



Enerjide  
Dijitalleşme  
Derneği

# Stratejik Altyapı Olarak Veri Merkezleri:

Teknoloji, Enerji  
ve Egemenlik

MAYIS 2026



## **Enerjide Dijitalleşme Derneği Hakkında**

Enerjide Dijitalleşme Derneği (EDİDER) Türkiye'nin enerji alanında hızla gelişen dijital teknolojilerde öncü ve rekabetçi olması için tüm paydaşları bir araya getiren, ortak platformlar kuran ve strateji belirlemede karar alıcılara destek olacak Türkiye'nin enerjideki ileri teknoloji düşünce kuruluşu olarak 9 Ocak 2020 günü yola çıkmıştır.

Türkiye'de enerji, teknoloji ve iletişim alanında faaliyet gösteren önemli üyelerinin katkılarıyla EDİDER son 6 yılda çeşitli organizasyonlar, çalıştaylar ve içerikler üreterek enerji dönüşümünde dijitalleşmenin önemi konusunda farkındalığı arttıran çalışmalar yaparak bu alanın gelişimine katkı sağlamıştır.

**Yazarlar:** Ali Fuat Fırat, Fatma Gözel

**Editör:** Gökberk Bilgin

Bu rapor, [www.edider.org](http://www.edider.org) adresinden indirilebilir.

Aksi belirtilmedikçe, bu yayında yer alan materyaller; kaynak ve telif hakkı sahibi olarak EDİDER'e uygun şekilde atıfta bulunulması kaydıyla serbestçe kullanılabilir, paylaşılabilir, kopyalanabilir, çoğaltılabilir, basılabilir ve/veya depolanabilir.

Bu yayında üçüncü taraflara atfedilen materyaller ise ayrı kullanım koşulları ve kısıtlamalara tabi olabilir. Bu tür materyallerin kullanımını öncesinde, ilgili üçüncü taraflardan gerekli izinlerin alınması gerekebilir.

**Atıf:** EDİDER (2026), *Stratejik Altyapı Olarak Veri Merkezleri: Teknoloji, Enerji ve Egemenlik*, Enerjide Dijitalleşme Derneği, Türkiye.

**Sorumluluk Reddi:** Bu rapor çalışma kapsamında esas alınan kabuller, Mayıs 2026 tarihi itibarıyla geçerli olan piyasa koşulları doğrultusunda hazırlanmıştır. Söz konusu piyasa koşulları zaman içerisinde değişiklik gösterebileceğinden, bu raporun hazırlanmasına katkı sağlayan kurum ve kişiler; raporda yer alan öngörülerin gerçekleşmemesi, farklı şekilde gerçekleşmesi veya piyasa koşullarındaki değişimlerden kaynaklanabilecek doğrudan ya da dolaylı ticari kazanç ya da kayıplardan sorumlu tutulamaz.

**Tasarım:** Flowgate

Mayıs 2026

# İçindekiler

Grafik ve Şekiller.....	04
Yönetici Özeti .....	06

## Bölüm 1

<b>Veri Merkezi Nedir?.....</b>	<b>08</b>
1.1 Veri Merkezi Türleri.....	08
1.2 Veri Merkezi Nasıl Kurulur?.....	10
1.3 Veri Merkezlerinde Tier Kavramı Nedir?.....	12
1.4 Veri Merkezlerinde Elektrik Tüketimi.....	15
1.5 Veri Merkezlerinde Enerji Verimliliği ve Sürdürülebilirliği.....	15
1.6 Veri Merkezlerinde Enerji Tüketim Kalemlerinin Hesaplanması.....	17
1.7 Veri Merkezlerinde Enerji Verimliliğinin Artırılması.....	18
1.8 Veri Merkezlerinde Enerji Verimliliğiyle İlgili Gelişim Alanları ve Çözüm Önerileri.....	19

## Bölüm 2

<b>Ülkelerin Veri Merkezi Yatırımları.....</b>	<b>28</b>
--	-----------

## Bölüm 3

<b>Ülkelerin Veri Merkezlerindeki Enerji Verimliliğiyle İlgili Çalışmaları ve Yasal Zorunlulukları.....</b>	<b>32</b>
---	-----------

## Bölüm 4

<b>Veri Merkezlerinin Uluslararası İlişkiler Teorileri Üzerinden Değerlendirilmesi</b>	<b>36</b>
--	-----------

## Bölüm 5

<b>Sonuç.....</b>	<b>48</b>
<b>Kaynakça.....</b>	<b>50</b>

# Grafik ve Şekiller

## Grafikler

<b>Grafik 1:</b> Veri Merkezlerinde Enerji Tüketimi Dağılımı. ....	17
<b>Grafik 2:</b> Kaynaklara Göre Dünyada Küresel Elektrik Tüketimi 2012-2024. ....	20
<b>Grafik 3:</b> Ülkeler Bazında Veri Merkezi Yatırımları (2025-2030 Arası Taahhüt Edilen Milyar ABD doları). ....	30

## Şekiller

<b>Şekil 1:</b> Tier Seviyeleri ve MW Başına Maliyetler (ABD doları). ....	13
<b>Şekil 2:</b> Veri Merkezlerinde Enerji Verimliliği Değerler. ....	19



# Yönetici Özeti

Bu rapor, veri merkezlerini teknik altyapı haricinde enerji güvenliği, dijital egemenlik, yapay zekâ, küresel rekabet ve sürdürülebilirlik ekseninde şekillenen stratejik sistemler olarak ele almaktadır. Çalışma boyunca veri merkezlerinin teknik mimarisi, enerji tüketim dinamikleri, sürdürülebilirlik uygulamaları, küresel yatırım eğilimleri ve uluslararası ilişkiler teorileriyle olan bağlantıları bütüncül bir perspektifle incelenmiştir.

Yapay zekâ uygulamalarının hızla yaygınlaşması, bulut bilişim hizmetlerinin büyümesi ve dijital ekonominin genişlemesiyle birlikte veri merkezleri küresel ekonominin temel altyapılarından biri hâline gelmiştir. Günümüzde veri merkezleri yapay zekâ model eğitimi, finansal sistemler, kamu hizmetleri, savunma altyapıları ve dijital iletişim ağlarının sürekliliğini sağlayan kritik düğüm noktalarıdır. Bu dönüşüm, veri merkezlerini enerji politikalarının, ulusal güvenlik stratejilerinin ve teknoloji rekabetinin merkezine yerleştirmiştir.

Raporda veri merkezlerinin teknik altyapısı detaylı biçimde ele alınmıştır. Ortak barındırma, kurumsal, hiper ölçekli, bulut ve edge veri merkezleri gibi farklı veri merkezi türleri; ölçek, yatırım maliyeti ve enerji yoğunluğu açısından değerlendirilmiştir. Özellikle hiper ölçekli veri merkezlerinin gigawatt seviyelerine ulaşan enerji talepleri, veri merkezlerinin artık klasik BT tesislerinden çıkarak enerji sistemlerinin büyük ölçekli tüketicileri hâline geldiğini göstermektedir.

Veri merkezlerinin operasyonel sürekliliği açısından Tier sınıflandırmaları kritik bir öneme sahiptir. Tier I seviyesinden Tier IV seviyesine geçildikçe sistem yedekliliği, hata toleransı ve kesintisiz çalışma süresi artarken yatırım maliyetleri de ciddi ölçüde yükselmektedir. Raporda yer alan değerlendirmelere göre Tier III seviyesindeki veri merkezleri, maliyet ve güvenilirlik dengesi nedeniyle sektörün en yaygın tercihi hâline gelmiştir. Tier IV veri merkezleri ise finans, telekomünikasyon ve kritik kamu hizmetleri gibi kesintinin kabul edilemediği alanlarda tercih edilmektedir. Bu durum, dijital altyapıların artık operasyonel bir tercih değil, stratejik dayanıklılık meselesi hâline geldiğini ortaya koymaktadır.

Çalışmanın önemli bölümlerinden biri veri merkezlerinin enerji tüketimi ve sürdürülebilirlik boyutudur. Uluslararası Enerji Ajansı verilerine göre veri merkezleri 2024 itibarıyla yaklaşık 415 TWh elektrik tüketerek küresel elektrik talebinin yaklaşık %1,5'ini oluşturmaktadır. Yapay zekâ uygulamalarındaki büyüme nedeniyle bu tüketimin önümüzdeki yıllarda daha da hızlanacağı öngörülmektedir. Veri merkezlerinde enerji tüketiminin yaklaşık %55'i BT ekipmanlarından, %30'u soğutma sistemlerinden, %10'u güç altyapısından ve %5'i diğer tesis yüklerinden kaynaklanmaktadır. Özellikle yapay zekâ odaklı yüksek yoğunluklu işlem altyapıları, enerji talebini ve soğutma ihtiyacını dramatik biçimde artırmaktadır.

Bu nedenle raporda enerji verimliliği çözümlerine geniş yer verilmiştir. Hava soğutma, sıvı soğutma ve hibrit soğutma sistemleri; enerji yoğunluğu, maliyet ve operasyonel verimlilik açısından değerlendirilmiştir. Özellikle sıvı soğutma sistemleri ve doğrudan çip soğutma teknolojileri, yüksek işlem yoğunluğuna sahip yapay zekâ veri merkezlerinde

kritik çözümler olarak öne çıkmaktadır. Bunun yanında yapay zekâ destekli optimizasyon sistemleri, dijital ikiz teknolojileri ve otomasyon çözümleri sayesinde veri merkezlerinin enerji tüketiminin dinamik biçimde yönetilebildiği vurgulanmaktadır. Ayrıca atık ısı geri kazanımı, yenilenebilir enerji entegrasyonu ve mikro şebeke çözümleri gibi uygulamaların veri merkezlerinin sürdürülebilirlik performansını doğrudan etkilediği belirtilmektedir.

Raporda ülkelerin veri merkezi stratejileri de karşılaştırmalı biçimde analiz edilmiştir. ABD, yaklaşık 5.427 veri merkezi ile küresel lider konumunu sürdürmekte ve özellikle yapay zekâ altyapıları için yüz milyarlarca dolarlık yatırım gerçekleştirmektedir. Çin ise "Doğudan Veriyi Batıya Yönlendirme" stratejisi kapsamında veri merkezlerini ulusal kalkınma ve dijital egemenlik politikalarının merkezine yerleştirmiştir.

Avrupa Birliği enerji verimliliği ve sürdürülebilirlik ekseninde kapsamlı düzenlemeler geliştirirken; Singapur, Güney Kore ve Hindistan gibi ülkeler enerji verimli veri merkezi ekosistemleri kurmayı stratejik hedef hâline getirmiştir. Türkiye ise 2030 yılına kadar yaklaşık 1 GW seviyesinde yapay zekâ uyumlu millî veri altyapısı kurmayı hedeflemekte ve veri merkezi yatırımlarını dijital dönüşüm stratejisinin önemli bir bileşeni olarak değerlendirmektedir.

