

Tarih:25.02.2026

Sayı:1

Stratejik Enerji, Su ve Karbon Yönetimi Teknik Raporu ve Uygulama Rehberi

Bu rapor; ISO 50001, ISO 46001 ve ISO 14064 standartları uyarınca kurumsal enerji, su ve karbon yönetim sistemlerinin entegrasyonu, yasal mevzuat uyum eşikleri ve teknik uygulama metodolojilerini sunan bir stratejik yol haritasıdır.

1. Entegre Yönetim Sistemleri: ISO 50001 ve ISO 46001 Standartları Kapsamı

Enerji ve su yönetim sistemleri, operasyonel verimliliğin sürdürülebilir kılınması için ölçülebilirlik ve izlenebilirlik temeline dayanır. ISO 50001 ve ISO 46001 standartları, ham verinin anlamlı performans göstergelerine (EnPI) dönüştürülmesini ve Önemli Enerji Kullanımlarının (SEU) titizlikle takip edilmesini zorunlu kılar.

Önemli Enerji Kullanımları (SEU) ve Ölçüm Alanları

ISO 50001 Madde 6.3 uyarınca, toplam enerji tüketiminin %80 ve üzerini oluşturan veya önemli iyileştirme potansiyeli barındıran noktalar SEU olarak tanımlanır. Bu alanların alt sayaçlarla (sub-metering) izlenmesi, denetimlerdeki temel uygunluk kriteridir.

Tablo 1: SEU ve Ölçüm Alanları Sınıflandırması

Kategori	Ölçüm Kalemi / Ekipman	Ölçüm Birimi	Teknik Gerekçe (Denetçi Perspektifi)
Ana Girişler	Elektrik Ana Trafo, Doğalgaz Şehir Girişi	kWh, Nm ³	Toplam enerji dengesinin (Mass Balance) kurulması için zorunlu referans noktası.
Üretim Hatları	Ana Proses Hatları, Ekstrüderler, Fırınlr	kWh, ton	ISO 50001 Madde 6.3 uyarınca doğrudan üretim çıktısına bağlı SEU tespiti.
Yardımcı Tesis	Kompresörler, HVAC, Chiller, Kazanlar	kWh, Nm ³	Kaçak yönetimi, COP/EER verimlilik analizi ve yardımcı yüklerin (auxiliary loads) takibi.
Isıl Prosesler	Buhar Kazanları, Tavlama Fırınları	Nm ³ , ton, m ³	Yüksek spesifik enerji tüketimine sahip ısıl proseslerin verimlilik denetimi.

Enerji Performans Göstergeleri (EnPI)

Performansın takibinde ham tüketim verisi yanıltıcı olabilir. Bu nedenle, bağımsız değişkenlerin (üretim hacmi, hava sıcaklığı vb.) etkisinden arındırılmış, normalize edilmiş göstergeler kullanılmalıdır.

Tablo 2: Enerji Performans Göstergeleri (EnPI) Teknik Yapısı

Gösterge (EnPI)	Hesaplama Metodolojisi	Teknik Amacı
kWh / Birim Ürün	Elektrik Tüketimi / Toplam Üretim	Ürün bazlı spesifik enerji tüketimi (SEC) takibi ve benchmarking.
kWh / Ton	Toplam Enerji / Üretim Tonajı	Hammadde yoğunluklu hatlarda proses verimliliğinin doğrulanması.

Normalizasyon	Ayarlanmış Tüketim / Bağımsız Değişken	HDD (Isıtma Derece Gün) veya üretim hacmindeki dalgalanmaların etkisinin eliminasyonu.
Maliyet / Birim	Toplam Enerji Maliyeti / Üretim Adedi	Enerji yoğunluğunun finansal sürdürülebilirlik ve bütçe planlamasındaki rolü.

2. ISO 14064 ve CBAM Uyumluluğu: Scope 1 Proses Emisyonları

Avrupa Birliği Sınırdaki Karbon Düzenleme Mekanizması (CBAM) ve ISO 14064-1 standardı, işletmelerin sadece yakıt yakımından değil, aynı zamanda üretim sırasında gerçekleşen kimyasal/fiziksel reaksiyonlardan kaynaklanan emisyonlarını da raporlamasını talep eder.

