# **AEMOS Voltura Platformu: Kapsamlı Ürün Gereksinimleri Dokümanı (PRD)**

## **Bölüm 1: Stratejik Çerçeve ve Platform Vizyonu**

Bu bölüm, AEMOS Voltura platformunun stratejik temelini, pazardaki konumlandırmasını ve iş hedeflerini, derinlemesine bir pazar analizi ve küresel araştırmalar ışığında ortaya koymaktadır.

### **1.1. AEMOS Voltura: Endüstriyel Enerji Yönetiminde Yeni Bir Paradigma**

Türkiye'deki sanayi işletmeleri ve Organize Sanayi Bölgeleri (OSB'ler), benzeri görülmemiş bir dönüşümün eşiğindedir. Bu dönüşüm, üç temel ve birbiriyle derinden bağlantılı zorluk tarafından tetiklenmektedir: (1) Artan ve öngörülemeyen enerji maliyetleri 1, (2) Reaktif güç cezaları gibi operasyonel verimsizliklerin getirdiği gizli maliyetler 1, ve (3) Avrupa Birliği (AB) Yeşil Mutabakatı ve Sınırda Karbon Düzenleme Mekanizması (CBAM) gibi yeni regülasyonların yarattığı karmaşık uyumluluk ve maliyet baskısı.1 Bu sorunlar, artık sadece birer maliyet kalemi olmaktan çıkmış, işletmelerin operasyonel dayanıklılığını, rekabet gücünü ve uluslararası pazarlara erişimini doğrudan tehdit eden stratejik risklere dönüşmüştür.

Pazardaki mevcut enerji yönetimi çözümleri, genellikle bu sorunlardan yalnızca birine, çoğunlukla enerji verimliliğine odaklanmaktadır.1 AEMOS Voltura ise bu parçalı yaklaşımların aksine, bu üç temel soruna tek bir entegre platform üzerinden bütüncül bir çözüm sunarak endüstriyel enerji yönetiminde yeni bir paradigma yaratmaktadır. AEMOS Voltura, bir "Enerji-olarak-Hizmet" (EaaS - Energy-as-a-Service) platformu olarak, müşterilerinin sadece enerji tüketimini izlemesini değil, aynı zamanda enerji risklerini yönetmesini, yeni gelir akışları yaratmasını ve stratejik uyumluluk sağlamasını mümkün kılan bir operasyonel zeka katmanı sunar.

### **1.2. Değer Önerisi ve İş Hedefleri**

AEMOS Voltura'nın değer önerisi, müşterilerimizin en acil ve stratejik sorunlarına odaklanan üç temel sacayağı üzerine inşa edilmiştir:

1. **Maliyetleri Minimize Et:** Platform, yapay zeka (AI) destekli optimizasyon motoru ve otonom reaktif güç yönetimi modülü ile enerji faturalarında somut ve hızlı tasarruflar sağlar. Hedefimiz, müşterilerimizin reaktif ceza maliyetlerinde ilk yılda %50'ye varan azalma 1 ve genel enerji giderlerinde %15 ila %30 arasında bir tasarruf elde etmesidir.1
2. **Yeni Gelir Kaynakları Yarat:** Tesislerin atıl durumdaki varlıklarını (örneğin, çatı üstü güneş enerjisi santrallerinin (GES) fazla üretimi) gelire dönüştürmek. Blokzincir tabanlı Eşten Eşe (P2P) Enerji Ticareti modülümüz, bu fazla enerjinin güvenli ve şeffaf bir şekilde diğer tüketicilere satılmasına olanak tanıyarak müşterilerimize yeni bir gelir akışı sunar.1
3. **Stratejik Uyumluluğu Otomatize Et:** CBAM ve diğer Çevresel, Sosyal ve Yönetişim (ESG) raporlama yükümlülüklerini, karmaşık ve maliyetli danışmanlık hizmetlerine olan ihtiyacı ortadan kaldırarak, tek bir tıkla otomatize etmek. Bu, müşterilerimizin sadece yasal uyumluluğu sağlamasını değil, aynı zamanda ihracat pazarlarında şeffaflık ve sürdürülebilirlik üzerinden rekabet avantajı elde etmesini de mümkün kılar.1

Bu değer önerileri, aşağıdaki net ve ölçülebilir iş hedeflerine dönüştürülmüştür:

* **Finansal Hedef:** Birinci yılın sonunda 11 Milyon TL Yıllık Tekrarlayan Gelir (ARR) seviyesine ulaşmak.1
* **Pazara Giriş:** İlk 12 ay içinde 10'dan fazla OSB ve 50'den fazla KOBİ'yi platforma dahil etmek.1
* **Ürün Güvenilirliği:** %99.8'in üzerinde sistem çalışma süresi (uptime) sağlamak, bu da 20 dakikadan az bir Kurtarma Süresi Hedefine (RTO) karşılık gelir.1
* **Performans:** Sistem genelinde p95 API yanıt süresini 150 milisaniyenin altında tutmak.1

### **1.3. Stratejik Konumlandırma ve Mimari Felsefe**

AEMOS Voltura'nın başarısı, sadece sunduğu özelliklere değil, aynı zamanda bu özellikleri nasıl bir stratejik çerçeve içinde konumlandırdığına ve teknik mimarisinin bu stratejiyi nasıl desteklediğine bağlıdır.

**Pazar Konumlandırması: "Finansal ve Operasyonel Dayanıklılık Platformu"**

Pazardaki rakiplerin çoğu, kendilerini "enerji verimliliği" veya "%10-15 tasarruf" vaadi etrafında konumlandırmaktadır.1 Bu, önemli bir fayda olmakla birlikte, müşterilerimizin karşı karşıya olduğu risklerin yalnızca bir boyutunu ele almaktadır. Sanayi işletmeleri için asıl sorun, sadece yüksek faturalar değil, aynı zamanda öngörülemeyen maliyetler (reaktif cezalar), karmaşık ve sürekli değişen regülasyonlar (CBAM) ve atıl varlıkların getirdiği fırsat maliyetleridir.1

AEMOS Voltura, bu dar "tasarruf" söyleminin ötesine geçerek, kendisini bir **"Finansal ve Operasyonel Dayanıklılık Platformu"** olarak konumlandırır. Pazarlama ve ürün dilimiz, "enerji maliyetlerinizi öngörülebilir kılın, regülasyon risklerinizi yönetin ve atıl varlıklarınızdan yeni gelirler yaratın" mesajını merkezine alacaktır. Bu stratejik konumlandırma, AEMOS'u basit bir maliyet düşürme aracından, müşterinin iş sürekliliğini ve rekabet gücünü artıran stratejik bir ortağa dönüştürür.

**Mimari Felsefe: Modülerlikten Doğan İş Esnekliği**

Teknik dokümanlarda belirtilen modüler mikroservis mimarisi 1, sadece bir mühendislik tercihi değil, aynı zamanda temel bir iş modeli felsefesidir. Hedef kitlemizdeki farklı segmentlerin (KOBİ, büyük sanayi, YEK üreticisi) ihtiyaçları birbirinden farklıdır.1 Örneğin, bir KOBİ için en acil sorun reaktif ceza iken, ihracat odaklı bir tekstil fabrikası için CBAM raporlaması hayati önem taşımaktadır.

Tüm özellikleri tek bir monolitik paket olarak sunmak, birçok müşteri için gereksiz maliyet ve karmaşıklık yaratacaktır. Modüler mimarimiz, bu sorunu çözerek bize esnek bir pazara giriş stratejisi sunar. Müşterilerimize "Lite", "Pro" ve "Enterprise" gibi katmanlı abonelik modelleri sunabileceğiz.1 Bir müşteri, sadece "Reaktif Ceza Önleme" modülünü içeren Lite paket ile başlayıp, yatırımının geri dönüşünü gördükten sonra "CBAM & ESG Uyum" veya "P2P Ticaret" gibi modüllere kolayca yükseltme yapabilir. Bu "land-and-expand" (karaya çık ve genişle) stratejisi, müşteri edinme maliyetini düşürürken, müşteri yaşam boyu değerini (Customer Lifetime Value - CLV) maksimize eder. Dolayısıyla, teknik mimarimiz, doğrudan ticari esnekliğimizin ve büyüme potansiyelimizin temelini oluşturmaktadır.

## **Bölüm 2: Temel Platform Mimarisi ve Teknik Prensipler**

Bu bölüm, AEMOS Voltura platformunun teknik omurgasını oluşturan mimari kararları, teknoloji seçimlerini ve bu seçimlerin arkasındaki stratejik gerekçeleri detaylandırmaktadır. Platform, en başından itibaren ölçeklenebilirlik, güvenlik, esneklik ve güvenilirlik prensipleri üzerine inşa edilmiştir.

### **2.1. Mimari Temeller: Mikroservis, Olay Yönelimli ve Bulut-Yerel Yaklaşım**

AEMOS Voltura, geleneksel monolitik mimarilerin getirdiği katılık ve bakım zorluklarından kaçınarak, modern bir **mikroservis mimarisini** benimser.1 Bu yaklaşımda, platformun her bir temel işlevi (örneğin, Dijital İkiz Yönetimi, Reaktif Ceza Motoru, P2P Ticaret Pazaryeri, Raporlama) birbirinden bağımsız olarak geliştirilebilen, test edilebilen, dağıtılabilen ve ölçeklendirilebilen ayrı servisler olarak tasarlanmıştır. Bu yapı, farklı modüllerden sorumlu olacak olan geliştirme ekiplerinin paralel ve verimli bir şekilde çalışmasına olanak tanır.

Servisler arası iletişim, sıkı bağımlılıklar yaratan doğrudan REST çağrıları yerine, **olay-yönelimli (event-driven)** bir modelle sağlanacaktır. Bu modelin merkezinde, yüksek verimli ve dayanıklı bir mesajlaşma sistemi olan **Apache Kafka** yer almaktadır.1 Bir servis, kendi alanında önemli bir olay gerçekleştiğinde (örneğin, yeni bir ölçüm verisi alındığında veya bir alarm tetiklendiğinde), bu olayı bir Kafka konusuna (topic) yayınlar. İlgili diğer servisler bu konuyu dinleyerek asenkron bir şekilde tepki verir. Bu gevşek bağlı (loosely coupled) yapı, sistemin genel esnekliğini ve dayanıklılığını artırır; bir serviste yaşanacak anlık bir yavaşlama veya hata, diğer servislerin çalışmasını doğrudan etkilemez.

Tüm platform altyapısı, **bulut-yerel (cloud-native)** prensiplerle tasarlanmıştır. Mikroservisler, **Docker** konteynerleri olarak paketlenecek ve **Kubernetes** üzerinde orkestre edilecektir.1 Bu, bize altyapıdan bağımsızlık, otomatik ölçeklendirme, kendi kendini iyileştirme (self-healing) ve farklı bulut sağlayıcıları (AWS, Azure) arasında taşınabilirlik gibi kritik avantajlar sunar.1

### **2.2. Uç (Edge) ve Bulut (Cloud) Hibrit Stratejisi**

Platformumuz, sahadaki gerçek zamanlı ihtiyaçlar ile bulutun güçlü analitik yeteneklerini birleştiren hibrit bir mimari üzerine kuruludur.1

* **Uç (Edge) Katmanı:** Müşteri tesislerinde (fabrikalar, OSB'ler) konumlandırılan **NVIDIA Jetson** veya **Intel NUC** tabanlı güçlü Edge Gateway cihazları, bu katmanın temelini oluşturur.1 Bu cihazların temel görevleri şunlardır:
  + **Protokol Çevrimi ve Veri Toplama:** Sahadaki heterojen endüstriyel cihazlardan (PLC'ler, SCADA sistemleri, enerji analizörleri) Modbus, OPC-UA, Profinet gibi farklı protokollerle saniyelik veri toplamak.1
  + **Düşük Gecikmeli Kontrol:** Milisaniyeler içinde tepki verilmesi gereken kritik kontrol döngülerini (örneğin, bir makinenin acil durdurulması veya bir kompanzasyon kademesinin anlık anahtarlanması) yerel olarak çalıştırmak.
  + **Veri Ön İşleme:** Ham veriyi buluta göndermeden önce filtreleme, sıkıştırma ve temel anomali tespiti gibi ön işlemlerden geçirerek buluta giden ağ trafiğini ve maliyetini optimize etmek.1
  + **Çevrimdışı Yetenek:** Bulut bağlantısı koptuğunda bile temel veri toplama ve kontrol işlevlerini sürdürerek operasyonel devamlılığı sağlamak.
* **Bulut (Cloud) Katmanı:** **AWS** veya **Azure** gibi lider bulut sağlayıcıları üzerinde çalışan merkezi altyapımız, platformun beyni olarak işlev görür.1 Bu katmanın sorumlulukları:
  + **Büyük Veri Depolama ve Analitiği:** Milyonlarca cihazdan gelen terabaytlarca zaman serisi verisini uzun vadeli olarak depolamak ve üzerinde karmaşık analitik sorgular çalıştırmak.
  + **İleri Seviye AI/ML:** Yoğun hesaplama gücü gerektiren makine öğrenmesi modellerinin (derin öğrenme, pekiştirmeli öğrenme) eğitimi ve çalıştırılması.
  + **Merkezi İş Mantığı:** P2P enerji ticareti eşleştirme motoru, karmaşık faturalandırma kuralları ve kurumsal seviye raporlama gibi merkezi iş mantığını barındırmak.
  + **Kullanıcı Arayüzleri ve API'ler:** Web ve mobil uygulamalara, ayrıca üçüncü parti sistemlere veri sunan tüm API'leri barındırmak.