Çalışmanın özgün yönlerinden biri, veri merkezlerinin uluslararası ilişkiler teorileri üzerinden analiz edilmesidir. Realist yaklaşım veri merkezlerini dijital çağın stratejik güç unsurları olarak değerlendirmekte; veri egemenliği, bulut altyapıları ve yapay zekâ kapasitesi üzerinden devletler arası rekabeti açıklamaktadır. Liberal yaklaşım veri merkezlerini küresel iş birliği, karşılıklı bağımlılık ve dijital ekonomik entegrasyonun altyapıları olarak yorumlamaktadır.

Marksist yaklaşım ise veri merkezlerini dijital kapitalizmin üretim araçları olarak görmekte; veri akışları, platform ekonomileri ve küresel sermaye yoğunlaşması üzerinden dijital eşitsizliklerin yeniden üretildiğini ileri sürmektedir. Rapor, güncel jeopolitik gelişmeler ışığında realizmin dijital altyapılar üzerindeki güç mücadelesini açıklamada daha güçlü bir çerçeve sunduğunu değerlendirmektedir.

Sonuç olarak veri merkezleri artık yalnızca teknoloji sektörünün bir parçası değil; enerji güvenliği, ekonomik rekabet, yapay zekâ kapasitesi, dijital egemenlik ve sürdürülebilir kalkınmanın merkezinde yer alan stratejik altyapılar hâline gelmiştir.

Önümüzdeki dönemde veri merkezlerinin geleceği; enerji verimliliği yüksek teknolojiler, yenilenebilir enerji entegrasyonu, gelişmiş soğutma sistemleri, yapay zekâ destekli optimizasyon çözümleri ve uluslararası dijital yönetim mekanizmaları ile şekillenecektir. Türkiye açısından ise bu dönüşüm, yalnızca teknik kapasite artışı değil; aynı zamanda enerji, teknoloji ve egemenlik ekseninde uzun vadeli stratejik bir konumlanma ihtiyacını ortaya koymaktadır.

# 1. Veri Merkezi Nedir?

Veri Merkezi, bir şirketin veya kurumun dijital dünyadaki tüm hayati bilgilerini (uygulamalar, veriler, web siteleri) barındıran, koruyan ve yöneten, özel olarak tasarlanmış fiziksel bir tesis veya bir binedir. En basit tanımıyla veri merkezleri kuruluşların kritik uygulamalarını barındırmak için kullandıkları fiziksel bir tesistir. (Uptime Institute, 2025)

- Bu tesis, içerideki pahalı ve hassas ekipmanın (sunucular) sürekli çalışmasını sağlamak için güç, soğutma ve güvenlik gibi temel altyapıları bir arada tutar.
- Veri merkezi, sadece ekipmanı barındırmakla kalmaz, aynı zamanda bu bilgilerin yasalara uygun ve yetkisiz erişime kapalı olmasını sağlar.

## 1.1. Veri Merkezi Türleri

**1. Ortak Barındırma Veri Merkezi:** Bu tesisler, Ortak yerleşimli veri merkezi, kendi donanımınız için alan kiralamanıza olanak tanıyan bir veri merkezini ifade eder. Örneğin, sunucularınız, kablolarınız, ağ cihazlarınız ve diğer bilgi işlem ekipmanlarınız için kendi şirket içi alanınızı kullanmak yerine, bir veri merkezinde alan kiralayabilirsiniz. Genellikle Megawatt seviyelerinde enerji kapasitesine sahip orta ve büyük ölçekli tesislerdir. Tesis sahibi için yüksek kurulum maliyeti; kullanıcı için ise paylaşımlı altyapı sayesinde kira bazlı düşük maliyet sağlar. (Uptime Institute, 2025; Dgtl Infra. 2025).



**2. Kurumsal Veri Merkezi:** Bir kuruluşun yönlendiricilerini, anahtarlarını, sunucularını, güvenlik duvarlarını ve kritik uygulamaları etkinleştiren ve verileri depolayıp işleyen diğer bileşenleri barındıran fiziksel bir tesistir. Kurumun büyüklüğüne göre Kilowatt ile Megawatt seviyeleri arasında değişen özel altyapılardır. En yüksek düzeyde özel güvenlik ve tam kontrol sağladığı için doğrudan kurum tarafından üstlenilen yüksek bir iç yatırım maliyetidir. (UI, 2025.; Dgtl Infra. 2025).

**3. Hiper Ölçekli Veri Merkezi:** Çok yüksek seviyede ölçeklenebilirlik yetenekleri sağlayan ve optimize edilmiş ağ altyapısı, sorunsuz ağ bağlantısı ve en aza indirilmiş gecikme süresi ile büyük ölçekli iş yükleri için tasarlanmış devasa bir veri merkezidir. En yüksek ölçeklenebilirlik seviyesine sahiptir; tekil tesisler genellikle Gigawatt seviyelerine ulaşabilen devasa enerji kapasiteleriyle tasarlanır. Tekil büyük projeler için yatırım hacmi genellikle 10 Milyar \$ ile 30 Milyar \$ arasındadır. (UI, 2025; Dgtl Infra. 2025).



**4. Bulut Veri Merkezi:** Kullanıcıya esnek kullanım ve ödeme seçenekleri sunarak hem alan hem de altyapı yönetim yükünü üçüncü taraf sağlayıcıya devreden, güvenli ve yüksek uyumlulukta tesis edilmiş bir saha dışı altyapı kiralama modelidir. İhtiyaca göre Megawatt seviyelerinden başlayıp hızla GW ölçeklerine esneyebilir. Sağlayıcı tarafında milyarlarca dolarlık altyapı kurulumu gerektirirken, kullanıcı için düşük "kullandıkça öde" maliyeti sunar. (UI, 2025 ;Dgtl Infra. 2025).

**5. Yönetilen Hizmetler Veri Merkezi:** Bir şirket adına üçüncü bir taraf tarafından yönetilir. Şirket, ekipmanı ve altyapıyı satın almak yerine kiralayan veri merkezidir. Şirketin BT ekipman sayısına bağlı olarak genellikle Kilowatt veya düşük Megawatt seviyelerindedir. (CISCO, 2025)

**6. EDGE Veri Merkezi:** Yerel bilgi işlem, depolama, ağ ve güvenlik teknolojilerini kullanarak verileri kaynağa yakın bir yerde işleyen dağıtılmış bir Bilgi Teknolojileri (BT) mimarisidir. Verilerin üretildiği yere daha yakın olması, uç bilişimin gecikmeyi azaltması, gerçek zamanlı yanıt hızının iyileştirilmesi ve bant genişliği maliyetlerini düşürmek için kullanılan veri merkezidir. Dağıtılmış mimariye sahip, yerel noktalarda konumlanan küçük ölçekli ve genellikle Kilowatt seviyesinde birimlerdir. (CISCO, 2025)

## 1.2. Veri Merkezi Nasıl Kurulur?

Veri merkezi kurulum ölçütleri belirlenirken, öncelikle tesisin hedeflenen kullanılabilirlik düzeyinin ve bu düzeyin iş gereksinimleriyle olan uyumunun ortaya konulması gerekmektedir. İş süreçlerinin kritiklik seviyesine uygun bir kullanılabilirlik hedefinin belirlenmesi, kurulacak veri merkezinin mimari ve teknik tasarım kararlarını doğrudan etkilediği gibi toplam yatırım ve işletme maliyetlerinin hesaplanmasında da belirleyici bir rol oynamaktadır.

Bu doğrultuda veri merkezi kurulum süreci, başlangıç aşamasında kavramsal tasarım ile ele alınmakta; kavramsal tasarım, veri merkezinin üstleneceği BT operasyonları doğrultusunda gereksinimlerin belirlendiği ve olası risk senaryolarına karşı tesisin dayanıklılığını güvence altına almayı amaçlayan bir çerçeve sunmaktadır.

Bunu takiben ayrıntılı tasarım aşamasında ise tesisin mimari, yapısal, elektriksel ve mekanik altyapı bileşenleri detaylandırılarak tüm teknik özellikler net biçimde tanımlanmaktadır (Bilge, Günal, Hoşcan ve Kaleli, 2017).

Bu tasarım süreci kapsamında, veri merkezi kurulurken dört temel bileşen ön plana çıkmaktadır:

- güvenilirlik ve yedeklilik,
- güvenlik ve hukuki uyum,
- soğutma ve enerji verimliliği ve
- konum ve altyapı.

Güvenilirlik ve yedeklilik, herhangi bir bileşenin arızalanması durumunda sistemin tamamının hizmet dışı kalmasını önlemek amacıyla kritik altyapı unsurlarının yedekli

olarak tasarlanmasını ifade etmektedir. Bu kapsamda elektrik besleme hatları, internet bağlantıları ve soğutma sistemleri yedekli kurgulanmakta; bakım veya onarım faaliyetleri sırasında dahi hizmet sürekliliğinin sağlanması hedeflenmektedir. Uptime Institute tarafından tanımlanan Tier III ve Tier IV seviyeleri, bu düzeyde bir altyapı dayanıklılığını esas alan veri merkezi tasarım yaklaşımlarını temsil etmektedir.

Güvenlik ve hukuki uyum boyutu ise veri merkezlerinde işlenen müşteri ve personel verilerinin ulusal ve uluslararası veri koruma mevzuatına uygun şekilde saklanmasını ve korunmasını kapsamaktadır. Bu çerçevede Kişisel Verilerin Korunması Kanunu (KVKK) ve ilgili uluslararası düzenlemelere uyumun yanı sıra, (ENISA, 2021) yangın, sel ve büyük ölçekli kesintiler gibi olağanüstü durumlara yönelik ayrıntılı müdahale ve felaket kurtarma planlarının önceden hazırlanması gerekmektedir.

Soğutma ve enerji verimliliği ise sunucu ve BT ekipmanlarının aşırı ısınmasını önleyerek donanımsal arızaların azaltılmasını amaçlamakta; bu kapsamda Amerikan Isıtma, Soğutma ve İklimlendirme Mühendisleri Derneği (ASHRAE) tarafından belirlenen ideal sıcaklık ve nem aralıklarını sürekli olarak koruyabilecek etkin iklimlendirme ve havalandırma sistemlerinin kullanılması öngörülmektedir.

Son olarak konum ve altyapı bileşeni, veri merkezinin deprem, sel ve benzeri doğal afet risklerinin düşük olduğu bölgelerde konumlandırılmasını ve tesisin ana elektrik ile internet omurgalarına kesintisiz erişim sağlayabilecek bir altyapıya sahip olmasını gerektirmektedir (Kişisel Verileri Koruma Kurumu, n.d.; Bilge, Günal, Hoşcan ve Kaleli, 2017).



## 1.3. Veri Merkezlerinde Tier Kavramı Nedir?

Bir tesisteki BT altyapısı kaynaklarının kullanılabilirlik, yedeklilik ve dayanıklılık seviyesini tanımlamak için kullanılan sınıflandırma sistemine veri merkezi katmanları (Tier) denir.

