss (E), which means closed loop does not mean zero fresh water.

8.2 Example 2: Steam system and condensate return

Returning hot condensate formed after the process to the system under suitable conditions recovers not only the water but also the heat the condensate carries.

Training data: Steam generation 5 t/h, 6,000 hours a year. The condensate return rate is raised from 40% to 70%. Condensate is at 90 °C and make-up water at 15 °C. Boiler efficiency is 90% and the fuel is natural gas. 1 t of condensate is taken as about 1 m³.

Step	Calculation	Result
Reduced make-up water	5 t/h × (0.70 − 0.40) × 6,000 h/year	9,000 m³/year
Specific heat difference	4.186 kJ/(kg·K) × (90 − 15) K	313.95 kJ/kg
Heat content difference	313.95 kJ/kg × 1,000 kg/m³ ÷ 3,600 kJ/kWh	87.21 kWh/m³
Annual fuel saving	9,000 m³/year × 87.21 kWh/m³ ÷ 0.90	about 872,083 kWh/year

In this example the heat gain is more valuable than the water gain (see Section 12). Using the method of Lesson 15, the carbon effect can also be seen:

```
872,083.3 kWh × 3.6 MJ/kWh = 3,139,500 MJ = 3.1395 TJ
3.1395 TJ × 56,100 kg CO₂/TJ = 176,125.95 kg CO₂ = 176.13 tCO₂
```

Only CO_2 is calculated. The CH_4 and N_2O shares are small and are neglected here. Effects such as flash steam, line losses and condensate quality are left out for simplicity.

8.3 Example 3: Washing and rinsing

Using the cleanest final rinse water in the previous wash stage reduces the need for fresh water. With staged counter-current rinsing, the required water is roughly calculated as follows.

Model: q of dirty liquid (drag-out) is carried into each stage with the product. The contaminant concentration is required to fall by a factor of 1,000 at the last stage (dilution ratio D = 1,000). Stages are ideally mixed and q is constant. With the required rinse water Q = r × q, the relation $D = 1 + r + r^2 + \ldots + r^n$ holds for n stages.

Training data: q = 0.05 m³/h.

Number of stages (n)	r = Q ÷ q	Required fresh water Q (m³/h)	Reduction vs single stage
1	999.0	49.95	Reference
2	31.11	1.56	96.9%
3	9.64	0.48	99.0%

When higher quality is needed, filtration, membranes, ion exchange or process-specific treatment solutions can be considered.

8.4 How to choose a reclamation project

A reclamation project is not chosen only by asking how many cubic metres of water it will gain. The following are also part of the decision:

- Additional energy demand
- Chemical consumption
- Concentrate or sludge generation
- Maintenance burden
- Product quality
- Operational reliability

The best solution is the one that improves total resource use and operational risk together.

The best reuse opportunity is often a use close to where the water comes out and requiring similar quality. If there is no need to carry the stream over long distances, treat it very far or build large storage, the system can be simpler. Where the process is sensitive, even small quality fluctuations can create product or equipment risk. Pilot application, quality monitoring and gradual commissioning are therefore important safety steps.

> **Note: The shared lesson of the three examples.** In cooling, make-up water does not fall to zero. In condensate return, the main gain is often heat. In rinsing, the number of stages changes the effect greatly. Models give direction, and real values are verified with plant measurements.

9. Naming rainwater, greywater and treated wastewater correctly

Terminology matters for alternative water sources. Correct naming helps to select the right quality criterion and the right use scenario.

Concept	Definition	Note for industry
Rainwater harvesting	Collecting rainfall from impermeable surfaces and storing it for suitable uses	Quality, storage capacity, rainfall regime and regulatory conditions determine the use
Greywater	The less polluted part of domestic wastewater that contains no blackwater (toilet) (shower, basin, bath, kitchen, washing machine and dishwasher)	Can be used for certain purposes after suitable treatment
Process wastewater	Wastewater from production processes	Not called greywater
Treated wastewater	Wastewater made suitable for reuse after suitable treatment	Quality criterion is set by the intended use
Reclaimed process water	Water recovered by treating a process stream	Defined by its source stream and quality

Greywater is not the grey water footprint indicator. In the water footprint approach, the grey water footprint expresses the volume of water needed to dilute a pollutant (ISO 14046, Lesson 7). In this material, greywater means the domestic concept above. In the 2022 amendment of the Water Pollution Control Regulation, greywater is also defined as non-toilet domestic wastewater.