### **2.3. Veri Omurgası: MQTT → Kafka → TimescaleDB Akışı**

Platformun veri omurgası, saniyede yüz binlerce mesajı 1 güvenilir, ölçeklenebilir ve düşük gecikmeyle işlemek üzere tasarlanmış, endüstri standardı teknolojilerden oluşan bir akış hattıdır:

1. **MQTT (Veri Alımı):** Uç cihazlar ve Edge Gateway'ler, telemetri verilerini hafif ve verimli bir yayınla/abone ol (publish/subscribe) protokolü olan MQTT üzerinden, TLS ile şifrelenmiş güvenli bir kanalla (MQTTS) buluttaki **EMQX** gibi yatay ölçeklenebilir bir MQTT broker kümesine yayınlar.1
2. **Apache Kafka (Olay Akışı Platformu):** MQTT broker'ına gelen tüm mesajlar, anında ilgili bir Kafka konusuna (topic) köprülenir. Dağıtık bir olay akış platformu olan Kafka, gelen verileri dayanıklı, sıralı ve tekrar oynatılabilir bir şekilde depolayarak sistem için birincil "gerçeklik kaynağı" (source of truth) ve tampon görevi görür. Bu yapı, anlık veri patlamalarını (bursts) sorunsuzca yönetmemizi ve farklı mikroservislerin aynı veri akışını bağımsız olarak tüketmesini sağlar.1
3. **TimescaleDB (Zaman Serisi Veritabanı):** Kafka akışındaki ham zaman serisi verileri, uzun vadeli depolama ve yüksek performanslı sorgulama için PostgreSQL tabanlı ve IoT verileri için özel olarak optimize edilmiş **TimescaleDB**'ye yazılır.1 TimescaleDB'nin hiper-zaman tablosu (hypertable) yapısı, otomatik bölümleme (partitioning), yerel sıkıştırma ve veri ömür döngüsü yönetimi (retention policies) gibi özellikleriyle, büyük ölçekli enerji verilerinin verimli bir şekilde yönetilmesini sağlar.1

### **2.4. Çoklu Kiracılık (Multi-Tenancy) ve Veri İzolasyonu**

AEMOS Voltura, tek bir altyapı üzerinde birden fazla kurumsal müşteriye (kiracıya) hizmet verecek şekilde tasarlanmıştır. Bu mimaride, bir müşterinin verilerinin başka bir müşteri tarafından hiçbir koşulda görülememesi veya etkilenememesi için katı bir izolasyon sağlanması en yüksek önceliktir. Bu izolasyon, platformun her katmanında uygulanır:

* **Altyapı ve Ağ İzolasyonu:** Kubernetes üzerinde her müşteri için ayrı bir **Namespace** oluşturulur. Bu, her müşterinin mikroservislerinin, yapılandırmalarının ve kaynaklarının (CPU/bellek kotaları) mantıksal olarak tamamen ayrılmasını sağlar. Kubernetes Ağ Politikaları (Network Policies) ile bir namespace'in diğerine erişimi varsayılan olarak engellenir.1
* **Veritabanı İzolasyonu:** Veritabanı düzeyinde, her müşteri için **ayrı bir veritabanı şeması (schema)** kullanılır. Bu, en güvenli yaklaşımlardan biridir çünkü bir müşterinin veritabanı kullanıcısı, diğer müşterilerin tablolarına SQL seviyesinde erişemez. Bu, uygulama katmanında olası bir hatanın veri sızıntısına yol açmasını engeller.1
* **Uygulama ve API İzolasyonu:** Platforma yapılan tüm API istekleri, kullanıcının kimliğini, rolünü ve en önemlisi **kiracı kimliğini (tenant ID)** içeren bir **JSON Web Token (JWT)** ile doğrulanır. API Gateway ve tüm arka uç mikroservisleri, bu JWT'yi ayrıştırarak gelen isteğin hangi kiracıya ait olduğunu anlar ve tüm veritabanı sorgularını ve iş mantığını yalnızca o kiracının verileri üzerinde çalıştırır.1

Bu çok katmanlı izolasyon stratejisi, müşterilerimize kendi özel bulutlarında çalışıyormuş gibi bir güvenlik ve gizlilik seviyesi sunar.

### **2.5. Mimari Kararların Stratejik Yansımaları**

Seçilen teknik mimari, sadece bir dizi mühendislik kararından ibaret değildir; aynı zamanda AEMOS Voltura'nın temel iş vaatlerinin ve rekabet avantajının teknik bir yansımasıdır.

Platformumuzun mimarisi, müşterilerimize sunduğumuz **güvenilirlik, ölçeklenebilirlik ve güvenlik** vaatlerinin somut birer kanıtıdır. Mikroservis yapımız, bir modüldeki hatanın tüm sistemi etkilemesini önleyerek operasyonel **güvenilirlik** sağlar. Olay-yönelimli Kafka omurgamız, anlık yoğunluklarda bile veri kaybını önleyerek veri bütünlüğünü garanti eder. Edge+Cloud hibrit modelimiz, internet kesintilerinde bile yerel operasyonların devamlılığını sağlayarak iş sürekliliğini destekler. Son olarak, çok katmanlı kiracı izolasyon modelimiz, müşteri verilerinin mutlak **güvenliğini** temin eder.

Bu nedenle, bu teknik üstünlükler, pazarlama ve satış süreçlerimizde müşterilerimizin anlayacağı dilde birer fayda olarak sunulmalıdır. "AEMOS Voltura, bir parçası arızalansa bile çalışmaya devam eden modüler yapısıyla üretiminizi asla yarıda bırakmaz" veya "Verileriniz, size özel ayrılmış dijital kasalarda saklanır ve başka hiç kimse tarafından erişilemez" gibi mesajlar, teknik mimarimizin müşteriye sunduğu somut değeri doğrudan ifade eder.

## **Bölüm 3: Modül Derinlemesine Analizi: Akıllı Dijital İkiz (Intelligent Digital Twin)**

Bu bölüm, AEMOS Voltura platformunun merkezinde yer alan Akıllı Dijital İkiz modülünü, küresel endüstri uygulamaları, teknik gereksinimler ve stratejik entegrasyon perspektifiyle derinlemesine incelemektedir.

### **3.1. Stratejik Analiz: Enerji Sektöründe Dijital İkizlerin Küresel Uygulamaları ve Evrimi**

Dijital ikiz teknolojisi, statik 3D modellerden çok daha fazlasını ifade eden bir paradigma değişimini temsil etmektedir. Fiziksel bir varlığın veya sürecin, gerçek zamanlı verilerle sürekli senkronize olan dinamik bir sanal kopyası olarak tanımlanan dijital ikizler, yapay zeka entegrasyonu ile pasif izleme araçlarından, kendi kendini anlayan, öğrenen ve optimize eden akıllı sistemlere dönüşmüştür.1 Bu evrim, üç temel aşamada incelenebilir:

**Dijital Model** (statik temsil), **Dijital Gölge** (tek yönlü veri akışı) ve **Gerçek Dijital İkiz** (çift yönlü, entegre veri ve kontrol akışı).1

Enerji sektörü, bu teknolojinin en dönüştürücü etkilerinin görüldüğü alanlardan biridir. Küresel liderler olan Siemens, Schneider Electric, GE, Ansys ve Volue gibi şirketlerin vaka çalışmaları, dijital ikizlerin somut faydalarını net bir şekilde ortaya koymaktadır. Bu faydalar arasında operasyonel verimlilikte %15-20 artış, plansız duruş sürelerinde %30-75'e varan azalma ve bakım maliyetlerinde %25-30 düşüş gibi çarpıcı sonuçlar bulunmaktadır.1 Örneğin, GE Renewable Energy, rüzgar türbinlerinin dijital ikizlerini kullanarak enerji üretimini optimize ederken 5, Siemens Energy, şebeke istikrarını sağlamak için güç şebekelerinin dijital ikizlerini kullanmaktadır.6 Bu küresel uygulamalar, AEMOS Voltura'nın dijital ikiz vizyonunun temelini oluşturmakta ve platformumuzun dünya standartlarında bir yetenek seti sunmasını sağlamaktadır.

### **3.2. Temel Fonksiyonel Gereksinimler**

AEMOS Voltura'nın Dijital İkiz modülü, aşağıdaki temel fonksiyonel gereksinimleri karşılayacak şekilde tasarlanacaktır:

* **Varlık Modelleme ve Hiyerarşi:** Kullanıcıların, tesislerindeki tüm enerji altyapısını (trafolar, ana dağıtım panoları, makineler, GES, batarya depolama sistemleri vb.) platform üzerinde hiyerarşik bir yapıda dijital olarak modelleyebilmesi. Bu model, fiziksel bağlantıları ve ilişkileri yansıtmalıdır.1
* **Gerçek Zamanlı Senkronizasyon:** Sahadaki IoT sensörlerinden gelen saniyelik verilerle 1 dijital modelin sürekli ve anlık olarak güncellenmesi. Bu, fiziksel varlığın durumu ile sanal kopyası arasında tam bir tutarlılık sağlayarak, dijital ikizin "canlı" olmasını temin eder.8
* **Simülasyon ve "What-If" Analizi:** Kullanıcıların, "üretim planını değiştirirsem pik talebim nasıl etkilenir?" veya "yeni bir makine eklersem trafo kapasitem yeterli olur mu?" gibi senaryoları, fiziksel sisteme müdahale etmeden ve risk almadan sanal ortamda güvenle test edebilmesi. Bu yetenek, özellikle operasyonel planlama ve yatırım kararlarında kritik bir rol oynar.1
* **Görselleştirme:** Enerji akışlarının, tek hat şemaları, topolojik görünümler ve ısı haritaları (heatmaps) gibi sezgisel arayüzler üzerinden görselleştirilmesi. Bu, operatörlerin karmaşık sistemleri bir bakışta anlamasını sağlar.1 Gelecek sürümlerde 3D ve Artırılmış Gerçeklik (AR) arayüzleri de yol haritasında yer almaktadır.
* **Kestirimci Bakım (Predictive Maintenance):** Ekipmanların çalışma verilerini (akım, gerilim, sıcaklık, titreşim vb.) sürekli analiz ederek potansiyel arızaları meydana gelmeden önce tahmin etmek. Bu, reaktif bakımdan proaktif bakıma geçişi sağlayarak plansız duruşları ve bakım maliyetlerini önemli ölçüde azaltır.1

### **3.3. AEMOS Voltura Entegrasyon Stratejisi**

AEMOS Voltura'nın dijital ikiz entegrasyon stratejisi, bu teknolojiyi basit bir izleme aracından, tüm platformun üzerine inşa edildiği akıllı bir operasyonel katmana dönüştürmeyi hedefler. Bu strateji, **ISO 23247** gibi endüstriyel dijital ikiz çerçevelerinin referans mimarisinden ilham almaktadır.14 Bu mimari, sistemi dört ana katmana ayırır:

1. **Fiziksel Katman (Observable Manufacturing):** Sahadaki sensörler, aktüatörler ve makineler.
2. **İletişim Katmanı (Device Communication):** Veri toplama ve kontrol sinyallerinin iletimi (AEMOS'ta MQTT ve Edge Gateway'ler).
3. **Dijital İkiz Katmanı (Digital Twin Entity):** Sanal modellerin, simülasyonların ve analitiklerin bulunduğu katman (AEMOS'ta bulut tabanlı mikroservisler).
4. **Kullanıcı Katmanı (User Entity):** Kullanıcı arayüzleri, raporlar ve üçüncü parti uygulamalar.

Bu yapıya uygun olarak, AEMOS'taki entegrasyon akışı şu şekilde olacaktır:

* **Veri Toplama:** Edge Gateway, sahadaki varlıklardan saniyelik verileri toplayacak ve MQTT üzerinden buluta iletecektir.
* **Model Oluşturma:** Kullanıcılar, platform arayüzü üzerinden tesislerinin hiyerarşik yapısını (örneğin, OSB → Fabrika → Pano → Makine) sürükle-bırak yöntemiyle kolayca tanımlayacaktır. Her bir varlık, platformda kendine özgü meta verileri ve davranışsal modelleri olan bir dijital ikiz nesnesi olarak yaratılacaktır.
* **Senkronizasyon:** Gelen telemetri verileri, Kafka üzerinden ilgili dijital ikiz nesnesine yönlendirilerek sanal modelin durumu anlık olarak güncellenecektir.
* **Analiz ve Simülasyon:** Platformun diğer modülleri (AI/ML, Reaktif Güç vb.), analizlerini ve optimizasyonlarını doğrudan dijital ikiz verileri üzerinde çalıştıracaktır.

### **3.4. Stratejik Yansımalar ve Konumlandırma**

**Dijital İkiz: Platformun Bağlam Sağlayıcısı**

AEMOS Voltura platformu, Reaktif Ceza Motoru, P2P Ticaret ve AI Optimizasyon gibi birçok güçlü modülden oluşmaktadır.1 Ancak bu modüllerin hiçbiri tek başına bir anlam ifade etmez. Bir veri noktası, örneğin "reaktif güç %35", hangi trafodan, hangi makine çalışırken, hangi üretim vardiyasında geldiği bilgisi olmadan eyleme dönüştürülemez. İşte bu noktada Dijital İkiz modülü devreye girer. Dijital İkiz, platformdaki her bir veri noktasına

**bağlam (context)** kazandırır. Veriyi, fiziksel bir varlıkla, onun operasyonel durumuyla ve diğer varlıklarla olan ilişkisiyle birleştirir.

Bu nedenle, Dijital İkiz modülü, diğer tüm modüllerin üzerine inşa edildiği temel katmandır. P2P modülü, bir "sayaçtan" gelen veriyi değil, bir "dijital ikizin" enerji fazlasını satar. AI modülü, bir "zaman serisini" değil, bir "dijital ikizin" davranışını analiz eder. Bu temel anlayış, ürün geliştirme yol haritamızda Dijital İkiz modülüne en yüksek önceliğin verilmesini gerektirir.

