

Enerji Sektöründe Yapay Zekâ: Nerede Duruyoruz, Neye Hazırlanmalıyız?

Hasan Taylan TATAROĞLU -Elektrik-Elektronik Mühendisi / Bilgisayar Yüksek Mühendisi
httataroglu@gmail.com

Elektrik şebekesi uzun yıllar tek yönlü çalışan bir sistemdi. Enerji santralde üretilir, iletim ve dağıtım hatlarından geçerek tüketiciye ulaşırdı. Planlama bu akışa göre yapılır, işletme kararları büyük ölçüde deneyime dayanırdı.

Bugün bu yapı değişiyor. Çatı üstü güneş sistemleri, rüzgâr santralleri, depolama tesisleri ve elektrikli araç şarj istasyonlarının şebekeye eklenmesiyle enerji akışı çift yönlü hale geliyor ve tüketici aynı zamanda üretici olabiliyor. Üretim hava koşullarına, tüketim ise giderek daha değişken davranışlara bağlanıyor. İşletme mühendisinin karar verirken dikkate alması gereken değişken sayısı artıyor ve bu değişkenleri elle takip etmek giderek zorlaşıyor.

Yapay zekânın enerji sektöründe gündeme gelmesinin önemli nedenlerinden biri bu karmaşıklık. Mesele yeni bir teknolojiyi sektöre taşımaktan çok, var olan bir problemi daha yönetilebilir kılmak.

Sektör neden uygun bir alan?

İlk neden veri. SCADA sistemleri sürekli ölçüm alıyor, otomatik sayaç okuma sistemi kapsamındaki abonelerin tüketimi uzaktan toplanıyor, kesinti yönetim sistemleri arızaları ve müdahaleleri kayıt altına alıyor, saha denetimlerinde kullanılan drone'lar çok sayıda görüntü üretiyor. Bu verinin önemli bir kısmı yıllardır birikiyor, ancak çoğunlukla geçmişe dönük raporlama için kullanılıyor. Yapay zekâ yöntemleri, aynı birikimden ileriye dönük karar desteği üretmeyi mümkün kılıyor.

İkinci neden, problemlerin tekrarlayan yapısı. Arıza, kayıp, aşırı yüklenme ve ekipman yaşlanması sahada sürekli karşılaşılan olaylar; yapay zekâ yöntemleri de en iyi sonuçlarını bu tür tekrarlayan örüntülerde veriyor. Üçüncü neden, kazanımın ölçülebilir olması. Erken tespit edilen bir arıza ya da önlenen bir kesinti işletme göstergelerine doğrudan yansdığı için, bu alandaki yatırımlar somut göstergelerle değerlendirilebiliyor.

Uygulama alanları

Yapay zekâ bugün şebeke işletmesinin birçok aşamasında denenilen ya da kullanılan bir araç. Başlıca uygulama alanlarını şöyle gruplamak mümkün:

- ❖ **İşletme ve bakım:** ekipman yaşı, bakım geçmişi ve yük profilinden arıza riskini öngören kestirimci bakım modelleri; güç trafolarında yağ ve sıcaklık verilerinden yüklenme ve yaşlanma değerlendirmesi; arıza anında kaydedilen dalga şekillerinden arıza türünün ve yerinin belirlenmesi; kesinti süresinin tahmin edilerek müşterilere daha doğru bilgi verilmesi.
- ❖ **Saha ve varlık yönetimi:** drone ve termal kamera görüntülerinde izolator hasarı, bağlantı noktalarındaki ısınma ve direk hasarlarının tespiti; uydu görüntüleri ve LiDAR verisiyle hat altındaki bitki örtüsünün izlenmesi; yer altı kablo ve tesislerinin konumlarının doğrulanması; coğrafi bilgi sistemindeki varlık kayıtlarının saha verileriyle karşılaştırılması; saha görüntülerinden kişisel koruyucu donanım kullanımının denetlenmesi.
- ❖ **Planlama ve şebeke işletmesi:** kısa ve orta vadeli yük tahmini; güneş ve rüzgâr üretim tahmini; fiderlere bağlanabilecek ek üretim ve yük kapasitesinin değerlendirilmesi; bakım ve arıza ekiplerinin iş emirlerinin ve rotalarının planlanması.
- ❖ **Kayıp ve kaçak:** tüketim verilerindeki olağandışı örüntülerden şüpheli aboneliklerin önceliklendirilmesi; trafo bazında enerji dengesinden teknik ve teknik olmayan kayıpların ayrıştırılması.
- ❖ **Müşteri ve kurumsal süreçler:** çağrı merkezine gelen taleplerin sınıflandırılması ve yönlendirilmesi; bağlantı başvurularının ve proje dosyalarının ön kontrolü; mevzuat, şartname ve sözleşme metinlerinin taranmasında dil modellerinin kullanımı.