It is not correct to call streams from industrial processes greywater in general. A textile rinse stream and greywater from a staff shower are not the same concept.

The Water Efficiency Regulation defines non-conventional water sources to include wastewater, rainwater, greywater, brackish water and seawater. In the October 2024 information note of the General Directorate of Water Management of the Ministry of Agriculture and Forestry, greywater, treated wastewater and rainwater are also explained with this distinction.

Continuity and simultaneity. The theoretical availability of a water source does not mean it can be used at any moment:

- Rainfall seasonality may not coincide with the period of production water demand.
- If the use point for reclaimed water is not continuous, a balancing tank may be needed.
- Quality may change during storage time.

When evaluating alternative sources, continuity and simultaneity matter as much as quantity.

10. Specific water consumption, KPIs and verifying improvement

Total water consumption is an important indicator but does not explain performance on its own if production changes. **Specific water consumption** is therefore used. Depending on the sector, indicators such as cubic metres per tonne of product, litres per unit of product or water per process hour are chosen. The aim is to make like-for-like production conditions as comparable as possible.

```
Specific water consumption (m³/t) = Total water consumption (m³) ÷ Production (t)
```

10.1 Numerical example: total and specific consumption

Training data: base year 40,000 t of production and 120,000 m³ of water.

Case	Production (t)	Water (m³)	Change in total water	Specific consumption (m³/t)	Specific change
Base year	40,000	120,000		3.000	
A production fall	32,000	108,000	10.0% decrease	3.375	12.5% increase

A: production fell	32,000	108,000	10.0% decrease	3.375	12.5% increase
B: production rose	48,000	120,000	No change	2.500	16.7% decrease

In Case A, total consumption appears to have fallen by 10 percent. Yet production fell by 20 percent and efficiency has worsened. In Case B, total consumption stayed constant but production rose by 20 percent and efficiency has clearly improved.

10.2 Verification cycle

A simple cycle is set up to verify an improvement:

1. Determine the baseline.
2. Apply the intervention.
3. Measure the result.
4. Take changes in production and operating conditions into account.
5. Verify the performance.

10.3 Complementary indicators

Instead of a single KPI, complementary indicators can be used:

- Reuse rate
- Meter coverage ratio
- Specific consumption of the main processes
- Closure time of leak events
- Quantity of reclaimed water

A good KPI is measurable, has a clear owner and serves decision-making. Too many KPIs are also not useful. A few main indicators on which management will decide are separated from the detailed indicators technical teams will follow. For example, while senior management tracks total and specific water consumption, utilities track cooling tower make-up water or the boiler system condensate return rate.

11. The water efficiency management framework in Türkiye

In Türkiye, water efficiency is no longer only a voluntary good practice topic. This section summarizes the framework under five headings. The aim is not to memorize regulatory details but to know that a system that measures, targets and continuously improves water use now has a clear management framework in Türkiye.

11.1 The Water Efficiency Regulation

Heading	Content
Identity	*Su Verimliliği Yönetmeliği* (Water Efficiency Regulation), Ministry of Agriculture and Forestry, Official Gazette 27 December 2024, No. 32765. In force on the date of publication
Scope	Establishing, monitoring and certifying water efficiency systems and preparing provincial plans. Covers urban, industrial and agricultural activities
Certificate levels	Blue (for all obligated parties that establish a system), Green (mandatory within a set period for specified obligated parties), Turquoise (voluntary)
Industrial obligation	Enterprises operating under the NACE codes defined in the regulation's annex and with more than 49 employees (that is, 50 or more) are obligated to establish a system and apply for a certificate. Enterprises with fewer employees may apply voluntarily
Green certificate period	For industrial activities with NACE codes in Annex-2, at most five years after the system is established. Organized industrial zones and free zones are also within the scope of the green certificate obligation
Application	Made through the Ministry's online system
Guides	Industrial, urban and agricultural water efficiency system establishment and certification guides were announced by the Ministry on 12 January 2026. A series of sector-specific water efficiency guidance documents is also published

The system establishment process under the regulation has four stages: assigning staff, preparing a plan, training, and implementation-monitoring-reporting. The plan containing the five-year implementation schedule is submitted for Ministry approval.