**"Değer Boşluğu" Riskine Karşı AEMOS'un Çözümü**

Sektör araştırmaları, dijital ikiz teknolojisinde yüksek benimsenme oranlarına rağmen, kullanıcı memnuniyetinin ve elde edilen değerin beklentilerin altında kaldığı bir **"Değer Boşluğu"** (Value Gap) olgusuna işaret etmektedir.1 Bunun temel nedenleri arasında veri kalitesi sorunları, eski sistemlerle entegrasyon zorlukları ve teknolojinin kendisinin karmaşıklığı yer almaktadır.1

AEMOS Voltura, mimarisini en başından itibaren bu boşluğu kapatmak üzere tasarlamıştır. Edge+Cloud yapımız, eski sistemlerle (legacy systems) entegrasyonu kolaylaştırırken 1, merkezi veri omurgamız veri kalitesini ve tutarlılığını güvence altına alır.1 Ancak en önemli farkımız,

**LLM Destekli Akıllı Asistanımızdır** (Bölüm 8). Bu asistan, teknolojinin karmaşıklığını kullanıcıdan soyutlar. Kullanıcı, karmaşık panelleri ve grafikleri analiz etmek yerine, "En verimsiz çalışan makinem hangisi ve neden?" gibi doğal dilde sorular sorarak doğrudan değere ulaşır.1 Bu yaklaşım, AEMOS'un pazarlama stratejisinin merkezinde yer almalıdır: "Dijital ikizin karmaşıklığını ortadan kaldırıyor, size sadece faydasını sunuyoruz." Bu, "Değer Boşluğu" sorununa doğrudan bir yanıttır ve platformumuz için önemli bir rekabet avantajı oluşturur.

### **3.5. Önerilen Tablo: Lider Dijital İkiz Platformlarının Karşılaştırmalı Özellik Analizi**

Aşağıdaki tablo, AEMOS Voltura'nın dijital ikiz yeteneklerini sektör liderleriyle karşılaştırarak konumlandırmamızı netleştirmektedir.

| Platform Adı | Odaklandığı Sektör | Modelleme Yeteneği | Simülasyon Kabiliyeti | Gerçek Zamanlı Senkronizasyon | AI/ML Entegrasyonu | Görselleştirme | AEMOS Voltura Karşılığı/Avantajı |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Siemens MindSphere / Xcelerator** | Üretim, Enerji, Otomotiv | Fizik ve Veri Tabanlı | Kapsamlı (PLM entegre) | Evet | Güçlü (Kestirimci Bakım) | 3D, PLM | Voltura, daha esnek, bulut-yerel ve KOBİ'lere uygun maliyetli bir alternatif sunar. P2P ve CBAM gibi niş enerji odaklı modülleri vardır.1 |
| **Schneider EcoStruxure** | Enerji Yönetimi, Binalar | Veri Tabanlı | Sınırlı (Operasyonel) | Evet | Güçlü (Varlık Danışmanı) | 2D, Şemalar | Voltura, daha derin operasyonel kontrol (reaktif güç) ve yenilikçi iş modelleri (P2P ticaret) sunar. LLM asistanı ile kullanıcı deneyiminde farklılaşır.1 |
| **Ansys Twin Builder** | Mühendislik, Tasarım | Fizik Tabanlı (Yüksek Hassasiyet) | Çok Güçlü (FEA/CFD) | Evet (ROM'lar ile) | Sınırlı (Model Kalibrasyonu) | 3D Simülasyon | Ansys tasarım odaklıyken, Voltura operasyonel optimizasyon odaklıdır. Voltura, Ansys ROM'larını bir girdi olarak kullanabilir ve operasyonel zeka katmanı ekleyebilir.20 |
| **GE Predix** | Havacılık, Enerji, Üretim | Veri Tabanlı | Güçlü (Varlık Performansı) | Evet | Güçlü (Kestirimci Analitik) | 2D Paneller | Predix büyük ölçekli kurumsal çözümlere odaklanırken, Voltura OSB ve KOBİ'ler için daha çevik ve modüler bir SaaS çözümü sunar.23 |
| **Volue** | Enerji Şebekeleri, Su | Coğrafi ve Veri Tabanlı | Şebeke Analizi | Evet | Sınırlı | GIS, 2D Şemalar | Volue, şebeke operatörlerine odaklanırken, Voltura doğrudan endüstriyel tüketicilere ve üreticilere odaklanır, tesis içi optimizasyon sağlar.26 |

## **Bölüm 4: Modül Derinlemesine Analizi: Yapay Zeka Destekli Optimizasyon Motoru**

Bu bölüm, AEMOS Voltura platformunun zeka katmanını oluşturan AI/ML motorunu, kullanılan algoritmaları, küresel en iyi uygulamaları ve platforma entegrasyon stratejisini detaylandırmaktadır.

### **4.1. Stratejik Analiz: Endüstriyel Enerji Yönetiminde Yapay Zeka Uygulamaları**

Yapay zeka (AI) ve makine öğrenmesi (ML), endüstriyel enerji yönetimini reaktif bir maliyet merkezinden, proaktif ve veriye dayalı bir optimizasyon alanına dönüştürmektedir. Geleneksel, kural tabanlı sistemlerin aksine, AI algoritmaları büyük ve karmaşık veri setlerindeki gizli kalıpları, korelasyonları ve anomalileri ortaya çıkararak, insan operatörlerin gözden kaçırabileceği verimlilik fırsatlarını tespit edebilir.27 Küresel çapta yapılan uygulamalar, AI tabanlı enerji yönetiminin somut ve ölçülebilir faydalarını kanıtlamıştır. Örneğin, kestirimci bakım uygulamaları bakım maliyetlerinde %25-30, plansız duruşlarda ise %70-75'e varan azalmalar sağlayabilmektedir.30 Bu stratejik analiz, AEMOS'un AI motorunun temelini oluşturan temel uygulama alanlarını (tüketim tahmini, anomali tespiti, kestirimci bakım) ve bu alanlardaki en iyi pratikleri incelemektedir.

### **4.2. Çekirdek Tahminleme ve Anomali Tespiti Yetenekleri**

Platformumuzun AI motoru, temel olarak iki kritik yetenek üzerine inşa edilecektir: geleceği öngörme ve normalden sapmaları tespit etme.

* **Enerji Tüketim Tahmini:** Tesislerin kısa (1-24 saat) ve uzun vadeli (1-30 gün) enerji tüketimlerini yüksek doğrulukla tahmin etmek, proaktif enerji alımı, talep yönetimi ve bütçeleme için kritik öneme sahiptir. Bu amaçla, farklı veri desenlerini yakalamak için hibrit bir model yığını kullanılacaktır.1
  + **İstatistiksel Modeller:** Mevsimsellik ve belirgin trendleri modellemek için **ARIMA** ve Facebook tarafından geliştirilen **Prophet** gibi kanıtlanmış istatistiksel modeller kullanılacaktır.1
  + **Derin Öğrenme Modelleri:** Karmaşık ve doğrusal olmayan (non-linear) zamansal bağımlılıkları yakalamak için **LSTM (Long Short-Term Memory)** ağları gibi derin öğrenme modelleri devreye alınacaktır.1
  + **Hedef:** Bu hibrit yaklaşım ile, Ortalama Mutlak Yüzde Hata (MAPE) metriğinde %5'in altında bir hata oranı, yani **%95'in üzerinde bir tahmin doğruluğu** hedeflenmektedir.1
* **Anomali Tespiti:** Normal operasyonel davranıştan sapmaları anlık olarak tespit etmek, enerji kaçaklarını, ekipman verimsizliklerini ve potansiyel arızaları erken aşamada yakalamak için hayati önem taşır. Etiketlenmiş anomali verisinin kıt olduğu bu alanda, **denetimsiz (unsupervised) öğrenme** algoritmaları kullanılacaktır.1
  + **Isolation Forest:** Veri noktalarını izole etmek için gereken bölme sayısına dayalı olarak aykırı değerleri hızlı bir şekilde tespit eden bir algoritma.1
  + **One-Class SVM:** Yalnızca normal veri noktalarını içeren bir "sınır" öğrenerek, bu sınırın dışına çıkan yeni noktaları anomali olarak etiketleyen bir yöntem.
  + **Autoencoder Tabanlı Yeniden Yapılandırma Hatası:** Bir sinir ağı olan autoencoder, normal veriyi sıkıştırıp yeniden yapılandırmayı öğrenir. Anormal bir veri geldiğinde, model onu doğru bir şekilde yeniden yapılandıramaz ve yüksek bir "yeniden yapılandırma hatası" (reconstruction error) üretir, bu da bir anomali sinyali olarak kullanılır.1

### **4.3. İleri Seviye Optimizasyon: HVAC için Pekiştirmeli Öğrenme (Reinforcement Learning - RL)**

Ticari binalar ve endüstriyel tesislerde toplam enerji tüketiminin %40 ila %60'ını oluşturan HVAC (Isıtma, Havalandırma ve İklimlendirme) sistemleri 1, optimizasyon için en büyük potansiyeli barındıran alandır. Geleneksel kural tabanlı veya model öngörülü kontrol (MPC) yöntemleri etkili olsa da, genellikle sistemin karmaşık ve dinamik doğasına tam olarak uyum sağlayamazlar.

AEMOS Voltura, bu alanda bir devrim yaratmak amacıyla **Pekiştirmeli Öğrenme (Reinforcement Learning - RL)** tekniğini entegre edecektir. RL, bir "ajanın" (bizim durumumuzda HVAC kontrolcüsü), belirli bir ortamda (tesisin dijital ikizi) deneme-yanılma yoluyla en uygun eylem politikasını (örneğin, en düşük enerji tüketimiyle istenen konfor seviyesini sağlama) kendi kendine öğrenmesini sağlar.1 Vaka çalışmaları, RL tabanlı HVAC kontrolünün, geleneksel yöntemlere kıyasla %7 ila %23 arasında ek enerji tasarrufu sağlayabildiğini göstermektedir.31

**AEMOS Entegrasyonu:**

1. **Ortam (Environment):** RL ajanı, tesisin güvenli ve yüksek doğruluklu **Dijital İkizi** üzerinde eğitilecektir. Bu, gerçek sistemde riskli denemeler yapmadan ajanın öğrenmesini sağlar.
2. **Durum (State):** Ajan, her an dış hava durumu, iç mekan sıcaklıkları, nem, CO2​ seviyeleri, doluluk oranları ve anlık elektrik fiyatları gibi durumları gözlemleyecektir.
3. **Eylem (Action):** Ajanın alabileceği eylemler, HVAC sisteminin set noktalarını (sıcaklık ayarı, fan hızı vb.) değiştirmek olacaktır.
4. **Ödül (Reward):** Ajanın amacı, bir ödül fonksiyonunu maksimize etmektir. Bu fonksiyon, enerji maliyetini minimize ederken, termal konforu ve iç hava kalitesini belirli bir aralıkta tutmayı ödüllendirecek şekilde tasarlanacaktır.

Bu ileri seviye otonom optimizasyon yeteneği, AEMOS'u pazardaki rakiplerinden önemli ölçüde ayrıştıracak ve müşterilerimize benzersiz bir değer sunacaktır.

### **4.4. Açıklanabilir Yapay Zeka (Explainable AI - XAI)**

AI modellerinin, özellikle de derin öğrenme modellerinin en büyük zorluklarından biri, "kara kutu" (black-box) doğalarıdır. Bir modelin neden belirli bir tahminde veya öneride bulunduğunu anlamak zordur. Bu durum, özellikle bir AI'ın kararlarına dayanarak milyonlarca liralık yatırım veya operasyonel değişiklik yapması gereken endüstriyel kullanıcılarda güven eksikliğine yol açabilir.

AEMOS Voltura, bu güven sorununu aşmak için **Açıklanabilir Yapay Zeka (Explainable AI - XAI)** tekniklerini platformun merkezine yerleştirecektir.34

**SHAP (SHapley Additive exPlanations)** ve **LIME (Local Interpretable Model-agnostic Explanations)** gibi en son teknoloji XAI kütüphanelerini kullanarak, AI motorumuzun her kararının arkasındaki mantığı insan tarafından anlaşılabilir bir şekilde sunacağız.36

Kullanıcı, bir anomali uyarısı aldığında, sadece "Anomali tespit edildi" mesajını değil, aynı zamanda "Bu anomali, Kompresör-3'ün akım değerinin son 24 saatlik ortalamasından 3 standart sapma daha yüksek olması ve aynı anda titreşim sensöründen gelen verilerdeki artış nedeniyle tetiklendi" gibi bir açıklama görecektir. Bu şeffaflık, kullanıcıların sisteme güvenmesini, önerileri benimsemesini ve AI'ı bir tehdit olarak değil, güçlü bir karar destek aracı olarak görmesini sağlayacaktır.

### **4.5. Mimari ve Stratejik Yansımalar**

**AI Motoru: Veriyi Değere Dönüştüren Fabrika**

Platformumuzun veri omurgası 1 muazzam miktarda ham veri toplarken, bu veriler tek başına bir değer ifade etmez. AI/ML motorumuz, bu ham veriyi işleyerek onu eyleme dönüştürülebilir "değere" (tahminler, anomaliler, optimizasyon önerileri) dönüştüren bir fabrika görevi görür. Bu nedenle, AI/ML ekibimiz ve altyapımız, projedeki en stratejik yatırımlardan biridir ve sürekli olarak en son teknolojilerle desteklenmelidir.

**XAI: İnsan-Makine İşbirliğinin Temeli**

Gartner gibi önde gelen araştırma kuruluşları, geleceğin operasyon merkezlerinde AI'ın rolünün insanı tamamen ortadan kaldırmak değil, insan-AI işbirliğini güçlendirmek olduğunu vurgulamaktadır.37 Bir fabrika yöneticisi, nedenini anlamadığı bir AI önerisine (örneğin, "üretimi 2 saat durdur") güvenip uygulamakta tereddüt edecektir. XAI, bu güven boşluğunu doldurur. Sistem, "Üretimi 2 saat durdurmanızı öneriyorum, çünkü bu saatlerde şebeke fiyatları pik yapacak ve bu duruş size 15.000 TL tasarruf sağlayacak" gibi bir açıklama sunduğunda, yönetici kararın arkasındaki mantığı anlar ve güvenle uygular. Bu, AI'ı bir "emir veren" otorite olmaktan çıkarıp, kullanıcıya "nedenlerini açıklayan bir danışman" konumuna getirir. Bu felsefe, platformumuzun kullanıcı tarafından benimsenmesi ve etkin kullanımı için kritik öneme sahiptir.

## **Bölüm 5: Modül Derinlemesine Analizi: Otonom Reaktif Güç Yönetimi**

Bu bölüm, AEMOS Voltura platformunun müşterilerine en hızlı ve somut finansal faydayı sağlayan Otonom Reaktif Güç Yönetimi modülünü teknik ve stratejik boyutlarıyla ele almaktadır.