❖ **Siber güvenlik:** operasyonel ağlardaki olağandışı trafiğin ve yetkisiz erişim girişimlerinin tespiti.

Bu uygulamaların olgunluk düzeyleri birbirinden farklı. Bir kısmı sahada rutin kullanıma girmişken, bir kısmı hâlâ pilot aşamasında.

Değişen problem: kıtlıktan zamanlamaya

Şebeke işletmesi uzun süre kıtlığı yönetmek, yani talebi karşılayacak üretimi sağlamak üzerine kuruldu. Yenilenebilir kaynakların payı arttıkça bu tablo değişiyor. Güneş üretiminin payı yüksek olan şebekelerde öğle saatlerinde şebekeden çekilen net yük düşüyor, güneşin battığı akşam saatlerinde ise talep kısa sürede hızla yükseliyor. Literatürde "ördek eğrisi" olarak bilinen bu profil, sorunun enerjinin toplam miktarından çok ne zaman ve nerede olduğuna kaydığını gösteriyor.

Bu değişim dağıtım şebekesinde de doğrudan hissediliyor. Dağıtım şebekeleri, gücün trafo merkezinden tüketiciye doğru aktığı varsayımıyla tasarlandı. Dağıtık üretimin yoğunlaştığı fiderlerde öğle saatlerinde güç akışının yönü tersine dönebiliyor; fider sonlarında gerilim yükselmeleri, koruma koordinasyonunda sorunlar ve trafolarla beklenmedik yüklenmeler ortaya çıkabiliyor. Akşam saatlerinde elektrikli araç şarjının evsel tüketimin zirvesiyle çakışması ise aynı trafolarla ters yönde bir baskı oluşturabilir.

Bu tabloda tahminin önemi artıyor. Hava durumu tahminleri ve uydu görüntülerindeki bulut hareketleriyle beslenen kısa vadeli güneş üretim tahminleri, trafo ve fider düzeyinde net yük tahminleri ve bir fidere ne kadar ek üretim ya da yük bağlanabileceğini gösteren kapasite analizleri, yapay zekanın doğrudan katkı sağladığı alanlar arasında. Tahminin doğruluğu, bağlantı kararlarından gerilim kontrolüne kadar birçok işletme kararının kalitesini belirliyor.

Depolama sistemleri, esnek tüketim ve elektrikli araç şarjının zamanlanması bu dengeyi kurmanın araçları. Ancak bu araçlardan etkin biçimde yararlanabilmek, ne zaman şarj edileceğine

ya da hangi yükün kaydırılacağına dair kararların sürekli olarak ve çok sayıda değişken dikkate alınarak verilmesini gerektiriyor. Önümüzdeki dönemde üretim ve tüketim tahmininin, şebeke işletmesinde en çok değer kazanacak yetkinliklerden biri olması beklenebilir.

Şebekenin ucunu görmek

Alçak gerilim şebekesinde görünürlük de ayrı bir sorun. Sayacın arkasında artık yalnızca tüketim yok; güneş paneli, batarya, ısı pompası ve elektrikli araç aynı noktada bir araya gelebiliyor. Net ölçüm, üretimi ve tüketimi birbirinin içinde gizliyor. Sayaçların önemli bir kısmının hâlâ saha ekipleri tarafından periyodik olarak okunduğu da düşünülüğünde, dağıtım şirketinin şebekenin ucunda anlık olarak ne olduğunu görmesi daha da zorlaşıyor.