> **Note: Repeat the scope check.** The legislation and certification framework can be updated over time. The organization checks its own NACE code, employee number and the current guide. When the NACE classification, plant structure or employee number changes, the obligation is reassessed. For schedule information such as the system establishment period, the current Annex-1 and guide should be verified from the official source (suverimliligi.gov.tr).

The certificate should not be an end in itself. The real value is that the measurement, targets, action plan and monitoring discipline built under the system improve actual water performance. Certification is one of the tools that helps institutionalize this management approach.

11.2 Institutions and related legislation map

Topic	Institution or document	Note
Water efficiency policy and certification	Ministry of Agriculture and Forestry, General Directorate of Water Management	The regulation, guides and the suverimliligi.gov.tr portal
National roadmap	*Değişen İklime Uyum Çerçevesinde Su Verimliliği Strateji Belgesi ve Eylem Planı (2023-2033)* (Water Efficiency Strategy Document and Action Plan in the Context of Adaptation to a Changing Climate)	Announced by a Presidential Circular (Official Gazette 4 May 2023)
Development and allocation of water resources	State Hydraulic Works (DSİ) General Directorate	An institution affiliated with the Ministry of Agriculture and Forestry. Supply of surface and groundwater for industry and the related permits fall in this area
Wastewater discharge	*Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği* (Water Pollution Control Regulation) (Official Gazette 31 December 2004, No. 25687)	Ministry of Environment, Urbanization and Climate Change. The 17 December 2022 amendment introduced reuse provisions and the greywater definition. Amended again on 23 October 2025
Urban wastewater	*Kentsel Atıksu Arıtımı Yönetmeliği* (Urban Wastewater Treatment Regulation) (Official Gazette 8 January 2006, No. 26047)	Urban treatment obligations. If industry discharges to the urban sewer, the conditions of the relevant authority also apply
Organized industrial zones	*Organize Sanayi Bölgeleri Kanunu* (Organized Industrial Zones Law, No. 4562) and the OSB implementing regulation	OSBs are obligated parties for the green certificate under the water efficiency regulation. Wastewater and discharge conditions are also regulated by the OSB management
Rainwater and greywater	Zoning and building legislation and water pollution legislation	Rainwater collection provisions may appear in zoning legislation. The current text should be checked separately for the plant
Best techniques in industry	*Mevcut En İyi Teknikler Tebliğleri* (Best Available Techniques Communiqués) (Official Gazette 30 November 2025, No. 33093)	Ministry of Environment, Urbanization and Climate Change. Published for sectors such as chemicals, energy, metals, minerals, waste and other manufacturing activities
Climate	*İklim Kanunu* (Climate Law, No. 7552, Official Gazette No. 32951 of 9 July 2025)	Regulates the emissions trading system and adaptation planning. Water is among the risk areas addressed in adaptation planning

> **Note: The two ministries have different roles.** The water efficiency system and certification belong to the Ministry of Agriculture and Forestry. Wastewater discharge, treatment and best techniques belong to the Ministry of Environment, Urbanization and Climate Change. A plant is often subject to both.

11.3 Standards and best available techniques (BAT)

ISO 46001. *ISO 46001:2019 Water efficiency management systems, Requirements with guidance for use* is the water efficiency management system standard. It is voluntary, is based on the reduce, replace and reuse approach and applies to organizations of any size. The standard was updated in 2024 with *Amd 1:2024 Climate action changes*. A second edition of the standard is under development within ISO/TC 224, and until it is published the 2019 version (with Amd 1:2024) remains valid.