Stratejik Entegrasyon Akış Mantığı

Kurumsal karbon yönetimi için şu hiyerarşi takip edilmelidir: **ISO 50001 (Ölçüm) → ISO 14064 (Emisyon Hesabı) → CBAM (Ürün Bazlı Raporlama)**

Proses Emisyonu Tanımı ve Kapsamı

Proses emisyonları, yakıt yanmasından bağımsız olarak, hammaddelerin kimyasal dönüşümü (örneğin kireçtaşının kalsinasyonu veya metal oksitlerin indirgenmesi) sonucu açığa çıkan doğrudan emisyonlardır. Bu emisyonlar ISO 14064 kapsamında kesinlikle **Scope 1** altında sınıflandırılmalıdır.

Hesaplama Metodolojisi ve Teknik Örnekler

Proses emisyonlarının hesaplanmasında, kaynak dokümanlarda belirtilen resmi katsayılar ve metodolojiler uygulanmalıdır:

- Standart Formül:** $\text{Proses Emisyonu (tCO}_2\text{e)} = \text{Ölçülen Üretim/Hammadde Miktarı} \times \text{Emisyon Faktörü}$
- Doğrudan Gaz Ölçümü (Opsiyonel):** Baca gazı analizi mevcutsa; $\text{Emisyon} = \text{Gaz Debisi} \times \text{Gaz Konsantrasyonu} \times \text{Zaman}$
- Çimento Sektörü Örneği:** $100.000 \text{ ton klinker} \times 0,525 \text{ tCO}_2/\text{ton} = \mathbf{52.500 \text{ tCO}_2\text{e}}$
- Metal Sektörü (Çelik) Örneği:** $50.000 \text{ ton çelik} \times 1,85 \text{ tCO}_2/\text{ton} = \mathbf{92.500 \text{ tCO}_2\text{e}}$
- Kimya Sektörü Örneği:** $10.000 \text{ ton hammadde} \times 1,2 \text{ tCO}_2/\text{ton} = \mathbf{12.000 \text{ tCO}_2\text{e}}$

3. Enerji Performans Takibinde Regresyon Analizi ve Teknik Çıktılar

Enerji performansının bilimsel olarak doğrulanması, enerji tüketimi ile bağımsız değişkenler arasındaki korelasyonun analiziyle mümkündür.

- Analiz Bileşenleri:** Doğrusal regresyon denkleminde ($y = mx + b$); y bağımlı değişkeni (enerji tüketimi), x bağımsız değişkeni (üretim hacmi veya hava sıcaklığı) temsil eder.

- **R-kare (R^2): Belirlenlik Katsayısı (R^2)**, modelin verileri ne kadar iyi açıkladığını gösterir. 0,75 üzerindeki değerler teknik olarak anlamlı, 0,90 üzeri ise yüksek güvenilirlikte kabul edilir.
- **Taban Yük (Baseload / Intercept)**: Regresyon çizgisinin y eksenini kestiği nokta olan "**b**" parametresi (**Intercept**), üretim sıfır olduğunda dahi tüketilen sabit enerjiyi ifade eder. Bu yükün minimizasyonu operasyonel verimlilik için kritiktir.
- **Değişken Yük (Variable Load / Slope)**: Denklemin **eğimi (m)**, birim üretim artışının enerji tüketimi üzerindeki marjinal etkisidir. Enerji verimliliği projelerinin başarısı, bu eğimin düşürülmesiyle kanıtlanır.

4. Türkiye Mevzuatında Yasal Yükümlülük Eşikleri ve TEP Değerleri

Türkiye'deki 5627 sayılı Enerji Verimliliği Kanunu ve ilgili yönetmelikler uyarınca, yıllık enerji tüketimi (TEP - Ton Eşdeğer Petrol) belirli eşikleri aşan tesisler için ISO 50001 ve enerji yöneticisi görevlendirilmesi yasal zorunluluktur.