Her noktaya fiziksel sensör yerleştirmek ekonomik değil. Bu boşluğu doldurmanın gerçekçi yollarından biri, ölçülebilen büyüklüklerden ölçülemeyenleri kestiren modeller. Sanal ölçüm olarak adlandırılacak bu yaklaşımın, alçak gerilim şebekesinin izlenmesinde giderek daha fazla kullanılması beklenebilir.

Afetler ve şebeke direnci

Güvenilirlik göstergeleri şebekenin olağan koşullardaki performansını ölçer; büyük bir deprem, sel ya da yangında şebekenin ne kadar hasar gördüğü ve ne kadar sürede toparlandığı ise şebeke direncinin konusudur. Bu alanda yapay zekâ kullanmanın temel zorluklarından biri, öğrenilecek verinin az olması. Büyük afetler nadir yaşıyor ve her birinin kendine özgü koşulları var; olağan günlerin verisiyle eğitilmiş bir model afet koşullarında yanılabilir. Bu nedenle yapay zekâ bu alanda fiziksel simülasyonlarla birlikte kullanılmalı. Ekipman kırılma eğrileri, zemin koşulları ve şebeke topolojisi bir araya getirildiğinde, sahadan rapor gelmeden olası hasarın nerede yoğunlaşacağı tahmin edilebiliyor ve hangi tesis kaybının en geniş etkiyi yaratacağı önceden değerlendirilebiliyor.

Afetin ilk saatlerinde en kıt kaynak çoğu zaman bilgidir. Haberleşme altyapısı zarar gördüğünde SCADA'dan gelen veri de eksik kalıyor. Bu durumda erişilebilen ölçümlerin, çağrı merkezine gelen arıza ihbarlarının, uydu ve drone görüntülerinden çıkarılan hasar tespitlerinin ve saha bildirimlerinin birleştirilmesi, kesintinin sınırlarını belirlemeye yardımcı oluyor. Toparlanma aşamasında kritik yüklerin önceliklendirilmesi, mobil jeneratörlerin konumlandırılması ve sağlam kalan hatların yeniden yapılandırılması gibi kararların önceden hazırlanmış senaryolara dayanması, kriz anındaki kararların tutarlılığını artırır.

Yapay zekâ nerede çalışacak?

Yapay zekâ tartışmalarında genellikle modelin ne yapacağı konuşuluyor, nerede çalışacağı ise çoğu zaman ikinci planda kalıyor. Oysa enerji sektörü için bu soru en az birincisi kadar önemli. Şebeke işletmesine ait ölçüm, topoloji ve müşteri verileri kritik altyapı verisi niteliğinde. Bu verilerin yurt dışında barındırılan genel amaçlı bulut hizmetlerine gönderilmesi, hem bilgi güvenliği hem de kişisel verilerin korunması mevzuatı açısından sınırlamalara tabi.

Bu nedenle sektörde yapay zekâ kullanımının önemli ölçüde kurumların kendi altyapılarında ya da yurt içindeki güvenli ortamlarda çalışan modeller üzerinden ilerlemesi beklenebilir. Model seçimi yapılırken yalnızca başarıma değil, modelin kurum içinde çalıştırılabilir olmasına, donanım ihtiyacına ve bakımının kim tarafından yapılacağına da bakılmalı. Hesaplama altyapısı, yapay zekâ yatırımlarının bir parçası olarak baştan planlanmalı.

İlk yaygın kullanım: masa başı süreçler

Kamuoyunda yapay zekâ denince çoğu zaman kendi kendini yöneten bir şebeke akla geliyor. Kritik altyapıda bu tür bir otonomi, teknik olduğu kadar hukuki ve kurumsal soruları da beraberinde getiriyor. Bu nedenle yaygın kullanımın önce daha düşük riskli alanlarda gelişmesi daha olası: bağlantı başvurularının ön değerlendirmesi, proje onay süreçleri, mevzuat taraması, iş emri hazırlığı ve müşteri taleplerinin sınıflandırılması gibi.