EU BAT conclusions and BREF documents. Sector-specific BAT conclusions are published under the EU Industrial Emissions Directive (2010/75/EU). Examples relevant to water efficiency:

Document	Water-related content
BAT conclusions for the Food, Drink and Milk Industries, (EU) 2019/2031	Techniques to reduce water consumption, dry cleaning, segregation of water streams, reuse
BAT conclusions for the Textiles Industry, (EU) 2022/2508	Water management plan, segregation of water streams, reuse and recycling. Includes indicative process-based water consumption ranges (for example 2 to 16 m³/t for continuous dyeing and 10 to 150 m³/t for batch fabric dyeing)
Common Waste Water and Waste Gas Treatment in the Chemical Sector, (EU) 2016/902	Wastewater management and treatment in the chemical sector
Industrial Cooling Systems BREF (2001)	Water and energy consumption in cooling systems

These values are not automatically binding in Türkiye. They are used as benchmarks when setting targets for your own sector. Türkiye's own Best Available Techniques Communiqués were also published in 2025 (see the previous table).

11.4 Current status (September 2026)

- The Water Efficiency Regulation is in force. Certification guides were published in January 2026.
- The second edition of ISO 46001 has not yet been published. Developments are followed on the ISO page.
- The guide and annex lists may be updated. Before deciding on an obligation, the current text on the Ministry portal is taken as the basis.

12. The true cost of water and investment prioritization

A common mistake is to calculate the gain only with the unit price of purchased or abstracted water. From the plant's point of view, the true cost of water is broader:

- Pumping
- Conditioning and filtration
- Heating or cooling
- Chemical use
- Transport within the process
- Wastewater treatment, discharge and sludge management

Not using one cubic metre of water avoids not only the water charge but also the water-related energy and treatment costs.

12.1 True cost of water: numerical example

The unit prices below are training assumptions and are not current tariffs.

Item	Calculation	TL/m³
Water supply (unit price)	Assumption	30.00
Pumping	0.50 kWh/m³ × 3.50 TL/kWh	1.75
Conditioning and filtration	Assumption	4.00
Wastewater discharge and treatment	Assumption	18.00
Total (cold use)		**53.75**
Heating (25 K)	4.186 kJ/(kg·K) × 1,000 kg × 25 K ÷ 3,600 = 29.07 kWh. 29.07 ÷ 0.90 = 32.30 kWh fuel. 32.30 × 1.80 TL/kWh	58.14
Total (heated use)	53.75 + 58.14	**111.89**

A calculation that looks only at the unit price sees 30.00 TL per cubic metre. The true cost is 1.79 times that for cold use and 3.73 times that for heated use.

12.2 Investment prioritization: numerical example

Improvement opportunities fall into four groups:

1. Low-cost measures: behavior, maintenance, leak reduction

2. Process optimization and control improvements
3. Equipment changes and closed-loop applications
4. Treatment and reclamation investments

Each option is assessed for technical suitability, product quality, occupational safety, legislation, initial investment, operating cost, water and energy gain, maintenance burden and operational risk. The most expensive technology is then not chosen, but the solution best suited to where the problem lies.

The table below uses the training examples in this material. Simple payback = investment ÷ annual net gain.

Opportunity	Group	Investment (TL)	Annual water gain (m³)	Annual net gain, unit price only (TL)	Payback (years)	Annual net gain, true cost (TL)	Payback (years)
Leak repair (Section 7)	1	150,000	23,652	709,560	0.21	1,271,295	0.12
Nozzle and hose arrangement	1	40,000	6,000	180,000	0.22	322,500	0.12
Cooling tower cycles 3 to 5 (Section 8.1)	2	180,000	9,900	297,000	0.61	532,125	0.34
Condensate return (Section 8.2)	3	600,000	9,000	270,000	2.22	1,891,500	0.32
Treatment and reclamation	4	2,400,000	30,000	714,000	3.36	1,426,500	1.68

Calculation notes:

- For leak, nozzle and cooling tower, the true cost is taken as 53.75 TL/m³ (including reduced discharge).
- In condensate return discharge does not fall. The water side is taken as 35.75 TL/m³ (53.75 − 18.00) and 321,750 TL for 9,000 m³, the fuel side as 872,083 kWh × 1.80 TL/kWh = 1,569,750 TL, total 1,891,500 TL. In the unit-price-only view it is 9,000 × 30 = 270,000 TL.
- The reclamation plant's additional operating cost is assumed to be 6.20 TL/m³ (1.2 kWh/m³ × 3.50 TL/kWh + 2.00 TL/m³ chemicals). It is deducted from the net gain.
- Simple payback does not include the time value of money, maintenance costs or price changes.