Eşik Değer (Yıllık)	Sektör / Yapı Tipi	Yasal Yükümlülük Kapsamı	ISO 50001 Durumu
1000 TEP ve Üzeri	Sanayi Tesisleri	Enerji Yöneticisi Atama ve Etüt Yükümlülüğü	Yasal Olarak Zorunlu
500 TEP ve Üzeri	Ticari ve Hizmet Binaları	Enerji Yöneticisi Atama ve Veri Bildirimi	Şiddetle Tavsiye Edilir
250 TEP ve Üzeri	Kamu Binaları	Enerji Yönetim Faaliyetleri ve Bildirim	İzleme ve Uyum Kapsamı

5. Su Verimliliği Yönetmeliği: Ek-1 Uygulama Takvimi Özet

Su Verimliliği Yönetmeliği uyarınca, su kıtlığı riskine karşı endüstriyel ve ticari tesislerin su kayıplarını azaltması ve verimlilik planlarını hayata geçirmesi zorunludur.

Stratejik Uygulama ve Takvim Adımları:

1. **Envanter ve Ölçüm Kurulumu:** Su dengesi (water balance) şemasının oluşturulması ve ana/alt sayaçların kurulumu.
2. **Kurumsal Su Verimliliği Planlarının Hazırlanması:** Su performans göstergelerinin (SWA) belirlenmesi ve Ek-1 takvimi uyarınca azaltım hedeflerinin dökümanite edilmesi.
3. **Teknik Uygulama Fazı:** Proses suyu geri kazanımı, gri su kullanımı ve sızıntı kontrol sistemlerinin devreye alınması.
4. **İzleme ve Raporlama:** Belirlenen takvim dahilinde gerçekleşen su tasarruflarının ve verimlilik hedeflerinin periyodik olarak bakanlığa bildirilmesi.

Soru 1: Regresyon analizinde R-kare (R^2) değeri 0,50'nin altında çıkarsa ne yapılmalıdır?

Cevap: Bu durum, modelin enerji tüketimini açıklamakta yetersiz olduğunu gösterir. Analize yeni bağımsız değişkenler (nem, vardiya sayısı, hammadde tipi) eklenmeli veya verilerdeki aykırı değerler (outliers) temizlenmelidir.

Soru 2: Taban yük (baseload) değerinin yüksek olması teknik olarak neyi işaret eder?

Cevap: Üretimden bağımsız tüketimin yüksek olması; sistem sızıntılarına, izolasyon kayıplarına, stand-by modundaki verimsiz cihazlara veya mesai dışı çalışan HVAC sistemlerine işaret eder.

Soru 3: Normalizasyon işlemi ISO 50001 denetiminde neden zorunludur?

Cevap: Farklı dış hava sıcaklıkları (HDD/CDD) veya üretim kapasiteleri altında alınan verileri standardize ederek, enerji performansındaki değişimi "elma ile elmayı" kıyaslayacak şekilde doğrulamak için zorunludur.

Soru 4: Regresyon modelindeki sapma analizi nasıl yorumlanmalıdır?

Cevap: Gerçekleşen tüketimin, modelin öngördüğü güven aralığının dışına çıkması "anormal tüketim" olarak tanımlanır ve teknik kök neden analizi gerektirir.

Soru 5: İstatistiksel anlamlılık (P-value) regresyon analizinde neden önemlidir?

Cevap: Seçilen bağımsız değişkenin enerji tüketimi üzerinde gerçek bir etkisi olup olmadığını kanıtlar. Genellikle $p < 0,05$ değeri hedeflenir.

Soru 6: ISO 46001 kapsamında Su Dengesi (Water Balance) şeması nedir?

Cevap: Tesise giren toplam suyun; proses, soğutma, evsel kullanım ve kayıplar arasındaki dağılımını gösteren teknik kütle dengesi diyagramıdır.

Soru 7: Önemli Su Kullanım Noktaları (SWA) nasıl belirlenir?

Cevap: Toplam su tüketiminin büyük kısmından sorumlu olan veya suyun geri kazanılabileceği kritik prosesler (örn. soğutma kulesi blöfü, reverse osmosis atık hattı) SWA olarak tanımlanır.

Soru 8: Su yönetiminde "Ölçüm Belirsizliği" nasıl minimize edilir?