Kontrol merkezlerinde de yapay zekânın önce karar veren değil, karar destekleyen bir rol üstlenmesi bekleniyor. Olay özetini çıkaran, anahtarlama planı taslağı hazırlayan ya da ilgili prosedürü operatörün önüne getiren sistemler operatörün

işini değiştirecek; ancak kritik kararlarda nihai onay ve sorumluluğun operatörde kalması gerekiyor.

Yapay zekâ sihir değil, mühendisliktir

Sahada sık karşılaşılan yanılgılardan biri, yapay zekâ projesini yalnızca bir model geliştirme işi olarak görmek. Oysa emeğin ve bütçenin önemli bir kısmı verinin toplanmasına, temizlenmesine, etiketlenmesine ve modelin mevcut sistemlere entegre edilmesine gidiyor. SCADA'ya, kesinti yönetim sistemine ya da iş akışına bağlanamayan bir model, laboratuvar da ne kadar iyi çalışırsa çalışsın sahada değer üretmez. Kurulduktan sonra izlenmeyen bir modelin performansı da şebeke ve işletme koşulları değiştikçe zamanla düşer.

Yöntem seçimi de soğukkanlılık istiyor. Yapay zekâ denince akla ilk olarak büyük ve karmaşık derin öğrenme modelleri geliyor. Oysa dağıtım şirketlerindeki verinin önemli bir kısmı tablo halinde: arıza kayıtları, ekipman bilgileri, sayaç okumaları. Bu tür veride karar ağacı tabanlı daha sade yöntemler çoğu zaman güçlü sonuçlar veriyor, daha az veriyle çalışabiliyor ve verdikleri kararların gerekçesi daha kolay açıklanabiliyor. Derin öğrenmenin belirgin üstünlüğü ise görüntü, ses ve metin gibi yapısız verilerde ortaya çıkıyor. Doğru soru "en gelişmiş yöntem hangisi" değil, "bu problem ve bu veri için hangisi uygun" olmalı.

Başarı ölçütü de dikkat gerektiriyor. Şebekede arıza, normal çalışmaya göre nadir bir olay. Her durumu "normal" diye sınıflandıran bir model bile kâğıt üzerinde yüksek doğruluk gösterebilir, ancak tek bir arızayı yakalamaz. Bu nedenle modelin gerçek arızaların ne kadarını yakaladığı ve verdiği uyarıların ne kadarının doğru çıktığı ayrı ayrı değerlendirilmeli. Hangisine öncelik verileceği ise bir işletme kararı: trafo merkezinde arızayı kaçırmanın bedeli, çoğu durumda boşuna ekip göndermenin bedelinden çok daha yüksek. Bu dengeyi kurabilecek olan, sahadaki maliyetleri bilen mühendis.

Fiziksel modellerle ilişki de doğru kurulmalı. Yük akışı ve kısa devre hesaplarının dayandığı fizik yasaları değişmiyor; ancak bu hesapların doğruluğu, kullanılan şebeke verisinin doğruluğuyla sınırlı. Dağıtım şebekelerinde topoloji, hat ve kablo parametreleri ya da anahtarlama durumları her zaman eksiksiz ve güncel değil. Yapay zekânın bu alandaki asıl katkısı fiziki ikame etmek değil; ölçüm verisinden şebeke modelindeki eksikleri ve hataları tespit etmek, fiziksel hesabın ihtiyaç duy-

duğu girdileri tamamlamak ve çok sayıda senaryonun hızla değerlendirilmesini sağlamak. Fiziğe dayanmayan bir modelin sonucu da, veriye dayanmayan bir hesabın sonucu da sahada yanıltıcı olabilir.