### **5.1. Stratejik Analiz: Endüstriyel Tesislerde Güç Kalitesi ve Reaktif Ceza Sorunu**

Elektrik sistemlerinde aktif güç (kW) iş yaparken, reaktif güç (kVAr) motorlar, transformatörler gibi endüktif yüklerin manyetik alanlarını oluşturmak için gereklidir. Ancak, şebekeden çekilen reaktif gücün belirli bir oranı aşması, bir dizi olumsuz sonuca yol açar: iletim hatlarında ve trafolarda ek yük oluşturur, enerji kayıplarını artırır ve en önemlisi, enerji tedarikçileri tarafından **reaktif enerji cezası** olarak faturalandırılır.38 Türkiye'deki yönetmeliklere göre, endüktif reaktif enerjinin aktif enerjiye oranının %20'yi, kapasitif reaktif enerjinin ise %15'i aşması durumunda işletmeler cezai bedel ödemekle yükümlüdür.1 Bu cezalar, özellikle enerji yoğun sanayi tesisleri için aylık on binlerce, hatta yüz binlerce lirayı bulabilen ciddi ve öngörülemeyen bir maliyet kalemidir.

Bu modül, AEMOS Voltura'nın müşterilerine anında ve ölçülebilir bir yatırım geri dönüşü (ROI) sunmasını sağlayan en kritik "hızlı kazanım" (quick-win) modülüdür. Bu sorunu otonom olarak çözmek, platformumuzun değerini anında kanıtlar.

### **5.2. Temel Fonksiyonel Gereksinimler**

Reaktif Ceza Motoru, reaktif gücü proaktif bir şekilde yönetmek için aşağıdaki temel işlevleri yerine getirecektir:

* **Sürekli Güç Faktörü (PF) İzleme:** Tesisin ana enerji giriş noktasından ve kritik alt panolardan gelen aktif (P) ve reaktif (Q) güç verilerini saniyelik çözünürlükte izleyerek, anlık güç faktörünü (cos(ϕ)=P/P2+Q2​) sürekli olarak hesaplamak.1
* **Ceza Öngörüsü ve Raporlama:** Aylık fatura dönemleri bazında, yönetmeliklerde belirtilen endüktif ve kapasitif sınırları takip etmek. Geçmiş tüketim verileri ve anlık trendleri kullanarak, ay sonu gelmeden önce potansiyel ceza tutarını yüksek doğrulukla tahmin etmek.1 Kullanıcı arayüzünde "Bu ayki reaktif ceza riskiniz: Yüksek. Tahmini ceza: 12.500 TL" gibi proaktif uyarılar ve bildirimler sunmak.
* **Dört Çeyrek (Four-Quadrant) Kontrolü:** Platform, sadece şebekeden enerji tüketimi (motor modu, 1. ve 4. çeyrekler) sırasında değil, aynı zamanda tesiste GES veya kojenerasyon gibi bir üretim tesisi varsa ve şebekeye enerji veriliyorsa (jeneratör modu, 2. ve 3. çeyrekler) da reaktif gücü doğru bir şekilde yönetebilmelidir. Bu, özellikle kendi enerjisini üreten modern tesisler için kritik bir yetenektir.40

### **5.3. Otomatik Kontrol Stratejileri**

Platform, reaktif gücü optimize etmek için hem pasif hem de aktif kompanzasyon yöntemlerini destekleyecektir:

* **Kapasitör Bankası Kontrolü:** Tesislerde en yaygın kullanılan kompanzasyon yöntemi olan kapasitör bankalarının akıllı kontrolü. Geliştirilecek olan kontrol algoritması, anlık reaktif güç ihtiyacına göre kompanzasyon panosundaki kapasitör kademelerini en uygun şekilde otomatik olarak devreye alıp çıkaracaktır. Algoritma, hedef güç faktörünü (örneğin, 0.99 endüktif) korurken, kontaktörlerin ve kapasitörlerin ömrünü uzatmak için gereksiz ve sık anahtarlamayı (hunting) önleyecek şekilde tasarlanmalıdır.41
* **Aktif Harmonik Filtre (AHF) Entegrasyonu:** Modern endüstriyel tesislerde yaygınlaşan ve standart kapasitör bankalarının başa çıkamadığı harmonik bozulmalara neden olan VFD (Değişken Frekanslı Sürücü) gibi doğrusal olmayan yükler için, AHF'lerin izlenmesi ve gelecekte kontrol entegrasyonu sağlanacaktır. AHF'ler, hem reaktif güç kompanzasyonu hem de harmonik eliminasyonu sağlayarak çok daha üstün bir güç kalitesi çözümü sunar. AEMOS, bu gelişmiş cihazlarla entegre olarak geleceğe dönük bir çözüm sunacaktır.44

### **5.4. AEMOS Voltura Entegrasyonu**

Reaktif Ceza Motoru, platformun Edge ve Bulut katmanları arasında hibrit bir yapıda çalışarak hem hız hem de zekayı birleştirecektir:

* **Edge Gateway:** Sahadaki kompanzasyon panosu rölesi veya PLC ile doğrudan Modbus üzerinden iletişim kurarak, milisaniye düzeyinde anahtarlama komutlarını gönderir. Bu, bulut bağlantısı kopsa bile temel kompanzasyonun kesintisiz devam etmesini sağlar ve operasyonel güvenilirliği artırır.1
* **Bulut Servisi:** Tesisin genel reaktif güç profilini, üretim planlarını ve geçmiş verileri analiz eder. AI tabanlı optimizasyon algoritmasını çalıştırarak en uygun anahtarlama stratejisini ve zamanlamasını belirler. Bu stratejiyi periyodik olarak Edge Gateway'e iletir. Kullanıcı arayüzü ve raporlama, bu merkezi bulut servisinden beslenir.

### **5.5. Stratejik Yansımalar ve Konumlandırma**

**Reaktif Ceza Modülü: Platformun "Truva Atı"**

AEMOS Voltura'nın AI optimizasyonu veya P2P ticareti gibi diğer modülleri, uzun vadeli ve stratejik faydalar sunarken, Otonom Reaktif Güç Yönetimi modülü, müşteriye **anında, ölçülebilir ve genellikle çok büyük bir mali tasarruf** sağlar.1 Birçok sanayi tesisi, her ay düzenli olarak reaktif ceza ödediğinin farkındadır ve bu somut soruna pratik bir çözüm aramaktadır.

Bu durum, Reaktif Ceza Modülü'nü, AEMOS Voltura'yı bir tesise ilk kez sokmak için en güçlü ve en kolay satış argümanı haline getirir. Müşteriye, "Sadece bu modülle başlayın, platformun maliyeti kendini 3-6 ay gibi kısa bir sürede ödeyecektir" şeklinde net bir ROI vaadi sunabiliriz. Bu, müşteri için düşük riskli bir başlangıç noktasıdır.

Bir kez platformumuz tesise kurulduğunda ve bu ilk modülle değerimizi somut bir şekilde kanıtladığımızda, müşteriye diğer modüllerimizi sunmak (upsell/cross-sell) çok daha kolay olacaktır. Müşteri, platformun güvenilirliğini ve faydasını ilk elden gördükten sonra, "Şimdi de genel enerji verimliliğinizi AI ile %15 daha artıralım" veya "Çatınızdaki atıl GES üretimini P2P pazarımızda satarak ek gelir elde edin" gibi tekliflerimize çok daha açık olacaktır.

Bu nedenle, Reaktif Ceza Modülü, sadece bir özellik değil, aynı zamanda pazar penetrasyonu için kritik bir **stratejik araç** ve diğer tüm modüllerimizin önünü açan bir **"Truva Atı"** dır.

## **Bölüm 6: Modül Derinlemesine Analizi: Eşten Eşe (P2P) Enerji Ticareti**

Bu bölüm, AEMOS Voltura'nın en yenilikçi ve dönüştürücü modüllerinden biri olan blokzincir tabanlı Eşten Eşe (P2P) Enerji Ticareti platformunu, küresel emsaller, teknik altyapı ve Türkiye'ye özgü düzenleyici stratejiler bağlamında derinlemesine incelemektedir.

### **6.1. Stratejik Analiz: Küresel P2P Enerji Piyasaları ve Türkiye için Düzenleyici Ortam**

P2P enerji ticareti, sadece tüketicilerin fazla enerjilerini satabildiği bir model olmanın çok ötesindedir. Dağıtık Enerji Kaynaklarının (DERs) -güneş panelleri, bataryalar, elektrikli araçlar- hızla yaygınlaştığı modern şebekelerde, P2P piyasaları arz ve talebi yerel olarak dengeleyen, şebeke üzerindeki stresi azaltan ve sistem esnekliğini artıran temel bir **koordinasyon mekanizması** olarak ortaya çıkmaktadır.1

Bu vizyon, dünya genelindeki öncü projelerle kanıtlanmıştır. Avustralya'daki **AEMO Project EDGE** 47 ve Birleşik Krallık'taki

**Ofgem Düzenleyici Sanal Alanı (Sandbox)** 51 gibi denemeler, P2P ticaretinin teknik ve ticari fizibilitesini göstermiş ve düzenleyici çerçevelerin nasıl evrilebileceğine dair önemli dersler sunmuştur. Power Ledger, Sonnen ve SunContract gibi ticari platformlar ise farklı iş modellerinin (pazaryeri, topluluk havuzu vb.) başarılı olabileceğini ortaya koymuştur.54

Ancak bu küresel örneklerin en önemli ortak noktası, P2P ticaretinin mevcut düzenleyici çerçevelere meydan okuyarak değil, düzenleyici kurumlarla (AEMO, Ofgem vb.) yakın işbirliği içinde, kontrollü **"sanal alan" (sandbox)** denemeleriyle hayata geçirilmesidir.1 Türkiye'de, Enerji Piyasası Düzenleme Kurumu (EPDK) mevzuatı henüz P2P ticaretine doğrudan izin veren bir yapıya sahip değildir.63 Bu durum, projemizin önündeki en büyük engelin teknik değil, düzenleyici olduğunu göstermektedir. Bu nedenle, tüm P2P modülü geliştirme stratejimiz, EPDK'ya sunulacak sağlam ve güvenilir bir pilot proje teklifini destekleyecek şekilde kurgulanmalıdır.

### **6.2. Temel Fonksiyonel Gereksinimler**

Platformun P2P modülü, verimli ve adil bir piyasa ortamı yaratmak için aşağıdaki temel işlevleri içerecektir:

* **Piyasa Mekanizması:** Alıcı ve satıcıların tekliflerini (bid/ask) anlık olarak eşleştiren, dinamik fiyat keşfine olanak tanıyan bir yapı. Bu amaçla, finansal piyasalarda kanıtlanmış bir model olan ve P2P enerji ticareti için de en uygun mekanizma olarak kabul edilen **Sürekli Çift Taraflı Müzayede (Continuous Double Auction - CDA)** algoritması benimsenecektir.1 Bu modelde, en yüksek alım teklifi ile en düşük satım teklifi karşılaştığında anında ticaret gerçekleşir.
* **Teklif Yönetimi:** Platform kullanıcılarının (fabrikalar, YEK üreticileri), enerji satış veya alım tekliflerini miktar (kWh), fiyat (TL/kWh) ve geçerlilik süresi gibi parametrelerle kolayca oluşturabilmesi, görüntüleyebilmesi, düzenleyebilmesi ve iptal edebilmesi için gerekli API'ler ve kullanıcı arayüzleri sağlanacaktır.1
* **Mutabakat ve Kayıt:** Gerçekleşen tüm ticaretlerin, kimin kime, ne zaman, ne kadar enerjiyi, hangi fiyattan sattığı bilgilerini içeren, değiştirilemez ve denetlenebilir bir kayıt defterinde tutulması.

### **6.3. AEMOS Voltura Entegrasyonu: kWh-NFT Konsepti ve Blokzincir Seçimi**

P2P modülümüzün teknik altyapısı, güven, şeffaflık ve otomasyonu en üst düzeye çıkarmak için blokzincir teknolojisini temel alacaktır.

* **kWh-NFT ile Enerji Tokenizasyonu:** Üretilen veya tasarruf edilen her birim enerjinin (kWh), blokzincir üzerinde benzersiz bir dijital varlık olarak "tokenlaştırılması".1 Bu yaklaşım, enerjiyi somut, izlenebilir ve takas edilebilir bir varlığa dönüştürür. Bu amaçla, hem bölünebilir (fungible) hem de benzersiz (non-fungible) tokenları tek bir akıllı sözleşmede yönetme esnekliği sunan gelişmiş  
  **ERC-1155** token standardı kullanılacaktır. Bu sayede, "Temmuz 2025, Fabrika A, Güneş Enerjisi, 100 kWh" gibi zengin meta veriler içeren dijital enerji sertifikaları oluşturulabilir.68
* **Blokzincir Platformu Seçimi:** OSB gibi, birbirine rakip olabilecek firmaların yer aldığı bir B2B ortamında, veri gizliliği, performans ve yönetişim kritik öneme sahiptir. Bu nedenle, Bitcoin veya Ethereum gibi halka açık (public) ve izinsiz (permissionless) blokzincirler yerine, kurumsal kullanıma uygun, **izinli (permissioned)** bir blokzincir platformu tercih edilecektir. Bu bağlamda, iki platform öne çıkmaktadır:
  + **Hyperledger Fabric:** Modüler yapısı, "kanallar" (channels) aracılığıyla sağladığı granüler veri izolasyonu (farklı fabrika grupları arasında özel ticaret defterleri oluşturma) ve Üyelik Hizmet Sağlayıcısı (MSP) ile getirdiği rol tabanlı erişim kontrolü sayesinde kurumsal konsorsiyumlar için ideal bir çözümdür. Bu, bizim OSB modelimizle birebir örtüşmektedir.1
  + **Avalanche Subnet:** Yüksek işlem hacmi (TPS) ve anlık işlem kesinliği (finality) gibi performans avantajları sunan, özelleştirilebilir bir alt ağ mimarisi. Performans karşılaştırması için bu platform da değerlendirilecektir.1

MVP aşamasında, gizlilik ve yönetişim yetenekleri nedeniyle **Hyperledger Fabric** öncelikli adayımızdır.