Veri merkezlerinin Tier seviyelerine ayrılmasının amacı, bu altyapıların kesintiye karşı ne kadar dayanıklı olduğunu standart bir şekilde belirlemek ve tesislerin güvenilirlik düzeylerini karşılaştırılabilir hâle getirmektir. Böylece işletmeler, ihtiyaç duydukları hizmet sürekliliğine göre doğru veri merkezini seçebilir ve yatırım planlamalarını daha sağlıklı yapabilir (CISCO, 2025).

### Tier I

Tier I veri merkezleri, küçük işletmelerin temel iş yüklerini desteklemek için tasarlanmıştır. Bu seviyede BT altyapısı; elektrik yedek jeneratörü, kesintisiz güç kaynağı (UPS) ve bilgisayar odası klima üniteleri gibi HVAC/soğutma sistemlerinden oluşur.

Güç ve soğutma altyapısı için yalnızca tek bir dağıtım yolu (n) vardır ve kritik bileşenlerde yedeklilik bulunmamaktadır. Bu nedenle, yıllık kesinti süresi yaklaşık 28,8 saattir ve %99,671 kesintisiz çalışma süresi sağlar (Uptime Institute, 2025).

### Tier II

Tier II seviyesinde, Tier I altyapısının tüm özellikleri bulunur ve kritik bileşenlerin bir kısmında (n+1) yedekli bileşen eklenir. Bu yedekli bileşenler, ekipman arızaları veya sınırlı bakım sürelerinde BT hizmetinin kesintiye uğramasını önler.

Tier II veri merkezlerinde yıllık kesinti süresi yaklaşık 22,7 saattir ve %99,741 kesintisiz çalışma süresi sunar (UI, 2025).

### Tier III

Tier III seviyesi, endüstride en çok tercih edilen seviyedir ve eşzamanlı bakım yapılabilirlik özellikleri mevcuttur. Bu özellik veri merkezindeki hizmetin kesintiye uğramadan bakıma alınabilir olmasını sağlar.

Tier III seviyesinin en çok tercih edilmesinin nedeni Tier IV'e göre daha uygun maliyetli olup Tier I ve Tier II'ye göre daha güvenilir olmasıdır. Tier III seviyesinde %99,982 kesintisiz çalışma süresi vardır.

Aynı Tier II seviyesinde olduğu gibi (n+1) yedekli bileşenler mevcuttur. Bu yedekli bileşenler, sistemin kritik bir parçasının arızalanması durumunda hizmetin kesintisiz devam edebilmesi için hazır bekleyen kopya parçalardır.

Bu seviyede senelik aksama süresi ortalama 1,6 saat iken, bu merkezlerde çoklu soğutma elektriksel dağıtım hatları bulunur, ancak yalnızca biri aktiftir (UI, 2025).

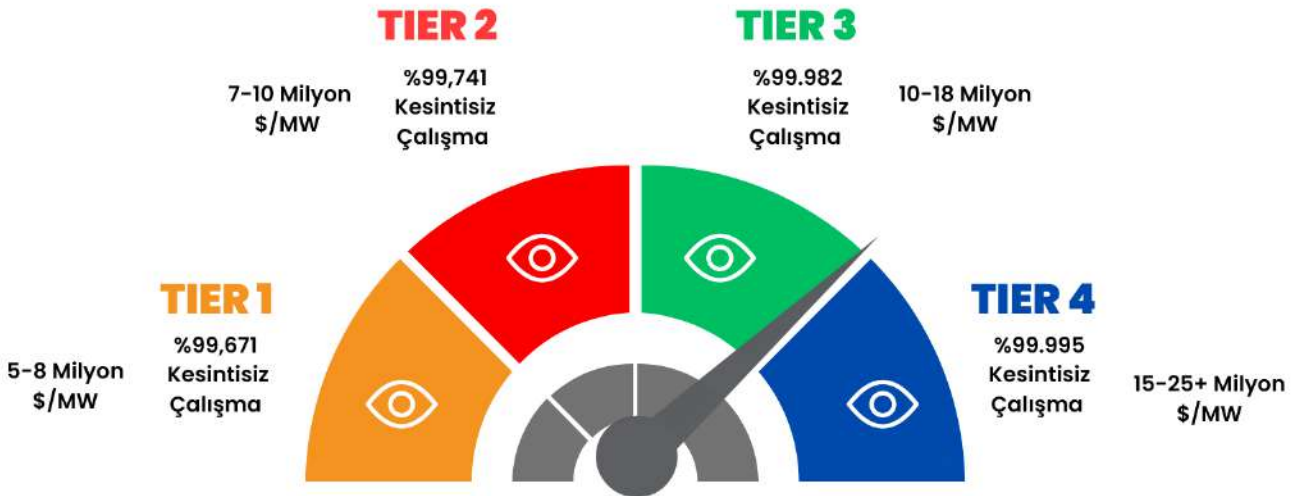
#### Tier IV

Tier IV seviyesi, veri merkezleri arasındaki en yüksek güvenilirliktir ve hata toleransı çok yüksektir. Bu özellik, veri merkezinde kritik bir hata veya arıza yaşansa bile buradaki hizmetin devam etmesini sağlar.

%99.995 kesintisiz çalışma süresiyle bu kategoride en yüksek kesintisiz çalışma saati sağlanan seviyedir. Bu seviyede yıllık aksama süresi ortalama 26 dakikadır ve bu merkezlerde birden fazla yedek soğutma ve elektriksel dağıtım hatları bulunur.

Tier II ve Tier III'teki (n+1) bileşen sayısının aksine (2n+1) bileşen sayısı vardır. Bu bileşen sayısı, iki hattı da potansiyel olarak aktif tutar. Bunun nedeni, herhangi bir arıza durumunda hazırda bekleyen aktif hattın yükü devralmasıdır. Genellikle bankalar ve telekomünikasyon firmaları gibi elektriğin asla kesilmemesi gereken büyük merkezlerde kullanılır (UI, 2025).

**Şekil 1:** Tier Seviyeleri ve MW Başına Maliyetler (ABD doları)



Veri merkezlerinde Tier seviyeleri arasındaki ayırım, operasyonel süreklilik hedeflerinden ziyade yatırım maliyetleri üzerinden daha somut bir biçimde analiz edilebilir; zira kesinti sürelerini minimize etmek için gereken yedekli altyapı, maliyetleri doğrudan artırmaktadır. Bu harcamalar endüstride genellikle Megawatt (MW) başına normalize edilerek hesaplanır. 1 MW'lık güç kapasitesi, tesisin toplam elektrik yükünü temsil ettiği için farklı ölçekteki projelerin maliyet etkinliğini kıyaslamada standart bir ölçü birimi olarak kabul edilir. Ancak maliyetleri yalnızca bu metrikle değerlendirmek arazi değerleri, bölgesel işçilik maliyetleri ve kullanılan soğutma teknolojileri gibi

değişkenler nedeniyle yanıtıcı olabileceğinden, diğer operasyonel parametrelerin de analize dahil edilmesi gerekir.

Bu kapsamda, karşılaştırılabilir bir zemin oluşturmak adına 1 MW üzerinden yapılan hesaplamalara bakıldığında, Uptime Institute (2024) ve Turner & Townsend (2024) verilerine dayalı maliyet projeksiyonları seviyeler arasındaki finansal uçurumu net bir şekilde ortaya koymaktadır.

Tier I tesisler yaklaşık 5-8 milyon dolar /MW, Tier II tesisler ise 7-10 milyon dolar/MW aralığında bir bütçeyle kurulabilirken, asıl büyük maliyet sıçraması eş zamanlı bakım özelliğinin devreye girdiği Tier III seviyesinde görülmektedir.

Tier III bir veri merkezi için yatırım maliyetleri 10-18 milyon dolar/MW bandına yükselirken, her türlü hatayı tolere edebilecek şekilde tasarlanan Tier IV merkezlerde bu rakam, tüm kritik sistemlerin fiziksel olarak tam yedeğinin kurulması zorunluluğu nedeniyle 25-30+ milyon dolar/MW seviyelerini aşmaktadır.

Bu ciddi fiyat farkı yalnızca donanım sayısındaki artışla değil, aynı zamanda enerji ve soğutma altyapısının tamamen bağımsız iki kol üzerinden inşa edilmesi ve Power Usage Effectiveness (PUE) dengesini korumak için gereken ileri mühendislik çözümleriyle açıklanmaktadır. Sonuç olarak, Tier seviyeleri arasındaki bu maliyet farkı yalnızca bir harcama artışı değil, operasyonel riskin minimize edilmesi adına yapılan stratejik bir altyapı tercihidir.



## 1.4. Veri Merkezlerinde Elektrik Tüketimi

Uluslararası Enerji Ajansı'nın yayımladığı Energy and AI raporu, veri merkezlerinin küresel enerji sistemindeki rolünün artık marjinal olmaktan çıkıp temel bir unsur haline geldiğini açık bir şekilde göstermektedir. Rapora göre, veri merkezleri 2024 yılı itibarıyla yaklaşık 415 TWh elektrik tüketimi ile küresel talebin yaklaşık %1.5'ini oluşturmaktadır.

Yapay zekâ uygulamalarındaki hızlanma nedeniyle bu tüketimin 2026 itibarıyla daha fazla artarak özellikle hiper ölçekli veri merkezlerinde yoğunlaştığı görülmektedir. Bu artış, sadece toplam tüketimi değil, aynı zamanda talebin zaman ve mekân yoğunluğunu da derinleştirmektedir.

Bölgesel dağılıma bakıldığında, belirgin bir jeoekonomik kümelenme dikkat çekmektedir. ABD, yaklaşık %40–45'lik pay ile lider konumdadır. Özellikle Virginia, Texas ve California gibi bölgelerdeki yoğun veri merkezi kümeleri sayesinde küresel dijital altyapının ana enerji tüketim merkezi haline gelmiştir.

ABD'yi ikinci sırada takip eden Çin, yaklaşık %20–25 aralığında yer alırken, Avrupa Birliği ise yaklaşık %10–15 oranında daha dengeli fakat artış eğiliminde bir profil sergilemektedir. Bu coğrafi yoğunlaşma, veri merkezlerinin elektrik talebinin sadece nicelik açısından değil, aynı zamanda şebeke stabilitesi, baz yük kapasitesi ve enerji arz güvenliği gibi sistemsel parametreler üzerinde de baskı yarattığını göstermektedir.

Ayrıca, veri merkezlerinin enerji tüketimi sadece doğrudan elektrik kullanımı ile sınırlı kalmamaktadır. Bu elektriğin üretiminde kullanılan kaynaklar üzerinden dolaylı bir fosil yakıt bağımlılığı oluşmaktadır. Özellikle doğal gaz, veri merkezlerinin yoğun olduğu bölgelerde esnek üretim kapasitesi sağladığı için önemli bir rol oynamaktadır.