Results:

- The payback of condensate return appears as 2.22 years with the unit price alone but falls to 0.32 years with the true cost. The heat gain is larger than the water gain.
- The reclamation plant is the longest-payback project even at true cost (1.68 years). But if water supply affects a critical process, this project can be strategic for production continuity.

12.3 Payback alone is not enough

Looking only at payback time is not always right when prioritizing:

- If water supply affects a critical process, a project with a long financial return can be strategic.
- If a solution reduces water but creates high energy use, excess chemical use or a new waste problem, it is reassessed.

A good water efficiency decision weighs economic, environmental and operational results together.

13. Continuous improvement

The strongest feature of water efficiency is continuous improvement. A water study done once is not used unchanged for years. A new product, new line, capacity increase, different raw material or new water source can change a plant's water profile. The water map, meter structure, targets and improvement list are therefore reviewed regularly. Water efficiency then becomes part of the organization's normal performance management and not a one-off project.

The logic followed throughout the lesson is a single chain:

```
Why manage → what is water efficiency → reduce, replace, reuse → map → measure and monitor → match quality → reduce losses and leaks → closed loop and reclamation → name alternative sources correctly → normalize and verify → know the Turkish framework → prioritize by true cost → improve continuously
```

14. Verification with Python

The calculations in this material can be reproduced with the following script.

```
        # Meter coverage
        main = 10000
        subs = [2900, 1800, 3100, 900]
        print(sum(subs), round(sum(subs) / main * 100, 1), main - sum(subs))

        # Night flow
        print(round((3.2 - 0.5) * 8760))

        # Specific consumption
        for production, water in [(40000, 120000), (32000, 108000), (48000, 120000)]:
            print(round(water / production, 3))

        # Cooling tower
        E = 120
        for C in (3, 5):
            B = E / (C - 1)
            print(C, B, E + B)

        # Condensate
        makeup = 5 * (0.70 - 0.40) * 6000
        kwh_m3 = 4.186 * 75 * 1000 / 3600
        fuel = makeup * kwh_m3 / 0.90
        tj = fuel * 3.6 / 1e6
        print(round(makeup), round(kwh_m3, 2), round(fuel), round(tj * 56100, 2))

        # Counter-current rinsing: 1 + r + ... + r^n = D
        def flow(n, D=1000, q=0.05):
            lo, hi = 1.0, 1e6
            for _ in range(200):
                r = (lo + hi) / 2
                if sum(r**j for j in range(n + 1)) > D:
                    hi = r
                else:
                    lo = r
            return round(r, 2), round(r * q, 2)
        print(flow(1), flow(2), flow(3))

        # True cost
        cold = 30 + 0.5 * 3.5 + 4 + 18
        heating = 4.186 * 1000 * 25 / 3600 / 0.90 * 1.80
        print(cold, round(heating, 2), round(cold + heating, 2))
```

Expected outputs: 8700, 87.0 and 1300 (meters), 23652 (night flow), 3.0 / 3.375 / 2.5 (specific consumption), 60 and 180 with 30 and 150 (tower), 9000 and 87.21 and 872083 and 176125.95 (condensate), (999.0 and 49.95), (31.11 and 1.56), (9.64 and 0.48) (rinsing), 53.75 and 58.14 and 111.89 (cost).

Exercises (with answers)

Exercise 1: Error hunter

Is there an error in each of the following five sentences? Find and correct the errors.

1. A single meter at the plant inlet shows where leaks are, so sub-meters are unnecessary.
2. If total water consumption fell by 10 percent, efficiency has always improved.
3. A closed-loop cooling system uses no fresh water at all.
4. Production wastewater is automatically counted as greywater in Türkiye.
5. The Water Efficiency Regulation imposes the same obligation on all industrial enterprises.

Answer.

1. Wrong. The main meter shows the total and does not show where water is used or where the loss is. Sub-meters are needed.
2. Wrong. If production fell more, specific consumption may have risen (Section 10.1, Case A).