### **6.4. Stratejik Yansımalar ve Göz Ardı Edilen Riskler**

**Düzenleyici Strateji, Teknik Stratejiden Önce Gelir**

P2P modülümüzün başarısı, kodumuzun ne kadar iyi olduğundan çok, EPDK ile kuracağımız diyaloğun ne kadar yapıcı olduğuna bağlıdır. Mevcut mevzuatın P2P ticaretine doğrudan izin vermemesi 63, en büyük riskimiz ve aynı zamanda en büyük fırsatımızdır. Bu nedenle, tüm teknik geliştirme sürecimiz, EPDK'ya sunacağımız

**"Bursa OSB P2P Enerji Ticareti Pilot Projesi"** teklifini destekleyecek şekilde kurgulanmalıdır. Hyperledger Fabric'i seçmemizin nedeni, EPDK'nın olası endişelerini (piyasa manipülasyonu, veri gizliliği, şebeke güvenliği) proaktif olarak giderecek teknik güvenceleri (veri izolasyonu, denetlenebilirlik, izinli katılım) sunmasıdır. Teknik yol haritamız, düzenleyici yol haritamıza hizmet etmelidir. Projemizin ilk ve en kritik kilometre taşı, bir MVP lansmanı değil, **"EPDK Sanal Alan Onayı"** dır.

**Donanım ve Harmonikler: Pazarın Bütünlüğünü Tehdit Eden Gizli Risk**

P2P ticaretinin temeli, doğru enerji ölçümüne dayanır. 10 kWh'lik bir ticaretin finansal mutabakatı, sayacın tam olarak 10 kWh ölçtüğü varsayımına dayanır.1 Ancak, özellikle GES sistemlerinde kullanılan düşük kaliteli eviriciler (inverters), şebekede ciddi

**harmonik bozulmalara** neden olabilir.1 Bu harmonikler, enerji sayaçlarının %2-5 oranında yanlış ölçüm yapmasına yol açabilir.1 Bu durum, P2P piyasasının temelindeki finansal bütünlüğü ve güveni tamamen yok edebilir.

Bu nedenle, AEMOS platformu **"donanım-agnostik" (donanımdan bağımsız) olamaz.** Katılımcıların, IEEE 519 gibi uluslararası standartlara uygun, düşük harmonik üreten eviriciler ve doğru ölçüm yapabilen sayaçlar kullanmasını sağlamak zorundayız. Bu, ya platforma entegre bir güç kalitesi izleme özelliği ekleyerek ya da bir "Uyumlu Donanım Listesi" yayınlayarak yönetilecektir. Bu, genellikle gözden kaçan ancak projenin başarısı için hayati olan bir teknik gereksinimdir.

### **6.5. Önerilen Tablo: P2P Enerji Ticareti için Defter Teknolojilerinin Karşılaştırmalı Analizi**

Aşağıdaki tablo, OSB gibi kurumsal bir B2B senaryosu için neden Hyperledger Fabric gibi izinli bir blokzincirin, diğer alternatiflere göre daha üstün olduğunu teknik gerekçeleriyle ortaya koymaktadır.

| Nitelik | Hyperledger Fabric (İzinli Blockchain) | Merkezi Veritabanı (Bulut/IoT) | Öneri Gerekçesi |
| --- | --- | --- | --- |
| **Güven Modeli** | Güven gerektirmeyen (Trust-free) operasyon; kriptografik doğrulama ile güven sağlanır. | Güvenilir bir merkezi aracı (platform operatörü) gerektirir. | OSB'deki rakip firmaların birbirine ve merkezi bir operatöre tam güvenmesi zordur. Kriptografik güven üstündür. |
| **Performans (TPS)** | Yapılandırmaya bağlı olarak yüzlerce ila binlerce TPS. Caliper testlerinde ~3500 TPS'e ulaşılmıştır.1 | Genellikle çok daha yüksek TPS ve daha düşük gecikme süresi. | Enerji ticareti anlık finansal işlemler kadar yüksek TPS gerektirmez. Fabric'in performansı yeterlidir. |
| **Gizlilik Modeli** | "Kanallar" (Channels) aracılığıyla granüler veri izolasyonu. Belirli kuruluşlar arasında özel defterler oluşturulur.1 | Gizlilik, merkezi operatörün erişim kontrol politikalarına bağlıdır. Tek bir noktada toplanan veri risklidir. | Rakip firmaların ticari verilerinin (fiyat, miktar) gizliliği esastır. Fabric'in kanal yapısı bu ihtiyacı mükemmel karşılar. |
| **Yönetişim Modeli** | Konsorsiyum tabanlı yönetişim. Kurallar ve politikalar kanal yapılandırmasında tanımlanır. | Merkezi operatör tarafından belirlenir. | OSB yönetimi ve katılımcı fabrikaların ortak bir yönetişim modeli kurması için ideal bir yapı sunar. |
| **Denetlenebilirlik** | Tüm işlemler değişmez bir kayıt defterinde tutulur, bu da düzenleyici denetimler için tam şeffaflık sağlar. | Denetim, merkezi operatörün loglarına ve dürüstlüğüne bağlıdır. | EPDK gibi bir düzenleyici için blokzincirin sunduğu değişmez denetim izi, en güvenilir kanıtı oluşturur. |
| **B2B Enerji Piyasasına Uygunluk** | Rakip şirketler arasında veri gizliliği gerektiren konsorsiyum modelleri için çok uygundur. Granüler erişim kontrolü güçlü bir avantajdır.1 | Daha çok kapalı topluluklar veya tek bir güvenilir otoritenin olduğu senaryolar için uygundur. | OSB'deki rekabetçi ve çok paydaşlı yapı için Fabric'in mimarisi daha uygundur. |

## **Bölüm 7: Modül Derinlemesine Analizi: CBAM & ESG Uyum Otomasyonu**

Bu bölüm, AEMOS Voltura platformunun, müşterilerini küresel sürdürülebilirlik düzenlemelerine uyumlu hale getiren ve bu uyumluluğu bir rekabet avantajına dönüştüren CBAM & ESG modülünü detaylandırmaktadır.

### **7.1. Stratejik Analiz: AB Sınırda Karbon Düzenleme Mekanizması (CBAM)**

Sınırda Karbon Düzenleme Mekanizması (CBAM), sadece bir çevre düzenlemesi değil, aynı zamanda AB'ye ihracat yapan Türk sanayicileri için oyunun kurallarını yeniden yazan stratejik bir ticaret politikasıdır.1 CBAM, AB dışından ithal edilen demir-çelik, alüminyum, çimento, gübre, elektrik ve hidrojen gibi karbon-yoğun ürünlerin üretimi sırasında salınan karbon için bir bedel ödenmesini zorunlu kılar.74 Bu, AB içindeki üreticilerle adil bir rekabet ortamı yaratmayı hedeflerken, ihracatçı firmalar için ciddi bir mali yük ve operasyonel karmaşıklık getirmektedir.

Avrupa Komisyonu'nun yayınladığı resmi kılavuzlara göre, CBAM'in bir geçiş dönemi (1 Ekim 2023 - 31 Aralık 2025) ve tam uygulama dönemi (1 Ocak 2026'dan itibaren) bulunmaktadır.74 Geçiş döneminde, ithalatçılar mali bir yükümlülük altına girmese de, ithal ettikleri ürünlerin "gömülü emisyonlarını" içeren

**çeyrek dönemlik raporlar** sunmakla yükümlüdür.76 2026'dan itibaren ise bu emisyonlar için AB Emisyon Ticaret Sistemi (ETS) fiyatlarına endeksli

**CBAM sertifikaları** satın alıp teslim etmek zorunda kalacaklardır.74 Bu durum, ihracatçı firmaların üretim süreçlerindeki enerji tüketimini ve buna bağlı karbon emisyonlarını hassas bir şekilde ölçme, izleme ve raporlama zorunluluğunu doğurmaktadır.

### **7.2. Raporlama Standartları Entegrasyonu: GRI ve SASB**

CBAM'in yasal zorunluluğunun ötesinde, küresel yatırımcılar, finans kuruluşları ve paydaşlar, şirketlerden giderek daha fazla şeffaflık ve uluslararası kabul görmüş standartlara göre ESG (Çevresel, Sosyal, Yönetişim) raporlaması talep etmektedir. AEMOS Voltura, bu ihtiyaca kapsamlı bir yanıt vermek amacıyla iki temel küresel standardı destekleyecektir:

* **GRI (Global Reporting Initiative):** Dünyada en yaygın kullanılan sürdürülebilirlik raporlama çerçevesidir. Özellikle yeni yayınlanan **GRI 102: Climate Change** ve **GRI 103: Energy** standartları, şirketlerin enerji tüketimi, enerji verimliliği, yenilenebilir enerji kaynakları ve Kapsam 1, 2 ve 3 GHG (Sera Gazı) emisyonları hakkında detaylı ve karşılaştırılabilir bilgi sunmasını gerektirir.78
* **SASB (Sustainability Accounting Standards Board), şimdi IFRS Vakfı'nın bir parçası:** Sektöre özgü, yatırımcılar için finansal olarak materyal kabul edilen sürdürülebilirlik metriklerine odaklanır. Endüstriyel imalat gibi sektörler için enerji yönetimi, su kullanımı ve GHG emisyonları en önemli konular arasında yer almaktadır.81

Platformumuz, bu standartların gerektirdiği veri noktalarını otomatik olarak toplayacak, hesaplayacak ve rapor şablonları aracılığıyla sunarak müşterilerimizin raporlama yükünü önemli ölçüde hafifletecektir.

### **7.3. AEMOS Voltura Entegrasyonu ve Teknik Uygulama**

CBAM & ESG modülü, platformun diğer modüllerinden gelen verileri kullanarak uyumluluk süreçlerini otomatize edecektir:

* **Otomatik Emisyon Hesaplama:** Platform, Dijital İkiz modülünden gelen tesisin elektrik (Scope 2) ve doğrudan yakıt (doğal gaz, kömür vb. - Scope 1) tüketim verilerini, Uluslararası Enerji Ajansı (IEA) gibi güvenilir kaynaklardan alınan güncel ulusal ve uluslararası emisyon faktörleri ile çarparak, **ISO 14064** (Sera Gazı Hesaplama Standardı) 1 prensiplerine uygun olarak ton  
  CO2​ eşdeğeri (tCO2​e) cinsinden karbon ayak izini otomatik olarak hesaplayacaktır.
* **API Tabanlı Raporlama:** Hesaplanan tüm emisyon ve enerji verileri, /api/v1/sustainability/cbam-report veya /api/v1/sustainability/gri-report gibi özel, güvenli ve iyi belgelenmiş API endpoint'leri üzerinden sunulacaktır.1 Bu, şirketlerin bu doğrulanmış verileri kendi ERP (SAP vb.) veya kurumsal raporlama sistemlerine sorunsuz bir şekilde entegre etmelerini sağlar.
* **Tek Tıkla Rapor Üretimi:** Kullanıcılar, platform arayüzü üzerinden belirli bir dönem için CBAM, GRI veya SASB uyumlu raporları, düzenleyici kurumların ve denetçilerin talep ettiği formatlarda (örneğin, PDF ve makine tarafından okunabilir XBRL) tek bir tıkla üretebileceklerdir.1

### **7.4. Stratejik Yansımalar ve Konumlandırma**

**CBAM Modülü: Bir Uyumluluk Aracından Rekabet Avantajı Aracına**

Pazardaki rakipler, CBAM'i genellikle bir "raporlama zorunluluğu" olarak ele alıp, temel raporlama şablonları sunma eğiliminde olabilirler.1 AEMOS Voltura'nın stratejisi ise bu yaklaşımın çok ötesine geçmektir. CBAM'in asıl stratejik etkisi, karbon-yoğun ürünlerin AB pazarında daha pahalı hale gelmesi ve dolayısıyla daha verimli, daha az karbon-yoğun üretim yapan şirketler için bir

**rekabet avantajı** yaratmasıdır.

Bu nedenle, AEMOS Voltura'nın CBAM modülü, sadece raporlama yapmakla kalmayacak, aynı zamanda müşterinin **karbon ayak izini aktif olarak azaltmasına** yardımcı olacaktır. Bu, modülün platformun diğer zeka katmanlarıyla derin entegrasyonu ile mümkündür:

* **AI Optimizasyon Motoru Entegrasyonu:** AI motorumuz, sadece enerji maliyetini değil, aynı zamanda "karbon maliyetini" de bir optimizasyon hedefi olarak alacak şekilde yapılandırılabilir. Sistem, en düşük maliyetli değil, en düşük karbonlu üretim senaryolarını önerebilir.
* **P2P Enerji Ticareti Entegrasyonu:** P2P modülümüz, müşterinin şebekeden çektiği "gri" (fosil yakıt ağırlıklı) elektrik yerine, komşu bir tesisteki "yeşil" (yenilenebilir) enerji fazlasını satın almasını teşvik edebilir. Bu, ürünlerinin gömülü emisyonlarını doğrudan düşürür.

Bu entegrasyon sayesinde, müşterimize sunduğumuz değer önerisi, "AEMOS ile sadece CBAM raporu almazsınız; AB pazarındaki rakiplerinize karşı somut bir karbon avantajı elde edersiniz" şeklinde olacaktır. Bu, modülün değerini temel uyumluluktan stratejik rekabetçiliğe taşır ve AEMOS'u vazgeçilmez bir ortak haline getirir.

## **Bölüm 8: Modül Derinlemesine Analizi: LLM Destekli Akıllı Asistan (EcoAI Copilot)**

Bu bölüm, AEMOS Voltura platformunun kullanıcı deneyimini kökten değiştirmeyi hedefleyen, Büyük Dil Modeli (LLM) tabanlı Akıllı Asistan modülünü (kod adı: EcoAI Copilot) incelemektedir.