## 1.5. Veri Merkezlerinde Enerji Verimliliği ve Sürdürülebilirliği

Enerji verimliliği ve sürdürülebilirliğinin sağlanabilmesi, veri merkezlerinin enerji tüketimini şekillendiren BT donanımı, soğutma çözümleri ve elektriksiz altyapı gibi ana bileşenlerin maliyet dinamiklerini ayrıntılı olarak incelenmesini gerektirir. Bu aşamada veri merkezlerinin başlıca tüketim kalemlerini açıklayarak maliyetlerinin hesaplanması yapılacaktır.

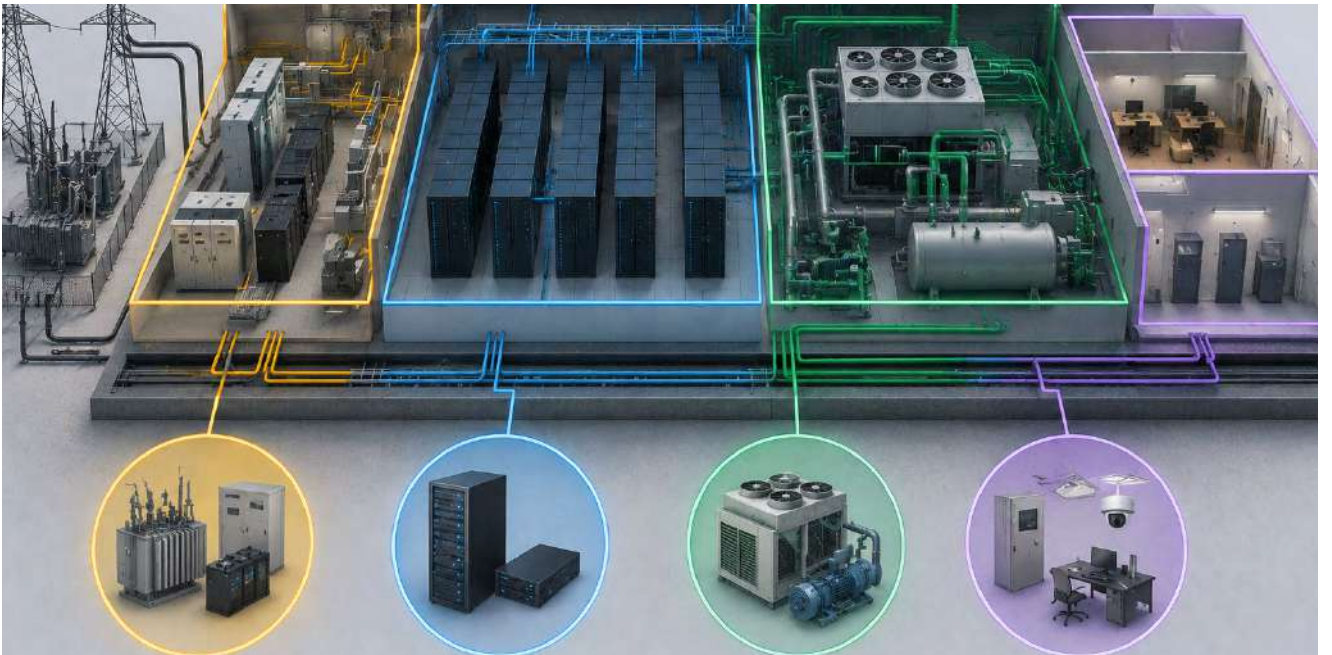
Veri merkezlerindeki toplam enerji tüketimi:

**1. BT ekipmanı:** Sunucular, depolama sistemleri ve ağ anahtarlarından oluşan temel bilgi işlem altyapısını kapsamaktadır. Bu bileşenler, veri işleme, veri erişimi ve ağ iletişimi süreçlerini gerçekleştirdikleri için veri merkezinin doğrudan hizmet üretimine ilişkin en yüksek enerji tüketimini oluşturan kategoridir. Ortalama %55'lik bir enerji tüketimi mevcuttur (CISCO, 2025).

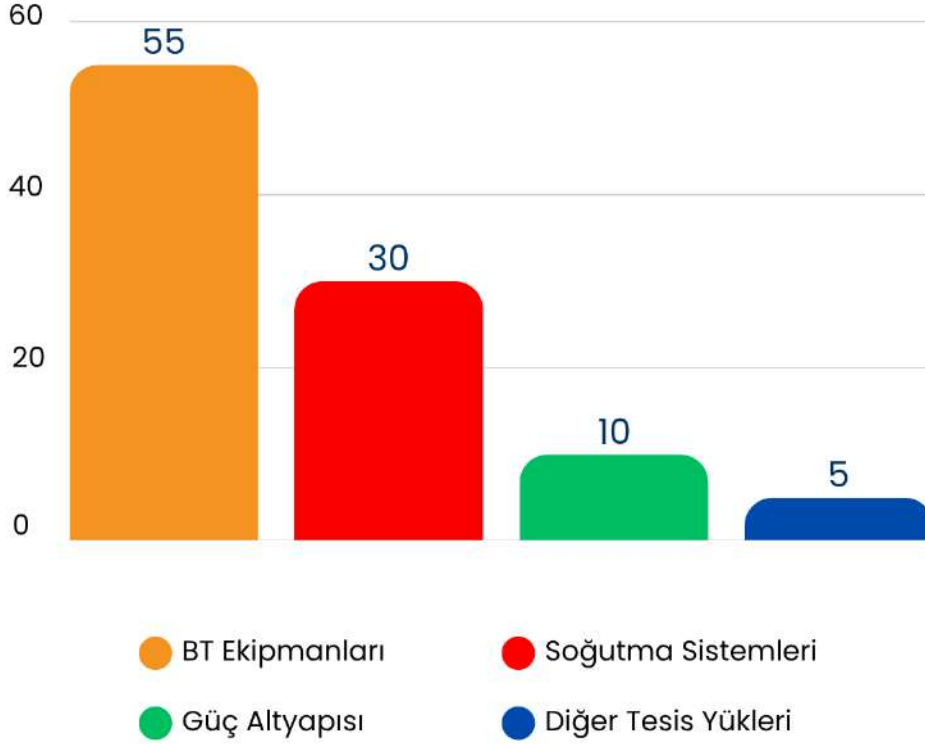
**2. Soğutma Sistemleri:** BT ekipmanının çalışması sonucunda oluşan ısının uzaklaştırılması amacıyla kullanılan chiller üniteleri (soğutma üniteleri), soğutma kuleleri, bilgisayar odası klima sistemleri ve pompalar gibi bileşenlerden meydana gelir. Bu sistemler, donanımın güvenilirliğini ve optimum çalışma sıcaklıklarını korumak için zorunlu olduğundan BT dışı yükler içinde en yüksek enerji tüketim payına sahiptir. Ortalama %30'luk bir enerji tüketimi mevcuttur (CISCO, 2025).

**3. Güç Altyapısı:** Elektrik şebekesinden BT ekipmanına enerji aktarılırken ortaya çıkan dönüşüm ve dağıtım kayıplarını içermektedir. Transformatörler, kesintisiz güç kaynakları, şalt ekipmanları ve güç dağıtım üniteleri bu kategoriye dahildir ve özellikle alternatif akımı doğru akıma dönüştürmeleriyle batarya çevrimlerinde anlamlı düzeyde enerji kaybı meydana gelir. Ortalama %10'luk bir enerji tüketimi mevcuttur (CISCO, 2025).

**4. Diğer tesis yükleri:** Aydınlatma, güvenlik sistemleri, idari ofis alanları ve benzeri yardımcı tesis ihtiyaçlarından kaynaklanan enerji talepleridir. Bu kalemler doğrudan bilgi işlem süreçlerine hizmet etmekle birlikte tesisin bütünsel işlemlerinde gerekli olan altyapısal destek yüklerini oluşturur. Enerji tüketiminin ortalama %5'ini kapsar (CISCO, 2025).



**Grafik 1:** Veri Merkezlerinde Enerji Tüketimi Dağılımı



## 1.6. Veri Merkezlerinde Enerji Tüketim Kalemlerinin Hesaplanması

Bu enerji kalemlerinin toplamının ve BT ekipmanına doğrudan giden enerjinin oranı, veri merkezinin Power Usage Effectiveness (PUE) metriği ile ölçülür. PUE, veri merkezine giren toplam enerji miktarının yalnızca BT ekipmanları tarafından kullanılan enerjiye oranı ile hesaplanır. (TechTarget, 2025)

$$PUE = \frac{\text{Toplam Enerji}}{\text{BT Enerjisi}}$$

PUE=1 ise enerji yalnızca BT ekipmanları için kullanılmıştır. Bu ideal durum anlamına gelir.

PUE değeri ne kadar yüksek çıkıyorsa altyapıya o kadar fazla enerji harcandığı anlamına gelir (ASHRAE, 2025).

## 1.7. Veri Merkezlerinde Enerji Verimliliğinin Artırılması

Veri merkezlerinde enerji verimliliğini artırmak amacıyla, kesintisiz güç kaynağı sistemleri, soğutma sistemleri ve güç dağıtım üniteleri bağlamında çeşitli yöntemler bulunmaktadır. Bu yöntemlerin daha iyi anlaşılabilmesi için iki temel kavramın açıklanması gerekmektedir.

Bunlardan ilki kesintisiz güç kaynağıdır (Uninterruptible Power Supply- UPS). Temel işlevi, elektrik kesintisi, voltaj düşüşü veya dalgalanması gibi beklenmedik durumlarda devreye girerek, içindeki aküler aracılığıyla bağlı cihazlara geçici süreli güç sağlamaktır.

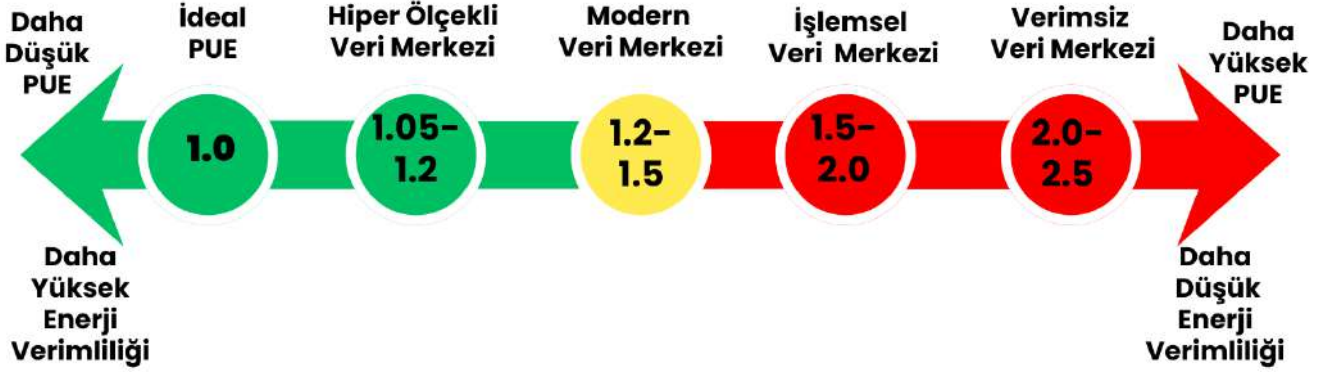
İkincisi ise güç dağıtım ünitesidir (Power Distribution Unit – PDU). Temel işlevi, jeneratörden veya ana şebekeden gelen gücü BT ekipmanlarına dağıtmaktır. Herhangi bir yedekleme işlevi bulunmaz; yalnızca gücü dağıtır ve yönetir (Şen, 2019).