Güvenlik ve denetim

Operasyonel teknoloji ağlarının güvenliği, kurumsal bilgi sistemlerinden farklı ihtiyaçlara sahip. Saha haberleşmesinde kullanılan protokollerin önemli bir kısmı, güvenlik kaygılarının bugünkü kadar öne çıkmadığı dönemlerde tasarlandı ve temel tanımlarında kimlik doğrulama ya da şifreleme içermiyor. Bu protokollere güvenlik katmanı eklemeyi amaçlayan uluslararası standartlar bulunuyor. Ancak saha cihazlarının ekonomik ömrü uzun olduğundan, farklı nesillerden cihazlar uzun süre aynı şebekede birlikte işletiliyor ve güvenlik tasarımının bu gerçeği hesaba katması gerekiyor.

Yapay zekâ savunma tarafında da kullanılıyor. Operasyonel ağlardaki trafik, belirli cihazlar arasında periyodik ve tekrarlayan mesajlardan oluştuğu için genellikle kurumsal ağlara göre daha düzenli bir yapıda. Bu durum, normal davranışı öğrenip ondan sapmaları işaretleyen anomali tespit yöntemlerinin uygulanmasını kolaylaştırıyor. Bununla birlikte bakım çalışmaları, anahtarlama işlemleri ve arıza anlarında trafik doğal olarak değiştiğinden, yanlış alarmların yönetimi bu sistemlerin ayrılmaz bir parçası. Ağ trafiğine ek olarak ölçümlerin fiziksel tutarlılığı da bir kontrol katmanı olarak kullanılabilir. Aynı düğüme ait akım ölçümleri ya da bir hattın iki ucundaki değerler birbiriyle belirli ilişkiler içinde olmalı; ölçüm belirsizlikleri dikkate alındığında bu ilişkilerle açıklanamayan bir değer, incelenmesi gereken bir işaret olarak ele alınabilir.

Karar süreçleri modellere kaydıkça saldırı yüzeyi de genişliyor. Bir modeli yanıltmak için sisteme sızmak her zaman gerekmiyor. Eğitim verisinin bozulması, modelin uzun süre fark edilmeden yanlış öğrenmesine yol açabilir. Durum kestirimi

gibi hesaplamaların hatalı veri tespit mekanizmalarını atlatacak biçimde tasarlanmış sahte ölçümler, literatürde uzun süredir incelenen bir saldırı türü. Tedarik zinciri de ayrı bir risk alanı: dışarıdan alınan hazır modeller ve yazılım kütüphaneleri, yalnızca veri değil çalıştırılabilir kod da barındırabiliyor. Doküman okuyan ve işlem yapabilen dil modeli uygulamalarında ise işlenen metnin içine gizlenmiş talimatlarla modelin yönlendirilmesi, önemi giderek artan bir tehdit.

Bu nedenle bir modelin hangi güvenlik bölgesinde çalıştığı, hangi veriye erişebildiği ve hangi işlemleri yapmaya yetkili olduğu en baştan tasarlanmalı. Operasyonel veriyi alıp kurumsal ağda ya da dış bir ortamda işleyen bir model, farkında olmadan iki bölge arasında yeni bir geçiş noktası oluşturabilir. Modellerle en az yetki ilkesiyle erişim verilmesi ve kritik işlemlerde insan onayının korunması, güvenlik mimarisinin temel unsurları olmalı.

Kayıt ve izlenebilirlik de aynı çerçevede ele alınmalı. Kritik sistemlerde envanter tutmak, değişiklikleri yönetmek ve kayıt altına almak sektörün alışık olduğu uygulamalar. Operasyonel kararlarda kullanılan modellerin

de bu disipline dahil edilmesi, yani hangi modelin hangi sürümle ve hangi veriyle çalıştığının izlenebilmesi, hem işletme güvenliği hem de sonradan yapılacak değerlendirmeler açısından doğal bir adım.

Asıl değer veride ve tecrübede

Güçlü modeller her geçen gün daha erişilebilir hale geliyor. Bu durum, kurumlar arasındaki farkın giderek modelin kendisinden çok onu besleyen veriden ve o veriyi anlamlandıran ekipten kaynaklanacağını gösteriyor. Hazır bir model kolayca edinilebilir; ancak yıllara yayılan temiz ve tutarlı bir arıza kaydı sonradan üretilemez.