### **8.1. Stratejik Analiz: Kurumsal Uygulamalarda Üretken Yapay Zeka (GenAI)**

Büyük Dil Modelleri (LLM'ler), artık sadece metin üreten veya genel soruları yanıtlayan araçlar olmaktan çıkmıştır. Özellikle kurumsal ve endüstriyel bağlamda, bu modeller karmaşık veri setlerini analiz edebilen, doğal dil aracılığıyla sorgulanabilen ve eyleme dönüştürülebilir içgörüler sunan güçlü analitik motorlara dönüşmektedir.84 Schneider Electric gibi küresel rakiplerin de kendi platformlarına benzer "Copilot" özellikleri entegre etmeye başlaması 1, bu alanın ne kadar stratejik ve rekabetçi olduğunu doğrulamaktadır. AEMOS Voltura, bu teknolojiyi benimseyerek, kullanıcılarının platformla etkileşim kurma biçimini temelden değiştirecek ve onlara benzeri görülmemiş bir kullanım kolaylığı sunacaktır.

### **8.2. Mimari Yaklaşım: Retrieval-Augmented Generation (RAG)**

Genel amaçlı LLM'lerin en büyük zayıflığı, eğitim verilerinde bulunmayan veya güncel olmayan bilgiler hakkında "halüsinasyon görme" (yanlış bilgi uydurma) eğilimleridir. Bir endüstriyel tesisin operasyonel kararlarının alındığı bir platformda bu durum kabul edilemez bir risktir. Bu kritik sorunu çözmek için, AEMOS Voltura'nın EcoAI Copilot'u, **Retrieval-Augmented Generation (RAG)** adı verilen gelişmiş bir mimari üzerine inşa edilecektir.88

RAG mimarisi, LLM'in kendi bilgisine güvenmek yerine, her yanıtı platformun kendi güvenilir veri kaynaklarına dayandırmasını sağlar. İşleyiş akışı şu şekildedir:

1. **Soru (Prompt):** Kullanıcı, asistana doğal dilde bir soru sorar. Örneğin: "Bu ayki reaktif ceza riskim nedir?"
2. **Getirme (Retrieval):** Soru, doğrudan LLM'e gönderilmez. Bunun yerine, önce platformun kendi veri tabanına (TimescaleDB, PostgreSQL) ve bilgi bankasına (teknik dokümanlar, yönetmelikler vb. içeren bir vektör veritabanı) yönlendirilir. Bu sorgu sonucunda, kullanıcının sorusuyla ilgili en alakalı belgeler ve veri noktaları (örneğin, o müşterinin bu ayki güç faktörü verileri, yönetmelik limitleri, geçmiş ceza kayıtları) bulunur.
3. **Zenginleştirme (Augmentation):** Bu bulunan "gerçek" ve "doğrulanmış" veriler, kullanıcının orijinal sorusuyla birleştirilerek LLM için zenginleştirilmiş bir "prompt" (komut istemi) oluşturulur. Prompt, LLM'e şu şekilde bir talimat içerir: "Aşağıdaki bağlam bilgilerini kullanarak kullanıcının sorusunu yanıtla. Sadece bu bağlamdaki bilgileri kullan."
4. **Üretme (Generation):** LLM (örneğin, GPT-4o veya Claude 3), bu zenginleştirilmiş ve "topraklanmış" (grounded) prompt'u kullanarak, tamamen platformun kendi verilerine dayanan, doğru, güvenilir ve bağlama uygun bir cevap üretir.

Bu mimari, LLM'in dilsel yeteneklerini, AEMOS platformunun veri doğruluğu ve güvenilirliği ile birleştirerek, endüstriyel kullanım için güvenli ve güçlü bir AI asistanı yaratır.

### **8.3. AEMOS Voltura Entegrasyonu ve Güvenlik Önlemleri**

* **Kullanıcı Deneyimi:** EcoAI Copilot, platform arayüzünün sağ alt köşesinde her zaman erişilebilir bir sohbet balonu olarak yer alacaktır. Kullanıcıların, platformdaki herhangi bir veriye, rapora veya fonksiyona karmaşık menülerde gezinmeden, sadece doğal dilde yazarak veya konuşarak erişmesini sağlayacaktır.1
* **Veri Gizliliği ve Güvenliği:** Endüstriyel bir AI uygulamasında veri güvenliği ve gizliliği en üst düzeyde ele alınmalıdır.91 Bu kapsamda:
  + **PII Maskeleme:** Kullanıcı sorularındaki Kişisel Tanımlanabilir Bilgiler (PII - Personally Identifiable Information), **spaCy** gibi NER (Named Entity Recognition) kütüphaneleri kullanılarak LLM'e gönderilmeden önce otomatik olarak maskelenecektir. Maskelenen veriler, denetim amacıyla güvenli bir şekilde loglanacaktır.1
  + **Hassas Veri Koruması:** Hiçbir hassas kurumsal veri (üretim sırları, finansal veriler vb.) LLM sağlayıcısına ham olarak gönderilmeyecektir. RAG mimarisi, LLM'in sadece bağlamı görmesini sağlayarak bu riski minimize eder.
  + **Kullanıcı Kontrolü:** Müşteriler, diledikleri takdirde LLM entegrasyonunu kendi verileri için devre dışı bırakma seçeneğine sahip olacaktır.

### **8.4. Stratejik Yansımalar ve Konumlandırma**

**LLM Asistan: Platformun "Kullanıcı Arayüzü"nün Geleceği**

Geleneksel kurumsal yazılımlar, kullanıcıları karmaşık menüler, çok sayıda tablo ve anlaşılması zor panellerle karşı karşıya bırakır. Bu durum, yüksek bir öğrenme eğrisine neden olur ve kullanıcıların platformun tüm potansiyelinden faydalanmasını engeller.

EcoAI Copilot, bu paradigmayı temelden değiştirmektedir. Kullanıcı, menülerde gezinmek veya bir raporu nasıl oluşturacağını öğrenmek yerine, ne istediğini doğal dilde ifade eder. Örneğin: *"Bana geçen haftanın enerji tüketim raporunu oluştur ve PDF olarak e-posta ile gönder."* veya *"En çok reaktif güç çeken ilk 3 makineyi ve olası nedenlerini listele."*

Bu, kullanıcı arayüzünü "görsel" olmaktan çıkarıp **"diyaloğa dayalı"** bir etkileşim modeline dönüştürür. Vizyonumuz, gelecekte platformun en çok kullanılan arayüzünün bu sohbet penceresi olmasıdır. Bu nedenle, LLM asistanını sadece bir "eklenti" olarak değil, platformun **temel kullanıcı etkileşim modeli** olarak konumlandırıyoruz. Tüm modüllerle (P2P ticaret, dijital ikiz simülasyonu, raporlama) derinlemesine entegre olacak ve kullanıcı, platformdaki tüm karmaşık iş akışlarını bu asistan üzerinden yürütebilecektir. Bu, AEMOS Voltura'yı rakiplerinden fersah fersah öteye taşıyacak bir kullanıcı deneyimi devrimidir.

## **Bölüm 9: Platform Hizmetleri ve Kullanıcı Akışları**

Bu bölüm, AEMOS Voltura platformunun farklı kullanıcı rolleri için nasıl bir deneyim sunacağını, temel hizmetlerin nasıl işleyeceğini ve sistemin güvenilirliğini sağlamak için uygulanacak gözlemlenebilirlik ve alarm yönetimi stratejilerini detaylandırmaktadır.

### **9.1. Kullanıcı Rolleri ve Detaylı Akışlar**

Platform, farklı sorumluluk ve hedeflere sahip üç ana kullanıcı tipi için özelleştirilmiş deneyimler sunacaktır. Bu kullanıcı akışları, UI/UX ekibimizin kullanıcı merkezli arayüzler tasarlaması için temel bir girdi niteliğindedir.1

* **OSB Yöneticisi:**
  + **Profil:** Organize Sanayi Bölgesi'nin (OSB) genel enerji altyapısından sorumlu teknik yönetici. Amacı, bölgenin genel enerji arz güvenliğini sağlamak, altyapı yükünü yönetmek ve üye fabrikalar arasında koordinasyonu sağlamaktır.
  + **Örnek Akış:**
    1. **Giriş ve Genel Bakış:** OSB'nin genel durumunu gösteren bir ana panoya erişir. Bu panoda, bölgenin anlık toplam güç talebi, ana trafonun yüklenme yüzdesi ve en çok enerji tüketen fabrikaların bir listesi yer alır.
    2. **Kapasite İzleme:** OSB'nin ana besleme trafosunun anlık yük durumunu izler. Platform, yükün kritik seviyelere yaklaştığını tespit ettiğinde (örneğin, %90 kapasite aşıldığında) yöneticiye proaktif bir alarm gönderir.
    3. **P2P Piyasası Gözetimi:** OSB içindeki P2P enerji ticaretini bir moderatör olarak izler. Gerçekleşen işlemlerin hacmini, ortalama fiyatları ve en aktif katılımcıları takip eder. Gerekirse, piyasa kurallarının uygulanmasını denetler.
    4. **Kullanıcı ve Fabrika Yönetimi:** OSB bünyesindeki yeni fabrikaları sisteme tanımlar ve her fabrika için yetkili enerji yöneticisi hesapları oluşturur.
* **Fabrika Enerji Yöneticisi:**
  + **Profil:** Bir fabrikanın enerji maliyetlerini düşürmek, operasyonel verimliliği artırmak ve yasal uyumluluğu sağlamakla görevli teknik uzman.
  + **Örnek Akış (Reaktif Ceza Senaryosu):**
    1. **Giriş:** Kendi fabrikasına özel özet panosunu görür. "Aktif Alarmlar" widget'ında "Reaktif Güç Sınırı Aşıldı" uyarısını fark eder.
    2. **Detay Analizi:** Alarma tıklar ve sistem onu doğrudan ilgili panonun Dijital İkiz ekranına yönlendirir. Güç faktörü grafiğini inceler ve sorunun özellikle gece vardiyasında, belirli bir üretim hattı çalışırken ortaya çıktığını tespit eder.
    3. **Karar Verme:** LLM Asistanı'na "Bu reaktif güç artışının olası nedenleri nelerdir?" diye sorar. Asistan, "Gece vardiyasında çalışan Kompresör-5'in kalkış akımı yüksek olabilir veya kompanzasyon panosunun ilgili kademesi arızalanmış olabilir" yanıtını verir.
    4. **Eylem:** Bu bilgiyle, kompanzasyon panosunu kontrol etmesi için bakım ekibine platform üzerinden bir iş emri oluşturur ve alarmı "İnceleniyor" olarak işaretler.
* **Üçüncü Parti Geliştirici / İş Ortağı:**
  + **Profil:** Platformun API'lerini kullanarak özel uygulamalar, entegrasyonlar veya analizler geliştiren yazılım geliştiriciler, enerji danışmanları veya donanım üreticileri.
  + **Örnek Akış:**
    1. **Erişim ve Yetkilendirme:** Müşteri (OSB veya fabrika) onayıyla, geliştiriciye özel bir hesap ve API anahtarı sağlanır. Bu anahtar, yalnızca izin verilen veri setlerine (belirli bir kiracı, belirli cihazlar) erişim yetkisi tanır.
    2. **Dokümantasyon ve Keşif:** Geliştirici, AEMOS Developer Portal üzerinden GraphQL API şemasına, örnek sorgulara ve Postman koleksiyonlarına erişir.
    3. **Uygulama Geliştirme:** Aldığı API anahtarını kullanarak, örneğin bir fabrikanın üretim verimliliği ile enerji tüketimini ilişkilendiren özel bir analitik raporlama uygulaması geliştirir.
    4. **Entegrasyon:** Geliştirdiği uygulamayı, gelecekteki App Marketplace (Bölüm 10) üzerinden diğer AEMOS müşterilerine sunmak için başvuru yapar.

### **9.2. Gözlemlenebilirlik (Observability) ve Alarm Yönetimi**

Platformun %99.8'lik çalışma süresi hedefine 1 ulaşması ve güvenilir bir hizmet sunması için, sistemin sağlığını proaktif olarak izleyen kapsamlı bir gözlemlenebilirlik stratejisi uygulanacaktır. Bu strateji, üç temel sütun üzerine kuruludur:

* **Metrikler (Metrics):** Tüm mikroservislerin ve altyapı bileşenlerinin performans metrikleri (CPU, bellek kullanımı, API istek gecikmesi, hata oranları vb.) endüstri standardı olan **Prometheus** ile toplanacak ve **Grafana** panelleri üzerinden görselleştirilecektir.1
* **Loglar (Logs):** Tüm servislerden gelen yapılandırılmış (JSON formatında) loglar, verimli ve merkezi bir log toplama sistemi olan **Loki** üzerinde toplanacak ve sorgulanabilir olacaktır. Bu, hata ayıklama ve denetim süreçlerini büyük ölçüde kolaylaştıracaktır.1
* **İzler (Traces):** Bir kullanıcı isteğinin, platform içindeki farklı mikroservisler arasındaki yolculuğunu ve her bir serviste ne kadar zaman harcadığını takip etmek için **Jaeger** gibi bir dağıtık izleme (distributed tracing) sistemi kullanılacaktır. Bu, performans darboğazlarını tespit etmek için kritik öneme sahiptir.

**Alarm Yönetimi Felsefesi:** Etkisiz bir alarm sistemi, operatörlerin önemli olayları gözden kaçırmasına neden olan "alarm yorgunluğu" yaratır. Bu nedenle, SCADA sistemlerindeki en iyi alarm yönetimi pratiklerini benimseyeceğiz 94:

* **Alarm Tanımı:** Bir alarm, yalnızca bir operatörün müdahalesini gerektiren anormal bir durumu ifade etmelidir. Rutin olaylar (örneğin, bir cihazın açılıp kapanması) "event" olarak kaydedilecek, alarm olarak değil.
* **Önceliklendirme ve Gruplama:** Alarmlar, aciliyetlerine göre (Kritik, Yüksek, Orta, Düşük) önceliklendirilecek ve ilgili ekiplere (bakım, operasyon, IT) göre gruplandırılacaktır.
* **"Nuisance" (Rahatsız Edici) Alarmların Kaldırılması:** Sürekli tekrar eden, yanlış yapılandırılmış veya birincil bir arızanın sonucu olarak ortaya çıkan ikincil (cascading) alarmlar aktif olarak tespit edilip sistemden temizlenecektir.
* **Bildirim ve Yönlendirme:** Kritik alarmlar, **Alertmanager** aracılığıyla, doğru ekibe doğru kanaldan (Slack, e-posta, PagerDuty) anında iletilecektir.1

### **9.3. API Stratejisi ve Geliştirici Ekosistemi**

AEMOS Voltura, kapalı bir kutu değil, üzerine yeni değerler inşa edilebilecek açık bir **platform** olmayı hedefler. Bu vizyonun merkezinde, güçlü ve geliştirici dostu bir API stratejisi yer almaktadır. Birincil API'miz, istemcilerin ihtiyaç duydukları veriyi esnek ve verimli bir şekilde sorgulamasına olanak tanıyan **GraphQL** olacaktır.1 Bu GraphQL API, platformun tüm modüllerine (Dijital İkiz, P2P, Raporlama vb.) tek bir birleşik endpoint üzerinden erişim sağlayacaktır.