Veri merkezlerinin sürekliliğini sağlamak için yedekli UPS sistemleri kullanılmalıdır. Bu alanda Tier IV seviyesi veri merkezleri sürdürülebilirlik açısından avantajlıdır çünkü  $(2n+1)$  topolojisi kullanılır. Küçük ve orta büyüklükteki veri merkezlerinde ise  $(n+1)$  topolojisi tercih edildiği için UPS'ler üzerindeki yük daha azdır bu da enerji verimliliğinin düşmesine neden olur (Şen, 2019).

Veri merkezlerinde kullanılan PDU'ların yeni teknoloji versiyonlarında kullanılan çift kararlı röleler sayesinde %75 oranında enerji tasarrufu sağlanmaktadır. Aynı zamanda PDU'lar sağladıkları izleme sistemi sayesinde akım, gerilim, sıcaklık ve nem gibi değerleri anlık olarak izler ve olası bir anormal durumun önceden tespit edilmesini sağlayarak potansiyel enerji kesintisini engeller (Şen, 2019).

Çift enerji girişi olan BT ekipmanları iki farklı PDU'ya bağlanarak arıza riski düşürülür. Bir PDU'da arıza olsa dahi buradaki ekipmanların çalışması etkilenmez ve enerji beslemesi yedeklenmiş olur. Veri merkezlerinin PUE değerleri 1 ila 2 arasında olmalıdır. PUE değeri 1'e yaklaştıkça, veri merkezlerinin verimliliği yükseliş göstermektedir. Sıcaklık kontrollü soğutma sistemi ve modüler UPS sistemi kullanıldığında, PUE değerinin 1'e daha çok yaklaştığı ortaya çıkmaktadır. Bu durum, sıcaklık kontrollü soğutma sistemi ve modüler UPS kullanılan veri merkezi projesinin daha verimli olduğunun kanıtıdır (Şen, 2019).

Şekil 2: Veri Merkezlerinde Enerji Verimliliği Değerleri



## 1.8. Veri Merkezlerinde Enerji Verimliliğiyle İlgili Gelişim Alanları ve Çözüm Önerileri

Veri merkezlerinde enerji verimliliği konusu stratejik bir öneme sahiptir. Bu bölümde, sektörde hâlihazırda kullanılan enerji verimliliği uygulamaları ile bu uygulamaları geliştirmeye yönelik olarak geliştirilen yeni nesil teknolojik ve altyapısal çözümler ele alınmaktadır.

Veri merkezlerindeki enerji verimliliğini ele alırken öncelikle bu tesislerin ne kadar enerji tükettiğini ve bu enerjiyi hangi çıktılar için kullanıldığını açıklamak gerekir. Bu noktada enerji yoğunluğu kavramı devreye girmektedir.

Enerji yoğunluğu, belirli bir işi yapmak veya belirli bir hizmeti sunmak için ne kadar enerji harcadığını gösteren bir ölçüdür. Başka bir ifadeyle, enerji tüketiminin elde edilen çıktıya oranını ifade eder. Bu oranın düşük olması, aynı çıktının daha az enerji kullanılarak üretildiğini ve dolayısıyla daha yüksek enerji verimliliğini göstermektedir (U.S. Department of Energy [DOE], 2026). Veri merkezleri açısından bu çıktı, fiziksel bir ürün olarak değil, hesaplama kapasitesi, veri işleme ve dijital hizmet sunumu gibi faaliyetlerdir.

Bu doğrultuda ilerlendiğinde enerji yoğunluğu, veri merkezlerinin ölçeklerine göre enerji tüketim düzeyleri incelendiğinde daha görünür hale gelmektedir. Literatürde veri merkezleri genellikle kurulu BT gücü ve fiziksel büyüklükleri üzerinden sınıflandırılmaktadır.

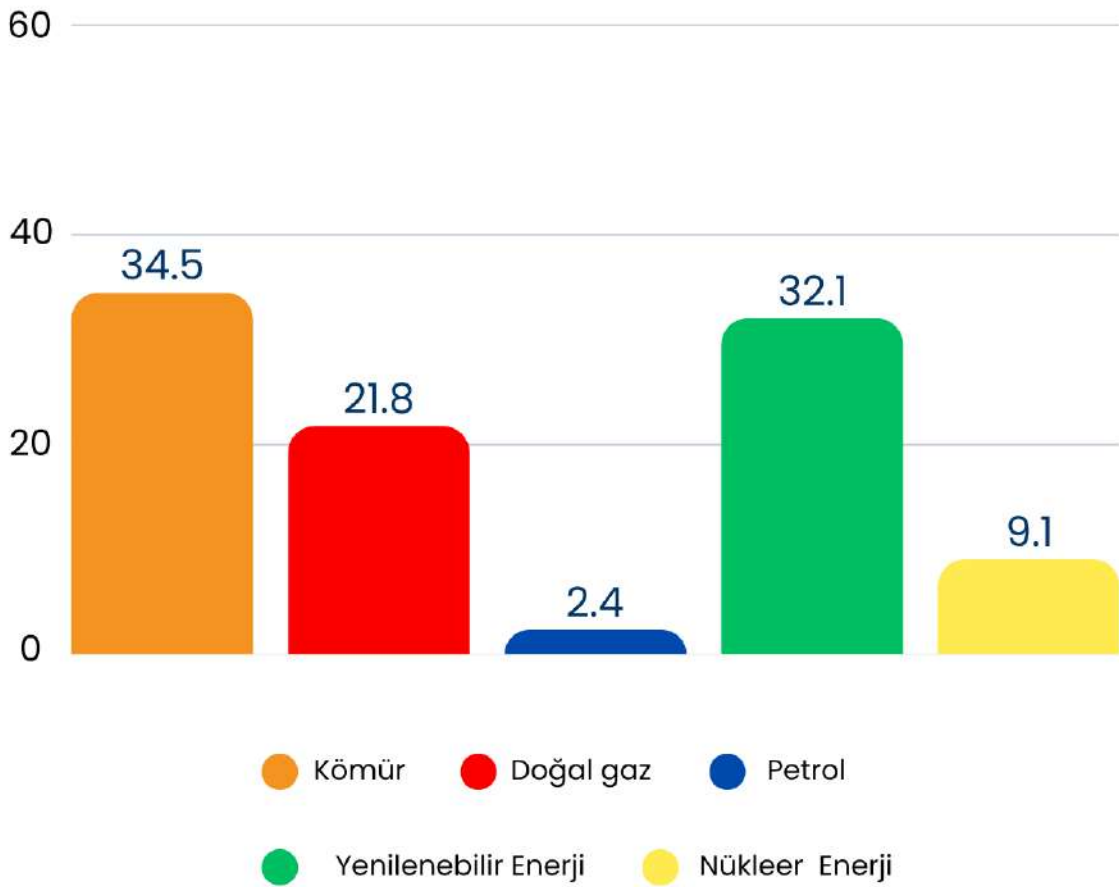
Tesis ölçeği büyüdükçe toplam elektrik üretiminde belirgin bir biçimde arttığı vurgulanmaktadır. Özellikle büyük ve hiper ölçekli veri merkezlerinin, küçük ve orta ölçekli tesislere kıyasla çok daha yüksek düzeyde enerji talebine sahip olduğu ve

küresel veri merkezi elektrik tüketiminin önemli bölümünü oluşturduğu belirtilmektedir (Kooimey,2011; Masanet, Shehabi, Lei, Smith & Kooimey, 2020).

Veri merkezlerinin enerji yoğunluğu, yalnızca tesis içi verimlilikle değil, aynı zamanda elektrik üretim sistemlerinin yapısıyla da doğrudan ilişkilidir. Veri merkezleri enerji ihtiyaçlarını büyük ölçüde elektrik enerjisi üzerinden karşılamaktadır. Ancak bu elektriğin hangi kaynaklardan üretildiği, veri merkezlerinin dolaylı enerji yoğunluğu ve karbon ayak izi üzerinde belirleyici olmaktadır.

Uluslararası Enerji Ajansı'nın verilerine göre, 2012–2024 yılları arasında küresel elektrik üretiminin %34,5'i kömürden, %21,8'i doğal gazdan ve %2,4'ü petrolden sağlanırken, %32,1'i yenilenebilir enerji kaynaklarından ve %9,1'i nükleer enerjiden elde edilmiştir (Grafik 2). Bu tablo, veri merkezlerinin doğrudan fosil yakıt kullanmamasına rağmen, şebeke elektriğinin üretim karması nedeniyle dolaylı olarak fosil yakıt temelli bir enerji yoğunluğu taşıdığını göstermektedir.

**Grafik 2:** Kaynaklara Göre Dünyada Küresel Elektrik Tüketimi 2012–2024



Bu bağlamda veri merkezlerinin enerji yoğunluğu, yalnızca teknik bir verimlilik meselesi olarak değil, aynı zamanda küresel enerji dönüşümü, karbon emisyonları ve sürdürülebilirlik politikaları çerçevesinde değerlendirilmesi gereken yapısal bir olgu olarak ortaya çıkmaktadır. Özellikle hiper ölçekli veri merkezlerinin enerji verimliliğindeki ilerlemeler, mutlak enerji tüketimindeki artışı telafi etmekte yetersiz kalabilmekte; bu durum literatürde verimlilik kazanımları ile mutlak tüketim artışı arasındaki gerilim olarak tanımlanmaktadır (Masanet et al., 2020). Dolayısıyla veri merkezleri, enerji yoğunluğu kavramı üzerinden ele alındığında, dijitalleşmenin çevresel etkilerini görünür kılan kritik altyapılar arasında yer almaktadır.

Bu doğrultuda veri merkezlerinde yeni altyapılar oluşturma çabasının yenilenebilir enerji sistemleri üzerinden çalışmalar yapılarak giderilmesi konusu ele alınabilir. Yenilenebilir enerji entegrasyonu olarak yapılan çalışma, veri merkezlerinin elektrik ihtiyacının tamamının veya bir kısmının fosil yakıtlar yerine güneş, rüzgâr ve hidroelektrik gibi temiz enerji kaynaklarından karşılanmasını ifade etmektedir. Bu entegrasyon, doğrudan şebeke bağlantısı, uzun vadeli enerji satın alma anlaşmaları veya yerinde üretim yoluyla gerçekleştirilebilmektedir (Uptime Institute, 2023).