3. Wrong. Make-up water is needed because of evaporation and blowdown.
4. Wrong. Greywater is the non-toilet part of domestic wastewater. Process streams are process wastewater, treated wastewater or reclaimed process water.
5. Wrong. The obligation depends on the NACE codes in the annex and the number of employees (50 or more). Others may apply voluntarily.

Exercise 2: Specific consumption

A plant used 70,000 m³ of water with 25,000 t of production in one year. The next year it used 78,000 m³ with 30,000 t of production. How did total and specific consumption change?

Answer. Year one: 70,000 ÷ 25,000 = 2.800 m³/t. Year two: 78,000 ÷ 30,000 = 2.600 m³/t. Total consumption rose by 8,000 m³, about 11.4 percent. Specific consumption fell by 0.200 m³/t, about 7.1 percent. Efficiency has improved.

Exercise 3: Cooling tower

In a tower with E = 200 m³/day, the cycles of concentration are raised from 4 to 6. How much does make-up water fall?

Answer. For C = 4, B = 200 ÷ 3 = 66.67 m³/day and M = 266.67 m³/day. For C = 6, B = 200 ÷ 5 = 40.00 m³/day and M = 240.00 m³/day. The reduction is 26.67 m³/day.

Summary

- Water efficiency is not a single piece of equipment or a treatment plant. It is a management logic.
- First map the use points and measure (sub-meters, baseline).
- First reduce, replace where appropriate, then reuse.
- Determine the quality each use needs and choose the source accordingly.
- Find leaks with night flow and verify with meters after repair.
- Closed loop does not mean zero fresh water. In the cooling, condensate and rinsing examples the effects come in different sizes and from different sources.
- Greywater is a domestic concept. Process streams are process wastewater, treated wastewater or reclaimed process water.
- Verify performance with specific consumption, taking production conditions into account.
- In Türkiye there is a framework for system establishment and certification under the Water Efficiency Regulation (27 December 2024). Check the scope by NACE code and number of employees.
- Decide using the true cost of water and technical, environmental and operational criteria. Payback alone is not enough.
- The water study, meter structure and targets are reviewed regularly.

Knowledge check (with answers)

1. Why is a single meter at the plant inlet not enough? It shows total intake but not in which process the water is used or where the loss occurs. Sub-meters are needed.

2. Does every use need drinking-quality water? No. The required quality is determined for each use and the most suitable source meeting that quality is chosen (fit-for-purpose).

3. Does a closed-loop system mean zero fresh water use? No. Additional water is needed because of evaporation, blowdown, quality degradation and leakage. In the example, make-up water cannot be smaller than the evaporation loss (120 m³/day).

4. Is it correct to automatically call industrial process wastewater greywater? No. Greywater is the non-toilet part of domestic wastewater. Process streams are process wastewater, treated wastewater or reclaimed process water.

5. What is the order of the water reduction hierarchy and which standard uses this approach? Reduce, replace where appropriate, reuse. ISO 46001 frames its approach with these three concepts.

6. Total water consumption fell 10 percent and production fell 20 percent. Did efficiency improve? No. Specific consumption rose from 3.000 m³/t to 3.375 m³/t (a 12.5 percent increase).

7. Why does the true cost of water differ from the unit price? There are linked costs such as pumping, conditioning, heating or cooling, chemicals, wastewater treatment, discharge and sludge. In the example, the true cost for cold use is 1.79 times the unit price.

8. For whom does the industrial obligation arise under the Water Efficiency Regulation? For enterprises operating under the NACE codes defined in the regulation's annex and having 50 or more employees. The scope is checked against the current guide.

9. How is the effect verified after a leak repair? By monitoring that the consumption profile and night flow of the area have fallen in the meter data.

10. When is payback time alone misleading? When water supply affects a critical process (strategy), or when a solution reduces water but increases the energy, chemical or waste load.