Bu API-first yaklaşımı, aşağıdakileri mümkün kılacaktır:

* **Üçüncü Parti Entegrasyonları:** Müşterilerin ve iş ortaklarının, AEMOS verilerini kendi ERP, MES veya BI sistemleriyle kolayca entegre etmesi.
* **Özel Uygulamalar:** Geliştiricilerin, belirli endüstriyel ihtiyaçlara yönelik niş uygulamalar (örneğin, bir tekstil fabrikası için özel verimlilik analizi modülü) geliştirmesi.
* **Gelecekteki App Marketplace:** Bu güçlü API altyapısı, gelecekteki "Uygulama Pazaryeri" (App Marketplace) vizyonumuzun temelini oluşturur. Bu pazaryeri, AEMOS ekosistemini büyütecek ve platformun yeteneklerini sürekli genişletecektir.

## **Bölüm 10: Sonuç ve Gelecek Yol Haritası**

Bu doküman, AEMOS Voltura platformunun MVP sürümü ve ötesi için kapsamlı bir teknik ve stratejik yol haritası sunmaktadır. Bu son bölümde, MVP sonrası geliştirme öncelikleri özetlenmekte ve platformun uzun vadeli rekabet avantajını güvence altına alacak stratejik öneriler sunulmaktadır.

### **10.1. MVP Sonrası Geliştirme Öncelikleri ve Vizyon**

Minimum Uygulanabilir Ürün (MVP), yolculuğumuzun sadece başlangıcıdır. MVP'nin başarılı bir şekilde pazara sunulmasının ardından, platformu endüstriyel enerji yönetiminde yeni bir standart haline getirecek olan ileri seviye modüllere odaklanılacaktır. Bu modüller, müşterilerimize daha fazla **otonomi, zeka ve ekosistem değeri** sunmayı hedefler 1:

* **HVAC RL Optimizasyonu:** Platformun AI motorunu, endüstriyel tesislerin ve ticari binaların en büyük enerji tüketim kalemi olan HVAC sistemlerini, Pekiştirmeli Öğrenme (Reinforcement Learning) kullanarak tam otonom bir şekilde kontrol edebilecek şekilde geliştirmek. Bu, müşterilerimize %20'lere varan ek enerji tasarrufu sağlama potansiyeline sahiptir 32 ve AEMOS'u basit bir izleme platformundan aktif bir optimizasyon aracına dönüştürür.
* **EcoAI Copilot'un Genişletilmesi:** Mevcut LLM tabanlı asistanımızı, sadece soruları yanıtlayan bir sohbet robotundan, platform üzerinde karmaşık iş akışlarını (örneğin, bir optimizasyon senaryosu çalıştırma, P2P ticaret teklifi oluşturma, CBAM raporu hazırlama) doğal dil komutlarıyla yürütebilen proaktif bir **"ajan"** haline getirmek. Bu, kullanıcı deneyiminde bir devrim yaratarak platformun benimsenmesini ve etkinliğini en üst düzeye çıkaracaktır.
* **App Marketplace (Uygulama Pazaryeri):** Üçüncü parti geliştiricilerin, enerji danışmanlarının ve teknoloji ortaklarının, AEMOS platformu üzerinde kendi modüllerini, analitik araçlarını ve entegrasyonlarını geliştirip satabilecekleri bir uygulama pazaryeri oluşturmak. Bu, AEMOS'un etrafında bir ekosistem yaratarak platformun yeteneklerini katlanarak artıracak ve yeni gelir modelleri oluşturacaktır.

### **10.2. Stratejik Öneriler ve Fikri Mülkiyet (IP) Stratejisi**

AEMOS Voltura, birçok alanda teknolojik yenilikler içermektedir. Bu yeniliklerin ve rekabet avantajımızın korunması için proaktif bir Fikri Mülkiyet (IP) stratejisi izlenmesi kritik öneme sahiptir. Bu kapsamda, aşağıdaki alanlarda patent başvuruları yapılması önceliklendirilecektir 1:

1. **Dijital İkiz Tabanlı Enerji Optimizasyon Yöntemi:** Bir endüstriyel tesisin fiziksel varlıklarının dijital ikizini oluşturma, bu ikizi gerçek zamanlı IoT verileriyle senkronize etme ve AI modelleri kullanarak enerji verimliliğini, maliyetini ve karbon ayak izini bütünsel olarak optimize etmeye yönelik sistem ve yöntem.
2. **Enerji Ticareti için kWh-NFT Sistemi:** Dağıtık enerji kaynaklarından üretilen veya tasarruf edilen enerji birimlerinin, blokzincir üzerinde ERC-1155 standardı ile meta veri zengini, değiştirilemez token'lara (NFT) dönüştürülmesi ve bu token'ların eşler arası bir piyasada alınıp satılmasına olanak tanıyan sistem ve yöntem.
3. **RL Tabanlı HVAC Kontrol Algoritması:** Bir binanın veya tesisin HVAC sistemlerinin, tesisin dijital ikizi üzerinde eğitilmiş bir Pekiştirmeli Öğrenme (RL) ajanı tarafından, enerji maliyeti ve kullanıcı konforu gibi çoklu hedefleri göz önünde bulundurarak otonom bir şekilde kontrol edilmesi yöntemi.

Bu patentler, AEMOS'un temel teknolojik yeniliklerini koruma altına alacak, taklit edilmesini zorlaştıracak ve şirketimizin uzun vadeli değerini ve pazardaki lider konumunu güvence altına alacaktır.

Sonuç olarak, AEMOS Voltura, Türkiye'nin ve bölgenin endüstriyel enerji yönetimi pazarında bir paradigma kayması yaratma potansiyeline sahiptir. Bu dokümanda ortaya konan kapsamlı teknik temel, yenilikçi özellikler ve sağlam stratejik vizyon ile AEMOS, sadece müşterilerinin maliyetlerini düşürmekle kalmayacak, aynı zamanda onların daha verimli, daha sürdürülebilir ve küresel pazarda daha rekabetçi işletmeler haline gelmelerine olanak tanıyacaktır. Başarılı bir uygulama, platform için önemli bir pazar etkisi ve sürdürülebilir bir rekabet avantajı ile sonuçlanacaktır.