Son yıllarda büyük ölçekli teknoloji şirketleri, veri merkezlerini yenilenebilir enerji kaynaklarıyla doğrudan ilişkilendiren stratejiler geliştirmiştir. Google'ın 7/24 karbon içermeyen enerji hedefi doğrultusunda yürüttüğü projeler, veri merkezlerinin enerji tüketimini zamansal olarak da temiz enerjiyle eşleştirmeyi amaçlamaktadır (Google, 2023). Benzer şekilde, güneş enerjisi ile batarya sistemlerinin ve mikro şebekelerin birlikte kullanıldığı hibrit yapılar, enerji arz güvenliğini artıran çözümler arasında yer almaktadır (IEA, 2024).

Yenilenebilir enerji entegrasyonu, veri merkezlerinin karbon ayak izini azaltmanın ötesinde, enerji fiyatlarındaki dalgalanmalara karşı koruma sağlayarak enerji güvenliğini artırmaktadır. Bu yaklaşım, sürdürülebilirlik ve arz güvenliği hedeflerini bir arada ele alan uzun vadeli bir sektörel çözüm olarak değerlendirilmektedir. Ancak yenilenebilir enerji kaynaklarının üretiminde görülen zamansal dalgalanmalar ve öngörülebilirlik sorunları, veri merkezlerinin kesintisiz enerji ihtiyacı ile tam uyumlu bir yönetim modelini zorunlu kılmaktadır.

Bu bağlamda dijital ikiz teknolojisi, yenilenebilir enerji entegrasyonunun operasyonel düzeyde etkin biçimde yönetilmesini sağlayan kritik bir araç olarak öne çıkmaktadır. Dijital ikiz, veri merkezinin fiziksel altyapısının gerçek zamanlı verilerle beslenen sanal bir kopyasının oluşturulmasını ifade etmektedir. Bu sanal model aracılığıyla enerji tüketimi, soğutma sistemleri, donanım yerleşimi ve çevresel koşullar eş zamanlı olarak

izlenebilmektedir (IBM Research, 2022). Böylece yenilenebilir enerji üretim profilleri ile veri merkezi yükleri arasındaki etkileşimler simüle edilebilmekte ve farklı senaryolar önceden test edilerek en verimli işletme stratejileri belirlenebilmektedir.

Dijital ikiz uygulamaları, özellikle enerji verimliliği optimizasyonunda önemli kazanımlar sağlamaktadır. Yapılan çalışmalar, bu teknolojinin soğutma verimliliğinde %10–20 oranında iyileşme sağlayabildiğini ve bakım maliyetlerini düşürdüğünü ortaya koymaktadır (Zhang et al., 2021; Schneider Electric, 2023). Bunun yanı sıra dijital ikizler, yenilenebilir enerji yatırımlarının kapasite planlaması ve altyapı ölçeklendirmesi süreçlerinde karar destek mekanizması olarak kullanılarak, veri merkezlerinin hem ekonomik hem de çevresel performansının artırılmasına katkı sunmaktadır.

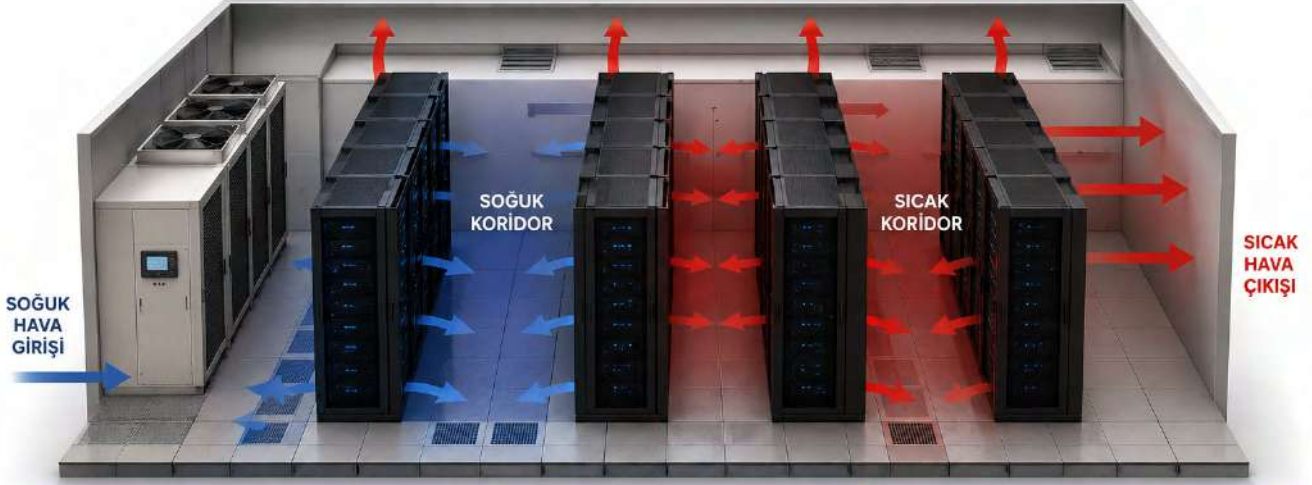
Veri merkezlerinde verimliliği arttırmak için başvurulan sistemlerin başında soğutma sistemleri gelmektedir. Soğutma ihtiyacı, çalışma sırasında ortaya çıkan ısının donanım performansını olumsuz etkilemesinden kaynaklanır. Bu doğrultuda, doğru soğutma yönteminin seçilmesi operasyonel sürdürülebilirlik açısından kritiktir.

Bu sistemler hava, sıvı ve hibrit olarak üçe ayrılır.

## 1. Hava Soğutma Sistemleri

Hava soğutma, bilgisayar ekipmanlarının ürettiği sıcak havayı dışarı atmak için klima, fan ve havalandırma deliklerini kullanan geleneksel bir metottur (Park Place Technologies, 2024). Bu sistemlerde verimliliği arttırmak için kullanılan bazı temel yöntemler şunlardır:

- Sıcak ve Soğuk Koridor Yapılandırması: Sunucu raflarının, soğuk hava girişleri ve sıcak hava çıkışları birbirine bakacak şekilde dizilmesiyle soğuk ve sıcak havanın karışması engellenir.
- Hava Akış Yönetimi: Boşluk panelleri ve zemin sızdırmazlık aparatları kullanılarak soğuk havanın doğrudan ekipmanlara yönlendirilmesi sağlanır.
- CRAC ve CRAH Üniteleri: Bilgisayar odası klimaları (CRAC) ve hava işleme üniteleri (CRAH), basınçlı hava kullanarak ortam sıcaklığını belirli bir seviyede tutar (Park Place Technologies, 2024).



## 2. Sıvı Soğutma Sistemleri















Sıvı soğutma, bileşenlerden ısıyı emmek ve dağıtmak için sıvı bir soğutucu kullanılan sistemlerdir. Havanın aksine sıvılar, yüksek ısı kapasiteleri sayesinde ısıyı çok daha verimli bir şekilde uzaklaştırabilir (Park Place Technologies, 2024).

Bu yöntem, bileşenlerin daha yakın yerleştirilmesine olanak tanıyarak alan gereksinimini azaltır ve mevcut altyapıdan daha iyi performans alınmasını sağlar. Isıyı doğrudan kaynağından emdiği için soğutma enerjisi maliyetlerini ve karbon ayak izini önemli ölçüde düşürür (DC Network Türkiye, 2024).

Sıvı Soğutma Teknikleri:

- Daldırma Soğutma: Sunucuları hava yerine özel olarak tasarlanmış, elektriği iletmeyen (dielektrik) bir sıvıya batırmayı içerir. Bu sıvı, ısıyı havadan çok daha iyi emerek sunucuların daha serin ve verimli çalışmasını sağlar (DC Network Türkiye, 2024).
- Doğrudan Çip Soğutma: CPU ve GPU gibi ana ısı kaynaklarına doğrudan bağlanan küçük soğutma üniteleri (cold plates) kullanılır. Isı kaynağından doğrudan alınan

enerji, borular içindeki sıvıya aktarılır. Bu yöntem, daldırma soğutmaya kıyasla daha az yer kaplaması ve bakım kolaylığı gibi avantajlar sunar (Park Place Technologies, 2024).