Bu noktada çoğu zaman göz ardı edilen bir konu var. Sektörde yıllar içinde biriken tecrübenin önemli bir kısmı kayıtlarda değil, kişilerde duruyor. Hangi fiderin kış aylarında sorun çıkarıldığını ya da hangi bölgede hangi ekipmanın erken yaşlandığını



bilen mühendisler emekli oldukça bu bilgi de kayboluyor. Bu tecrübenin kayıt altına alınması hem kurumsal hafıza hem de gelecekteki yapay zekâ çalışmaları için önemli.

Mühendisin rolü

Yapay zekâ elektrik mühendisinin yerini almıyor; işin niteliğini değiştiriyor. Rutin tarama ve takip işleri azalırken yorum, doğrulama ve karar verme işleri öne çıkıyor. Şebekenin giderek daha fazla yazılım ve veri üzerinden işletildiği bir dönemde, güç sistemini bilen ve yazılımla çalışabilen mühendislere duyulan ihtiyaç artıyor. Üniversite müfredatlarının ve meslek içi eğitimlerin bu ihtiyacı dikkate alması, meslek odalarımızın da bu yetkinliğin tanımlanmasında rol üstlenmesi önemli.

Kurumlarında bu alanda adım atmak isteyenler için önerim şu: önce elinizdeki veriyi tanıyın, ardından iş biriminin ger-

çekten çözmek istediği dar bir problemi seçin. Kısa süreli ve ölçülebilir bir pilotla başlayın, sonucu sayıyla ortaya koyun. Ölçeklendirmeyi ancak bundan sonra düşünün.

Sonuç

Enerji sektörü, yapay zekâ için hem uygun hem de yüksek sorumluluk gerektiren bir alan. Veri birikimi var, problemler somut ve kazanımlar ölçülebilir. Buna karşılık hataların sonuçları fiziksel ve bazen geri dönüşsüz.

Bu nedenle asıl tartışılması gereken, yapay zekânın kullanılıp kullanılmaması değil; hangi kararlarda, hangi denetimle ve hangi sorumluluk çerçevesinde kullanılacağı. Bu sorunun cevabında şebekeyi tanıyan mühendislerin belirleyici bir rolü olmalı.

JENERATÖR BAĞLANTISI GEREKÇESİYLE KESİLEN "KAÇAK ELEKTRİK" CEZALARINA KARŞI ÖRNEK İTİRAZ DİLEKÇELERİ

Elektrik Mühendisleri Odası Jeneratör bağlantısı gerekçesiyle "kaçak elektrik" cezası kesilen yurttaşlar için dağıtım şirketine itiraz ve Tüketici Hakem Heyeti başvurusu amacıyla kullanılabilecek örnek dilekçeler hazırladı.

Elektrik dağıtım şirketleri son dönemde binalardaki jeneratör geçiş sistemlerini (ATS/kontaktör) ve jeneratör motor ısıtıcısı besleme hatlarını gerekçe göstererek cezai işlemler uyguluyor. Bu gerekçeyle konut ve site sakinlerine "kaçak/usulsüz elektrik" cezası kesiliyor. EMO, cezaya muhatap kalan yurttaşlar için iki örnek dilekçe hazırladı: dağıtım şirketine yapılacak itiraz dilekçesi ve Tüketici Hakem Heyeti başvuru dilekçesi. Dilekçeler, sorunun yurttaşların kastından değil, yapım aşamasındaki projelendirme eksikliklerinden ve dağıtım şirketlerinin denetim görevini yerine getirmemesinden kaynaklandığını vurguluyor. 186 bin TL'ye kadar olan cezalarda Tüketici Hakem Heyeti'ne, bu tutarın üzeridekilerde ise Tüketici Mahkemesi'ne başvurulabiliyor.

Örnek dilekçeler aşağıda yer alan bağlantılardan indirilebilir:

https://emo.org.tr/uploads/files/news/2_6abfa188ef0f50.13970616.pdf

https://emo.org.tr/uploads/files/news/1_6abfa16fa59c03.84895036.pdf