#### Alıntılanan çalışmalar

1. DETAYLI AEMOS.pdf
2. Digital Twins for Power Plants: Enhancing Efficiency and Predictive Analytics, erişim tarihi Temmuz 14, 2025, <https://www.energycentral.com/energy-biz/post/digital-twins-power-plants-enhancing-efficiency-and-predictive-analytics-MlLL1sYYKjF60Zk>
3. Electrical Digital Twin System | Schneider Electric - YouTube, erişim tarihi Temmuz 14, 2025, <https://www.youtube.com/watch?v=wRJU0yCYgwI>
4. Digital Twin | Siemens Software, erişim tarihi Temmuz 14, 2025, <https://www.sw.siemens.com/en-US/technology/digital-twin/>
5. Revolutionizing Energy Management: The Power of AI and Digital Twins, erişim tarihi Temmuz 14, 2025, <https://www.cyis.org/post/revolutionizing-energy-management-the-power-of-ai-and-digital-twins>
6. Digital services - Siemens Energy, erişim tarihi Temmuz 14, 2025, <https://www.siemens-energy.com/global/en/home/products-services/service-offerings/digital-services.html>
7. Webinar: What Can a Digital Twin Do for You? - Siemens Energy, erişim tarihi Temmuz 14, 2025, <https://www.siemens-energy.com/us/en/home/events/webinar-digital-twin.html>
8. What is a Real-Time Digital Twin? | 2024 - Tavus, erişim tarihi Temmuz 14, 2025, <https://www.tavus.io/post/real-time-digital-twin>
9. How Digital Twin Enhances SCM Through Data Sync - Number Analytics, erişim tarihi Temmuz 14, 2025, <https://www.numberanalytics.com/blog/digital-twin-scm-data-sync>
10. Design and Implementation of Digital Twin Factory Synchronized in Real-Time Using MQTT, erişim tarihi Temmuz 14, 2025, <https://www.mdpi.com/2075-1702/12/11/759>
11. Digital Twins: Simulating and Optimizing Building Performance - Technology Innovators, erişim tarihi Temmuz 14, 2025, <https://www.technology-innovators.com/digital-twins-simulating-and-optimizing-building-performance/>
12. Digital Twins for Industry 4.0 | Predictive Maintenance - Acuvate, erişim tarihi Temmuz 14, 2025, <https://acuvate.com/blog/digital-twin-for-predictive-maintenance/>
13. Digital Twins in manufacturing: Revolutionizing production and maintenance - DataScienceCentral.com, erişim tarihi Temmuz 14, 2025, <https://www.datasciencecentral.com/digital-twins-in-manufacturing-revolutionizing-production-and-maintenance/>
14. Understanding ISO 23247-2 Data Framework - Anvil Labs, erişim tarihi Temmuz 14, 2025, <https://anvil.so/post/understanding-iso-23247-2-data-framework>
15. Ultimate Guide to ISO 23247-4 for Digital Twin Systems | Anvil Labs, erişim tarihi Temmuz 14, 2025, <https://anvil.so/post/ultimate-guide-to-iso-23247-4-for-digital-twin-systems>
16. ISO 23247 Digital Twin Framework for Manufacturing - AP238.org, erişim tarihi Temmuz 14, 2025, <http://ap238.org/iso23247/>
17. Digital Twin | Explained | Energy Efficiency Examples, erişim tarihi Temmuz 14, 2025, <https://energyadvicehub.org/digital-twin-technolgy-what-is-it-and-how-will-it-impact-the-energy-sector/>
18. Ansys TwinAI | The Predictive Power of Digital Twins Combined with ..., erişim tarihi Temmuz 14, 2025, <https://www.youtube.com/watch?v=wXtqpi9PHmk>
19. EcoStruxure Grid - Schneider Electric, erişim tarihi Temmuz 14, 2025, <https://www.se.com/ww/en/work/campaign/innovation/energy.jsp>
20. Digital Twin Simulation-Based Software - Ansys, erişim tarihi Temmuz 14, 2025, <https://www.ansys.com/products/digital-twin>
21. Ansys Twin Builder | Create and Deploy Digital Twin Models, erişim tarihi Temmuz 14, 2025, <https://www.ansys.com/products/digital-twin/ansys-twin-builder>
22. Energy Industry Transformation through Simulation - Ansys, erişim tarihi Temmuz 14, 2025, <https://www.ansys.com/industries/energy>
23. How GE burned $7B on their platform (and how to avoid doing the same), erişim tarihi Temmuz 14, 2025, <https://platformengineering.org/blog/how-general-electric-burned-7-billion-on-their-platform>
24. Case Study CH 12 GE Bets On The Internet of Things and Big Data Analytics (Convert OCR), erişim tarihi Temmuz 14, 2025, <https://www.scribd.com/document/532956690/Case-Study-Ch-12-GE-Bets-on-the-Internet-of-Things-and-Big-Data-Analytics-Convert-OCR>
25. GE's Big Bet on Data and Analytics - MIT Sloan Management Review, erişim tarihi Temmuz 14, 2025, <https://sloanreview.mit.edu/case-study/ge-big-bet-on-data-and-analytics/>
26. Unleashing the Power of Digital Twins – Volue, erişim tarihi Temmuz 14, 2025, <https://www.volue.com/news/navigating-the-digital-frontier-unleashing-the-power-of-digital-twins-with-volue>
27. The Role of AI in Energy Forecasting and Smarter Power Management - Zealous System, erişim tarihi Temmuz 14, 2025, <https://www.zealousys.com/blog/ai-in-energy-forecasting-and-power-management/>
28. AI-Driven Energy Optimization: Revolutionizing Manufacturing - Maintwiz, erişim tarihi Temmuz 14, 2025, <https://www.maintwiz.com/thought-leadership/ai-energy-optimization-manufacturing/>
29. AI in Energy and Industry: How Artificial Intelligence is Driving Efficiency and Innovation, erişim tarihi Temmuz 14, 2025, <https://www.tribe.ai/applied-ai/ai-in-energy-and-industry>
30. AI-Driven Digital Twins: Revolutionizing Modern Industry - Rapid Innovation, erişim tarihi Temmuz 14, 2025, <https://www.rapidinnovation.io/post/leveraging-ai-driven-digital-twins-for-enhanced-predictive-analytics-and-operational-efficiency-in-2024>
31. A Data-Driven Approach Towards the Application of Reinforcement Learning Based HVAC Control - OPUS, erişim tarihi Temmuz 14, 2025, <https://opus4.kobv.de/opus4-th-wildau/files/1706/1244.pdf>
32. Optimal control of HVAC and window syst...ilation through reinforcement learning, erişim tarihi Temmuz 14, 2025, <https://scholar.harvard.edu/files/ychen/files/optimal_control_of_hvac_and_window_systems_for_natural_ventilation_through_reinforcement_learning.pdf>
33. Study on the application of reinforcement learning in the operation optimization of HVAC system | Request PDF - ResearchGate, erişim tarihi Temmuz 14, 2025, <https://www.researchgate.net/publication/338250323_Study_on_the_application_of_reinforcement_learning_in_the_operation_optimization_of_HVAC_system>
34. Explainable Energy AI → Term - Prism → Sustainability Directory, erişim tarihi Temmuz 14, 2025, <https://prism.sustainability-directory.com/term/explainable-energy-ai/>
35. Role of Explainable AI (XAI) in Energy System Decision-Making - Patsnap Eureka, erişim tarihi Temmuz 14, 2025, <https://eureka.patsnap.com/article/role-of-explainable-ai-xai-in-energy-system-decision-making>
36. (PDF) Explainable AI for Energy Prediction and Anomaly Detection in Solar Energy Systems, erişim tarihi Temmuz 14, 2025, <https://www.researchgate.net/publication/384411531_Explainable_AI_for_Energy_Prediction_and_Anomaly_Detection_in_Solar_Energy_Systems>
37. AI to operate 40% of power and utility control rooms by 2027, says Gartner - Tech Monitor, erişim tarihi Temmuz 14, 2025, <https://www.techmonitor.ai/digital-economy/ai-and-automation/ai-operate-40-power-utility-control-rooms-2027-gartner>
38. What is Reactive Power Compensation? Explained! - Reo.pl, erişim tarihi Temmuz 14, 2025, <https://reo.pl/en/information/green-encyclopedia/182/what-is-reactive-power-compensation-explained>
39. Reactive Power Compensation Technology: Principles and Applications - CHINT Global, erişim tarihi Temmuz 14, 2025, <https://www.chintglobal.com/ph/en/about-us/news-center/blog/reactive-power-compensation-technology.html>
40. Reactive power compensation in electrical plants with generators | EEP, erişim tarihi Temmuz 14, 2025, <https://electrical-engineering-portal.com/reactive-power-compensation-electrical-plants-with-generators>
41. How to control and protect capacitor banks before something goes wrong | EEP, erişim tarihi Temmuz 14, 2025, <https://electrical-engineering-portal.com/control-protect-capacitor-banks>
42. How are capacitor banks used to reduce current? - Quora, erişim tarihi Temmuz 14, 2025, <https://www.quora.com/How-are-capacitor-banks-used-to-reduce-current>
43. How to Size Capacitor Banks and Avoid Power Factor Penalties, erişim tarihi Temmuz 14, 2025, <https://p3-inc.com/how-to-size-capacitor-banks-and-avoid-power-factor-penalties/>
44. Active Filters for Harmonic Elimination - Monolithic Power Systems, erişim tarihi Temmuz 14, 2025, <https://www.monolithicpower.com/en/learning/mpscholar/power-electronics/power-quality-and-harmonics/active-filters-for-harmonic-elimination>
45. ACTIVEPHASE™ Active Harmonic Filter (AHF), erişim tarihi Temmuz 14, 2025, <https://naacenergy.com/active-harmonic-filter/>
46. Active Harmonic Filter - Hammond Power Solutions, erişim tarihi Temmuz 14, 2025, <https://americas.hammondpowersolutions.com/products/filters/active-harmonic-filter>
47. Project EDGE (Energy Demand & Generation Exchange) - CSIRO Research, erişim tarihi Temmuz 14, 2025, <https://research.csiro.au/ired2022/wp-content/uploads/sites/477/2022/11/Project-EDGE.pdf>
48. Project EDGE Reports - AEMO, erişim tarihi Temmuz 14, 2025, <https://aemo.com.au/initiatives/major-programs/nem-distributed-energy-resources-der-program/der-demonstrations/project-edge/project-edge-reports>
49. Blockchain used for major Australian renewable energy market trial - Ledger Insights, erişim tarihi Temmuz 14, 2025, <https://www.ledgerinsights.com/blockchain-used-for-major-australian-renewable-energy-market-trial/>
50. Australia's energy market operator to trial DER marketplace on blockchain, erişim tarihi Temmuz 14, 2025, <https://www.smart-energy.com/regional-news/australia-new-zealand/australias-energy-market-operator-to-trial-der-marketplace-on-blockchain/>
51. Policy Brief: A regulatory sandbox for the Colombian electric sector - ResearchGate, erişim tarihi Temmuz 14, 2025, <https://www.researchgate.net/publication/348786007_Policy_Brief_A_regulatory_sandbox_for_the_Colombian_electric_sector>
52. Energy Regulation Sandbox | Ofgem, erişim tarihi Temmuz 14, 2025, <https://www.ofgem.gov.uk/energy-regulation-sandbox>
53. Regulatory Sandbox: F&S Energy Limited | Ofgem, erişim tarihi Temmuz 14, 2025, <https://www.ofgem.gov.uk/decision/regulatory-sandbox-fs-energy-limited>
54. Bangkok T77 P2P Trading Trial, erişim tarihi Temmuz 14, 2025, <https://www.go-p2p.org/case_studies/bangkok-t77-p2p-trading-trial/>
55. A Case Study of Existing Peer-to-Peer Energy Trading Platforms: Calling for Integrated Platform Features - ResearchGate, erişim tarihi Temmuz 14, 2025, <https://www.researchgate.net/publication/375901968_A_Case_Study_of_Existing_Peer-to-Peer_Energy_Trading_Platforms_Calling_for_Integrated_Platform_Features>
56. A Case Study of Existing Peer-to-Peer Energy Trading Platforms: Calling for Integrated Platform Features - MDPI, erişim tarihi Temmuz 14, 2025, <https://www.mdpi.com/2071-1050/15/23/16284>
57. sonnenCommunity | sonnen, erişim tarihi Temmuz 14, 2025, <https://sonnengroup.com/sonnencommunity/>
58. Germany's Sonnenbatterie Launches Energy Trading Platform - CleanTechnica, erişim tarihi Temmuz 14, 2025, <https://cleantechnica.com/2015/12/06/germanys-sonnenbatterie-launches-energy-trading-platform/>
59. Rebranded Sonnenbatterie hopes community energy trading can make it 'bigger than E.On', erişim tarihi Temmuz 14, 2025, <https://www.energy-storage.news/rebranded-sonnenbatterie-hopes-community-energy-trading-can-make-it-bigger-than-e-on/>
60. FAQ about the SunContract platform and project, erişim tarihi Temmuz 14, 2025, <https://suncontract.org/faq-about-suncontract/>
61. About SunContract Blockchain based Energy Project, erişim tarihi Temmuz 14, 2025, <https://suncontract.org/about-suncontract-blockchain-project/>
62. Suncontract 2025 Company Profile: Valuation, Funding & Investors | PitchBook, erişim tarihi Temmuz 14, 2025, <https://pitchbook.com/profiles/company/226216-90>
63. Geopolitical Constraints of Turkey's Energy Hub Ambitions, erişim tarihi Temmuz 14, 2025, <https://www.institude.org/report/geopolitical-constraints-of-turkeys-energy-hub-ambitions>
64. Breakdown of different stages of continuous double auction (CDA)‐based... - ResearchGate, erişim tarihi Temmuz 14, 2025, <https://www.researchgate.net/figure/Breakdown-of-different-stages-of-continuous-double-auction-CDA-based-market-The-first_fig1_368675022>
65. Comparison of trading quantity before/after continuous double auction. - ResearchGate, erişim tarihi Temmuz 14, 2025, <https://www.researchgate.net/figure/Comparison-of-trading-quantity-before-after-continuous-double-auction_tbl1_334712329>
66. Blockchain and Double Auction-Based Trustful EVs Energy Trading Scheme for Optimum Pricing - MDPI, erişim tarihi Temmuz 14, 2025, <https://www.mdpi.com/2227-7390/10/15/2748>
67. Double-Sided Energy Auction: Equilibrium Under Price Anticipation - arXiv, erişim tarihi Temmuz 14, 2025, <https://arxiv.org/pdf/1605.06564>
68. What is ERC-1155? The multi-token standard explained - CoinTracker, erişim tarihi Temmuz 14, 2025, <https://www.cointracker.io/learn/erc-1155>
69. ERC-1155 Tokenization Flow - Oracle Help Center, erişim tarihi Temmuz 14, 2025, <https://docs.oracle.com/en/cloud/paas/blockchain-cloud/usingoci/erc-1155-tokenization-flow.html>
70. ERC-721 vs ERC-1155: Which is Better for NFTs? | Chetu, erişim tarihi Temmuz 14, 2025, <https://www.chetu.com/blogs/blockchain/erc-721-vs-erc-1155.php>
71. medium.com, erişim tarihi Temmuz 14, 2025, <https://medium.com/@spydra/revolutionizing-energy-management-with-hyperledger-fabric-b5db8ecbfb43#:~:text=Enable%20peer%2Dto%2Dpeer%20energy,the%20adoption%20of%20renewable%20energy.>
72. Blockchain Privacy and Scalability in a Decentralized Validated Energy Trading Context with Hyperledger Fabric - MDPI, erişim tarihi Temmuz 14, 2025, <https://www.mdpi.com/1424-8220/22/12/4585>
73. suryapratap1/Hyperledger-Fabric-Decentralized-Energy-Composer - GitHub, erişim tarihi Temmuz 14, 2025, <https://github.com/suryapratap1/Hyperledger-Fabric-Decentralized-Energy-Composer>
74. Carbon Border Adjustment Mechanism - Taxation and Customs Union, erişim tarihi Temmuz 14, 2025, <https://taxation-customs.ec.europa.eu/carbon-border-adjustment-mechanism_en>
75. CBAM and the Omnibus Decree Updates - Aither Group AG, erişim tarihi Temmuz 14, 2025, <https://aither.com/cbam-and-the-omnibus-decree-updates/>
76. CBAM reports - DEHSt, erişim tarihi Temmuz 14, 2025, <https://www.dehst.de/EN/Topics/CBAM/Transition-phase/CBAM-reports/cbam-reports_node.html>
77. Carbon Border Adjustment Mechanism (CBAM) - European Commission's trade, erişim tarihi Temmuz 14, 2025, <https://trade.ec.europa.eu/access-to-markets/en/news/carbon-border-adjustment-mechanism-cbam>
78. Empowering Corporate Accountability: Inside GRI's New Climate Change and Energy Standards - Directors Institute, erişim tarihi Temmuz 14, 2025, <https://www.directors-institute.com/post/empowering-corporate-accountability-inside-gri-s-new-climate-change-and-energy-standards>
79. New GRI standards released for climate and energy reporting, erişim tarihi Temmuz 14, 2025, <https://instituteofsustainabilitystudies.com/insights/news-analysis/new-gri-standards-released-for-climate-and-energy-reporting/>
80. GRI Releases New Climate and Energy Reporting Standards - ESG Today, erişim tarihi Temmuz 14, 2025, <https://www.esgtoday.com/gri-releases-new-climate-and-energy-reporting-standards/>
81. INFRASTRUCTURE SECTOR - SASB, erişim tarihi Temmuz 14, 2025, <https://sasb.ifrs.org/wp-content/uploads/2017/09/Infrastructure-ExposureDraft-Redline.pdf?hsCtaTracking=0090e224-6a28-45fc-aa29-b8d68ad5be16%7C600d3d21-5619-4a68-80cb-c94f23701410>
82. sasb - renewable resources & alternative energy sector, erişim tarihi Temmuz 14, 2025, <https://sasb.ifrs.org/wp-content/uploads/2017/09/RenewableResources-ExposureDraft-Redline.pdf?hsCtaTracking=340f7806-9840-4c51-8a55-64fb0a0663e8%7C3b0f2e88-720a-4c25-b641-f0430d0c47c7>
83. SASB Standards overview, erişim tarihi Temmuz 14, 2025, <https://sasb.ifrs.org/standards/>
84. LLM for data analysis: Transforming workflows in 2025 - Softweb Solutions, erişim tarihi Temmuz 14, 2025, <https://www.softwebsolutions.com/resources/llm-for-data-analysis.html>
85. How LLMs and Data Analytics Work Together - Pecan AI, erişim tarihi Temmuz 14, 2025, <https://www.pecan.ai/blog/llm-data-analytics-work-together/>
86. LLM for Data Analysis: Harnessing Large Language Models for Insights - CastorDoc, erişim tarihi Temmuz 14, 2025, <https://www.castordoc.com/ai-strategy/llm-for-data-analysis>
87. Top 22 Platforms with the Best LLM for Data Analysis Tools - Lamatic.ai Labs, erişim tarihi Temmuz 14, 2025, <https://blog.lamatic.ai/guides/best-llm-for-data-analysis/>
88. Retrieval Augmented Generation (RAG) in Azure AI Search - Learn Microsoft, erişim tarihi Temmuz 14, 2025, <https://learn.microsoft.com/en-us/azure/search/retrieval-augmented-generation-overview>
89. What is Retrieval-Augmented Generation (RAG)? - Google Cloud, erişim tarihi Temmuz 14, 2025, <https://cloud.google.com/use-cases/retrieval-augmented-generation>
90. What is RAG? - Retrieval-Augmented Generation AI Explained - AWS, erişim tarihi Temmuz 14, 2025, <https://aws.amazon.com/what-is/retrieval-augmented-generation/>
91. Managing Data Security and Privacy Risks in Enterprise AI | Frost Brown Todd, erişim tarihi Temmuz 14, 2025, <https://frostbrowntodd.com/managing-data-security-and-privacy-risks-in-enterprise-ai/>
92. The impact of AI in data privacy protection - Lumenalta, erişim tarihi Temmuz 14, 2025, <https://lumenalta.com/insights/the-impact-of-ai-in-data-privacy-protection>
93. Exploring privacy issues in the age of AI - IBM, erişim tarihi Temmuz 14, 2025, <https://www.ibm.com/think/insights/ai-privacy>
94. 5 Tips for SCADA Alarm Management, erişim tarihi Temmuz 14, 2025, <https://www.scadalrt.com/post/5-tips-for-scada-alarm-management>
95. 9 SCADA Alarm Management Best Practices That Will Improve Your ROI - DPS Telecom, erişim tarihi Temmuz 14, 2025, <https://www.dpstele.com/insights/2019/06/04/9-scada-alarm-management-best-practices-improve-your-roi/>
96. Alarm management best practices - Professional Training for All Skill Levels, erişim tarihi Temmuz 14, 2025, <https://info.solutionspt.com/alarm-management-best-practices>