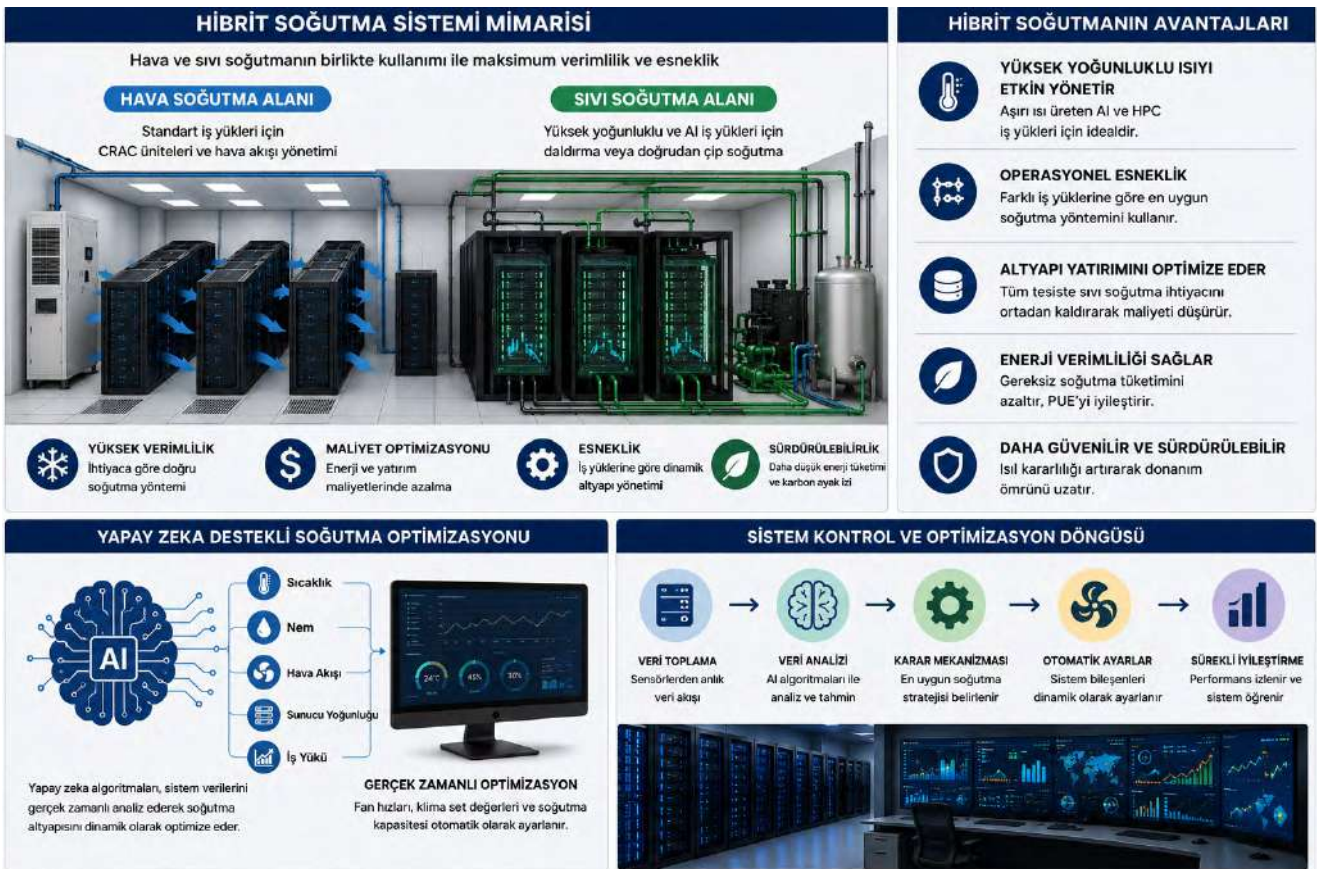
SIVI SOĞUTMA SİSTEMİ GENEL MİMARİSİ		SIVI SOĞUTMANIN AVANTAJLARI	
	KURU SOĞUTUCU (HEAT REJECTOR) POMPA DAĞITIM ÜNİTESİ	 YÜKSEK ISI TRANSFERİ VERİMLİLİĞİ	 DAHA YÜKSEK YOĞUNLUK DAHA AZ ALAN
		 DAHA DÜŞÜK ENERJİ TÜKETİMİ	 DAHA DÜŞÜK KARBON EMİSYONU
		 DAHA DÜŞÜK SES SEVİYESİ	
DALDIRMA SOĞUTMA (IMMERSION COOLING)		DOĞRUDAN ÇİP SOĞUTMA (DIRECT-TO-CHIP COOLING)	
	 Sunucular dielektrik sıvı içine batırılır.  Sıvı, ısıyı havadan çok daha verimli emer.  Yüksek yoğunluklu kurulumlara uygundur.		 Cold plate'ler ısı kaynaklarına doğrudan bağlanır.  Isı, sıvı borular yoluyla dağıtılır.  Daha az yer kaplar, bakımı daha kolaydır.

### 3. Hibrit Soğutma Sistemleri

Hibrit Soğutma, hem hava hem de sıvı teknolojilerinin bir arada kullanıldığı esnek bir yapıdır. Özellikle yapay zeka gibi işlem gücü gerektiren ve aşırı ısı üreten operasyonlar daldırma soğutma ile yönetilirken daha az zorlayıcı standart görevler hava soğutma ile desteklenir (DC Network Türkiye, '024). Bu ikili yaklaşım, operasyonel talebe göre optimize edilmiş bir soğutma sunarak altyapıyı basitleştirir ve maliyeti azaltır (Park Place Technologies, 2024).

Soğutma sistemleri, veri merkezlerinde toplam enerji tüketiminin önemli bir bölümünü oluşturduğundan, bu alandaki verimlilik artışları doğrudan operasyonel sürdürülebilirliğe katkı sağlamaktadır. Bu nedenle sektörde, yalnızca geleneksel hava ve sıvı soğutma yöntemlerinin kullanımıyla yetinilmemekte; mevcut sistemlerin daha verimli, esnek ve adaptif hâle getirilmesine yönelik teknolojik çözümler geliştirilmektedir.

Bu kapsamda öne çıkan ilk çözüm alanı, soğutma sistemlerinde yapay zekâ destekli optimizasyon uygulamalarıdır. Yapay zekâ tabanlı sistemler; sıcaklık, nem, hava akışı, sunucu yoğunluğu ve iş yükü gibi çok sayıda parametreyi gerçek zamanlı olarak analiz ederek soğutma altyapısının dinamik biçimde ayarlanmasını mümkün kılmaktadır. Fan hızları, klima set değerleri ve soğutma kapasitesi ihtiyaçlara göre otomatik olarak optimize edilmekte; böylece aşırı soğutmanın önüne geçilmektedir (Dünya Enerji, 2024). Bu yaklaşım, özellikle değişken iş yüklerine sahip büyük ölçekli veri merkezlerinde enerji verimliliğini önemli ölçüde artırmaktadır.

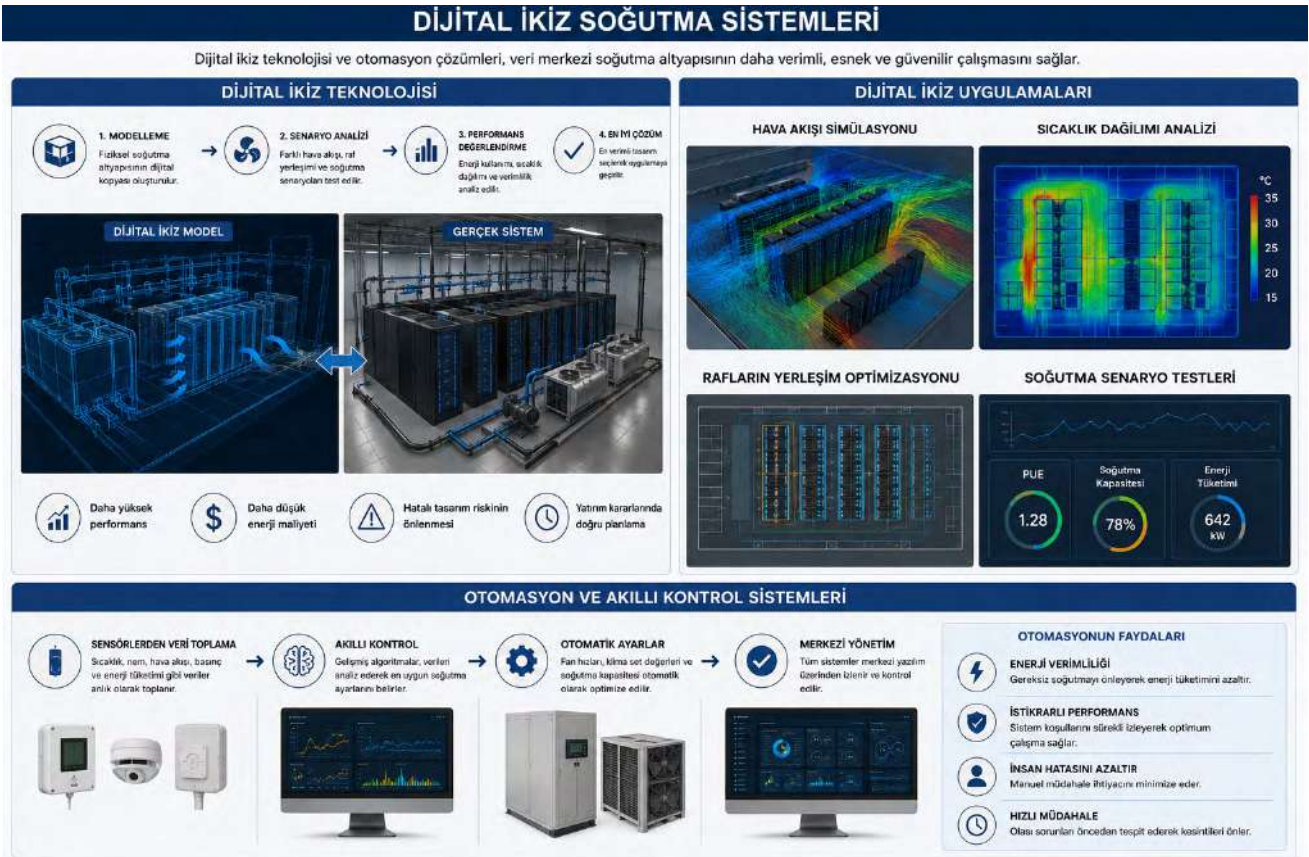


## 4. Dijital İkiz

Soğutma sistemlerinin geliştirilmesinde kullanılan bir diğer yenilikçi araç ise dijital ikiz teknolojisidir. Dijital ikizler, veri merkezinin fiziksel soğutma altyapısının sanal bir kopyasını oluşturarak farklı hava akışı düzenleri, raf yerleşimleri ve soğutma senaryolarının önceden test edilmesine olanak tanımaktadır. Bu sayede, yeni soğutma yatırımları hayata geçirilmeden önce en verimli yapı belirlenebilmekte ve hatalı tasarımlardan kaynaklanan enerji kayıpları önlenmektedir (KPMG, 2025).

Dijital ikiz uygulamaları, özellikle yüksek yoğunluklu sunucu ortamlarında soğutma performansının artırılmasında kritik bir rol oynamaktadır.

Bir diğer çözüm önerisi, soğutma sistemlerinde otomasyon düzeyinin artırılmasıdır. Geleneksel sistemlerde manuel müdahale gerektiren birçok süreç, sensörler ve otomatik kontrol mekanizmaları sayesinde merkezi yönetim yazılımları üzerinden kontrol edilebilmektedir. Bu durum, insan hatasından kaynaklanan verimsizlikleri azaltırken soğutma sistemlerinin daha istikrarlı çalışmasını sağlamaktadır (DC Network Türkiye, 2025).



Bununla birlikte, yük yoğunluğuna duyarlı soğutma yaklaşımları da sektörde giderek yaygınlaşmaktadır. Yapay zekâ ve yüksek performanslı bilişim uygulamalarının belirli raflarda yoğunlaşması, soğutma ihtiyacının mekânsal olarak farklılaşmasına yol açmaktadır. Bu doğrultuda geliştirilen çözümler, yalnızca yüksek ısı üreten alanlara odaklanan bölgesel soğutma (zonal cooling) uygulamalarını ön plana çıkarmaktadır. Böylece tüm veri merkezinin aynı düzeyde soğutulması yerine, enerji yalnızca ihtiyaç duyulan noktalarda kullanılmaktadır (Park Place Technologies, 2024).

Uzun vadede ise sektörde otonom soğutma sistemlerine geçiş hedeflenmektedir. Bu sistemlerde, yapay zekâ tabanlı algoritmalar yalnızca mevcut koşullara tepki vermekle kalmayıp, gelecekteki iş yükü artışlarını da öngörerek soğutma altyapısını proaktif biçimde ayarlayabilmektedir. Özellikle yüksek yoğunluklu sıvı soğutma ve hibrit sistemlerle birlikte değerlendirildiğinde, bu yaklaşım veri merkezlerinin artan hesaplama taleplerine enerji verimliliğinden ödün vermeden yanıt verebilmesini mümkün kılmaktadır (DC Network Türkiye, 2025).