Cevap: Sayaçların kalibrasyon periyotlarına uyulması, uygun debimetre tipinin (ultrasonik, elektromanyetik vb.) seçilmesi ve veri kayıplarının izlenmesi ile minimize edilir.

Soru 9: Gri su geri kazanımı ISO 46001 performansını nasıl etkiler?

Cevap: Şebekeden çekilen taze su miktarını azalttığı için birim ürün başına su yoğunluğunu doğrudan düşürür ve verimlilik puanını artırır.

Soru 10: Su Verimliliği Yönetmeliği Ek-1 takvimine uyulmamasının yaptırımı nedir?

Cevap: Yasal idari para cezalarının yanı sıra, teşvik ve vergi indirimlerinden yararlanma haklarının kaybı söz konusudur.

Soru 11: ISO 14064 kapsamında "Temel Yıl Yeniden Hesaplama Politikası" nedir?

Cevap: İşletme sınırlarının değişmesi, satın alma/birleşme veya hesaplama metodolojisindeki büyük değişiklikler durumunda, anlamlı karşılaştırma yapabilmek için temel yıl emisyonlarının güncellenmesi prosedürüdür.

Soru 12: tCO2e (Ton CO2 Eşdeğeri) hesaplanırken GWP (Küresel Isınma Potansiyeli) nasıl kullanılır?

Cevap: Diğer sera gazlarının (CH4, N2O, HFCs) kütlesi, CO2'ye kıyasla ısıyı hapsedme güçlerini temsil eden GWP katsayılarıyla çarpılarak ortak bir birime dönüştürülür.

Soru 13: CBAM kapsamında proses emisyonları neden ayrı raporlanmalıdır?

Cevap: AB mevzuatı, gömülü emisyonların (embedded emissions) şeffaflığı için yakıt kaynaklı ve kimyasal reaksiyon kaynaklı emisyonların ayrıştırılmasını şart koşar.

Soru 14: Karbon raporlamasında "Belirsizlik Analizi" için hedeflenen güven düzeyi nedir?

Cevap: Teknik raporlarda genellikle %95 güven aralığı referans alınır. Belirsizlik payı ne kadar düşükse, raporun doğrulanabilirliği o kadar yüksektir.

Soru 15: Emisyon Faktörü seçerken hangi kaynaklar önceliklidir?

Cevap: Sırasıyla; tesise özel analiz sonuçları, ulusal envanter katsayıları ve son olarak IPCC/uluslararası veri tabanları kullanılmalıdır.

Soru 16: Ürün bazlı emisyon yoğunluğu nasıl düşürülebilir?

Cevap: Enerji verimliliği ile Scope 2'nin, hammadde optimizasyonu ve düşük karbonlu teknoloji geçişiyle Scope 1 (proses) emisyonlarının azaltılmasıyla.

Soru 17: Soğutucu gaz kaçaqları neden ISO 14064 kapsamında raporlanır?

Cevap: Bu gazların küresel ısınma potansiyelleri CO2'den binlerce kat yüksek olduğu için, kaçak emisyonlar (fugitive emissions) kapsamında Scope 1'e dahil edilirler.

Soru 18: Klinker üretiminde emisyon faktörü neden sabittir?

Cevap: Kalsinasyon reaksiyonu ($CaCO_3 \rightarrow CaO + CO_2$) kimyasal bir gerçektir ve kullanılan hammadde kompozisyonu değişimine göre yaklaşık 0,525 civarında seyrederek sabit kalır.

Soru 19: ISO 14064 denetiminde "İzlenebilirlik" kanıtı olarak ne sunulmalıdır?

Cevap: Nihai emisyon rakamından geriye doğru; hesaplama tabloları, emisyon faktörü kaynakları, faturalar ve sayaç kalibrasyon belgeleri sunulmalıdır.

Soru 20: Demir-çelik sektöründe CBAM emisyon yoğunluğu hesabına hangi kapsamlar dahildir?

Cevap: CBAM uygulama aşamasına göre hem doğrudan (Scope 1 - yakıt ve proses) hem de dolaylı (Scope 2 - elektrik) emisyonların toplamı ürün miktarına bölünerek hesaplanır.