Key concepts glossary (TR – EN)

Türkçe	English
su verimliliği	water efficiency
su azaltma hiyerarşisi (azalt, ikame et, yeniden kullan)	water reduction hierarchy (reduce, replace, reuse)
alt sayaçlandırma	sub-metering
baz durum	baseline
spesifik su tüketimi	specific water consumption
kullanım amacına uygunluk	fit-for-purpose
kayıp-kaçak	water loss and leakage
gece debisi analizi	night flow analysis
kapalı devre	closed loop
deriştirme devri	cycles of concentration
blöf	blowdown
makyaj suyu	make-up water
kondensat dönüşü	condensate return
ters akışlı durulama	counter-current rinsing
geri kazanım	reclamation / recovery
yağmur suyu hasadı	rainwater harvesting
gri su	greywater
proses atıksuyu	process wastewater
arıtılmış atıksu	treated wastewater
geleneksel olmayan su kaynakları	non-conventional water sources
suyun gerçek maliyeti	true cost of water
basit geri ödeme süresi	simple payback period
en iyi teknikler (BAT)	best available techniques (BAT)
su verimliliği belgesi (mavi, yeşil, turkuaz)	water efficiency certificate (blue, green, turquoise)
su ayak izi	water footprint

Sources and currency note

Information is current as of September 2026. Legislation, guides and standard status may change and should be checked against the official source before making decisions.

Turkish legislation and official sources

- Ministry of Agriculture and Forestry. *Su Verimliliği Yönetmeliği* (Water Efficiency Regulation). Official Gazette 27.12.2024, No. 32765. https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2024/12/20241227-3.htm
- Ministry of Agriculture and Forestry, General Directorate of Water Management. Water Efficiency portal, regulation page and sector-specific guidance documents. https://www.suverimliligi.gov.tr
- Ministry of Agriculture and Forestry, General Directorate of Water Management. *Su Verimliliği Belgelendirme Kılavuzları Yayımlandı* (Water efficiency certification guides published, 12 January 2026). https://www.tarimorman.gov.tr/SYGM/Haber/1343

- Ministry of Agriculture and Forestry, General Directorate of Water Management. *Geleneksel Olmayan Su Kaynaklarının Kullanım Alanları* (Uses of non-conventional water sources, 1 October 2024). https://www.tarimorman.gov.tr/SYGM/Haber/1243
- Presidential Circular, *Su Verimliliği Strateji Belgesi ve Eylem Planı (2023-2033)* (Water Efficiency Strategy Document and Action Plan). Official Gazette 4 May 2023. https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2023/05/20230504-6.pdf
- Ministry of Environment, Urbanization and Climate Change. *Su Kirliliği Kontrolü Yönetmeliği* (Water Pollution Control Regulation). Official Gazette 31.12.2004, No. 25687 (amendments of 17.12.2022 and 23.10.2025).
- Ministry of Environment, Urbanization and Climate Change. *Kentsel Atıksu Arıtımı Yönetmeliği* (Urban Wastewater Treatment Regulation). Official Gazette 08.01.2006, No. 26047.
- *Mevcut En İyi Teknikler Tebliğleri* (Best Available Techniques Communiqués, including the Chemical Industry, Other Manufacturing Activities and other sector communiqués). Official Gazette 30.11.2025, No. 33093.
- *İklim Kanunu* (Climate Law, No. 7552). Official Gazette No. 32951, 09.07.2025.
- *Organize Sanayi Bölgeleri Kanunu* (Organized Industrial Zones Law, No. 4562).

Standards and EU documents

- ISO 46001:2019, Water efficiency management systems, Requirements with guidance for use, and Amd 1:2024 Climate action changes. https://www.iso.org/standard/68286.html
- ISO 46001 second edition work (under development). https://www.iso.org/standard/92424.html
- ISO 14046:2014, Environmental management, Water footprint, Principles, requirements and guidelines.
- European Commission. Commission Implementing Decision (EU) 2019/2031 of 12 November 2019, BAT conclusions for the food, drink and milk industries.
- European Commission. Commission Implementing Decision (EU) 2022/2508 of 9 December 2022, BAT conclusions for the textiles industry.
- European Commission. Commission Implementing Decision (EU) 2016/902 of 30 May 2016, BAT conclusions for common waste water and waste gas treatment/management systems in the chemical sector.
- European Commission, JRC. Reference Document on Best Available Techniques for Industrial Cooling Systems (2001).

Calculation basis

- Lesson 15 material, CO_2 emission factor for natural gas 56,100 kg/TJ (IPCC 2006, Volume 2, Table 2.3).
- All unit prices, investment amounts and plant data in this material are training assumptions.