Enerji verimliliği ile ilgili bir diğer teknoloji ise atık ısının yeniden kullanımını mümkün kılan sistemlerdir. Endüstriyel tesislerde ve veri merkezlerinde açığa çıkan atık ısının geri kazanılması, yalnızca enerji maliyetlerini düşürmekle kalmayıp aynı zamanda karbon ayak izini azaltarak sürdürülebilir enerji dönüşümünde kritik bir rol oynamaktadır.

Isı eşanjörleri, ısı pompaları ve Organik Rankine Çevrimi gibi teknolojiler sayesinde düşük dereceli ısı enerjisi bile sistemden tahliye edilmek yerine yeniden proses suyunu ısıtmak veya elektrik üretmek için kullanılabilir. Özellikle bölgesel ısıtma ağlarına entegre edilen atık ısı, şehirlerin fosil yakıtlara olan bağımlılığını azaltan bir seçenek haline gelmiştir. Uluslararası Enerji Ajansı'nın vurguladığı üzere, sanayideki enerji verimliliği potansiyelinin büyük bir kısmı, hâlihazırda atmosfere salınan bu ısının geri kazanılmasıyla doğrudan ilişkilidir (IEA,2021).



## 2. Ülkelerin Veri Merkezleri Hedefleri ve Yatırımları

2025 itibarıyla küresel ölçekte faaliyet gösteren veri merkezi sayısı 12.000'in üzerine çıkmış olup, bu altyapı bulut bilişim, büyük veri analitiği ve yapay zekâ uygulamalarının temelini oluşturmaktadır. Küresel dağılım incelendiğinde Amerika Birleşik Devletleri yaklaşık 5.427 veri merkezi ile dünya genelindeki toplam tesislerin yaklaşık %45'ine ev sahipliği yapmakta ve bu yönüyle açık ara lider konumda bulunmaktadır (Cargoson, 2025).

ABD'yi Birleşik Krallık, Fransa, Almanya ve Hollanda gibi Avrupa ülkeleri izlerken, Asya'da Hindistan, Çin ve Singapur veri merkezi yoğunluğunun hızla arttığı ülkeler arasında yer almaktadır. Bu niceliksel büyüme, aynı zamanda veri merkezlerinin küresel enerji sistemleri üzerindeki etkisini de belirgin biçimde artırmıştır.

Veri merkezlerinin enerji tüketiminin hızla artması, ülkeleri yalnızca yeni kapasite inşa etmeye değil, aynı zamanda bu kapasitenin daha düşük enerji yoğunluğuna sahip, daha yönetilebilir ve uzun vadede daha öngörülebilir maliyet yapıları sunacak biçimde tasarlanmasına yöneltmektedir (IEA, 2024). Özellikle yapay zekâ ve hiper ölçekli veri merkezlerinin yaygınlaşması, enerji talebini niceliksel olarak artırmakla kalmamakta aynı zamanda enerji arz güvenliği ve operasyonel sürekliliği yatırım kararlarının merkezine yerleştirmektedir (Deloitte, 2025).

Son yıllarda veri merkezi yatırımlarında, yalnızca fiziksel büyüklüğe dayalı harcamalardan ziyade enerji verimliliği sağlayan teknoloji ve altyapılara ayrılan harcamaların payı giderek artmaktadır (McKinsey, 2024).

Amerika Birleşik Devletleri'nde veri merkezi yatırımlarının ölçeği, Avrupa ve Asya piyasalarına kıyasla belirgin bir üstünlük sergilemektedir. 2024-2025 döneminde ABD'de duyurulan büyük ölçekli yapay zekâ altyapı yatırımlarının toplam hacmi 250 milyar ABD doları seviyesine ulaşarak tarihi bir rekor kırmıştır (Linklaters, 2024). ABD veri merkezi pazarının 2024 yılındaki 208,38 milyar dolarlık büyüklüğünün, %6,78'lik bir yıllık bileşik büyüme oranıyla 2030 yılına kadar 308,83 milyar dolara yükselmesi beklenmektedir (Market Research, 2024). Enerji kapasitesi perspektifinden bakıldığında, 2022 yılında 17 GW seviyesinde olan toplam elektrik tüketim kapasitesinin, yüksek performanslı hesaplama taleplerine bağlı olarak 2030'da 35 GW'a çıkarak iki katına ulaşacağı öngörülmektedir (IEA, 2024).

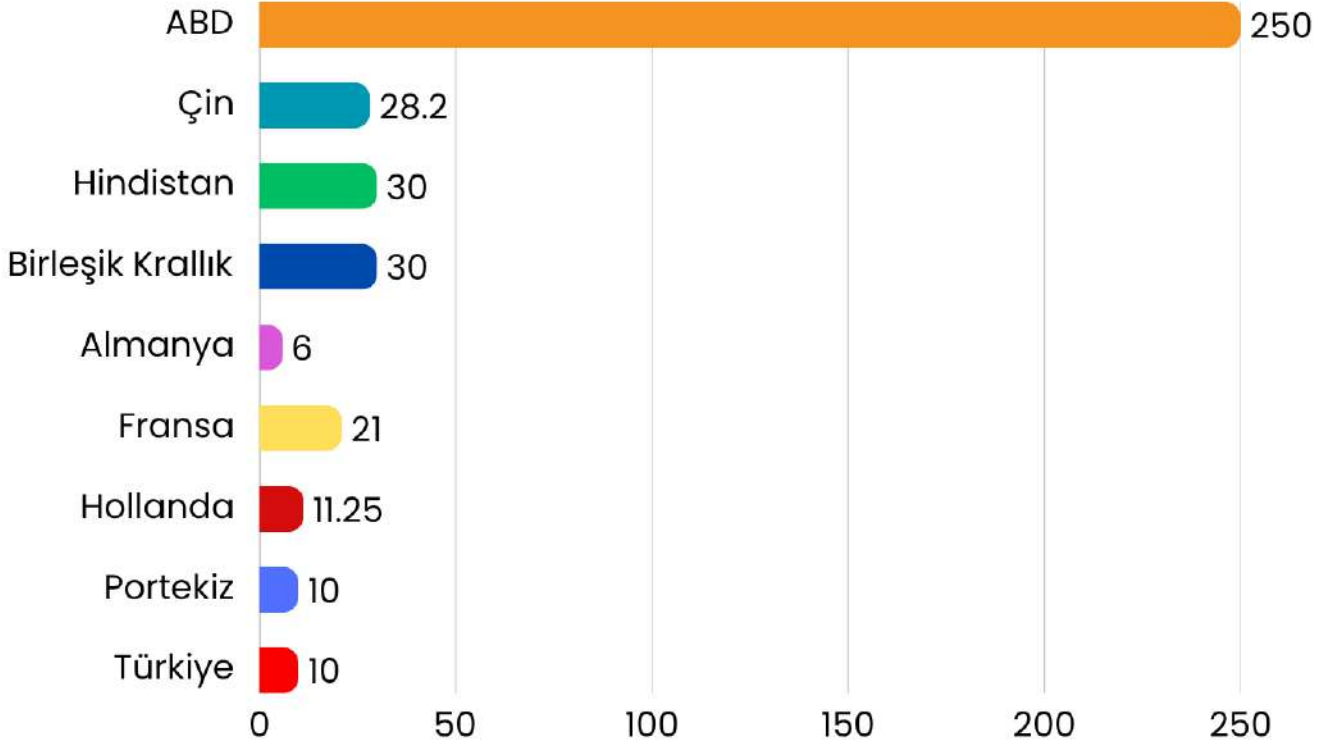


Bu büyüme, ABD'li yatırımcıları yüksek yoğunluklu sunucu raflarının yarattığı ısı yükünü yönetecek ileri düzey soğutma teknolojilerine ve enerji tüketimini mikrosaniye düzeyinde optimize eden yazılım çözümlerine devasa bütçeler ayırmaya zorlamaktadır (McKinsey, 2024).

Avrupa genelinde veri merkezi yatırımları, enerji maliyetleri ve şebeke kısıtları nedeniyle güçlü bir verimlilik odağıyla çeşitlenmektedir. Birleşik Krallık, Microsoft'un 30 milyar dolarlık devasa yatırım taahhüdü ile Avrupa'daki liderliğini pekiştirirken, teknoloji pazarının büyüklüğünü 2026 yılına kadar 17,24 milyar dolar seviyesine taşımayı hedeflemektedir (Mordor Intelligence, 2026).

Almanya, 5,5 milyar avroluk yeni Google yatırımı ile yapay zekâ altyapısını güçlendirirken, toplam 529 tesisle Avrupa'nın en büyük veri merkezi havuzuna sahip ülkesi konumuna yükselmiştir (Google Press, 2025). Fransa, yaklaşık 21 milyar dolarlık yatırım hacmiyle hiper ölçekli tesislerin geliştirilmesine odaklanırken; Portekiz, Microsoft'un duyurduğu 10 milyar dolarlık yeni veri merkezi projesiyle Güney Avrupa'nın yükselen dijital üslerinden biri haline gelmiştir (Cargoson, 2025; Midas, 2025).

**Grafik 3:** Ülkeler Bazında Veri Merkezi Yatırımları (2025–2030 Arası Taahhüt Edilen Milyar ABD doları)



Hollanda ise yaklaşık 11,25 milyar dolarlık pazar hacmiyle, özellikle Amsterdam bölgesindeki yüksek yoğunluklu tesisleri üzerinden küresel veri trafiğinin yönetiminde kritik bir rol oynamaya devam etmektedir (Mordor Intelligence, 2025).

Asya’da veri merkezi yatırımları, özellikle Çin ve Hindistan’ın dijital egemenlik stratejileri doğrultusunda devasa bir finansal hacme ulaşmıştır. Çin, “Doğu Verisi, Batı Bilişimi” projesi kapsamında, stratejik olarak belirlenen sekiz ana bilgi işlem merkezinin inşasına doğrudan 43,5 milyar yuan (yaklaşık 6,12 milyar dolar) yatırım yapmıştır (Ticaret Bakanlığı, 2024; Investing, 2024). Bu doğrudan hükümet yatırımlarının tetiklediği toplam yatırım hacmi ise Haziran 2024 itibarıyla 200 milyar yuanı (yaklaşık 28,2 milyar dolar) aşmış durumdadır (Xinhua, 2024). Ülke genelinde 1,95 milyondan fazla sunucu rafına ulaşmıştır. (Bank of America, 2025; AA, 2025).

Hindistan’da ise 2025 yılı itibarıyla yaklaşık 270 veri merkezi faaliyet göstermekte olup, 2024–2025 döneminde duyurulan büyük ölçekli yatırımların toplam büyüklüğü 30 milyar dolar seviyesine ulaşmıştır (Visual Capitalist, 2025; Cargoson, 2024). Hindistan’ın stratejik hedefi, veri merkezi kapasitesini 2029 yılına kadar 1,5 GW’tan 3 GW seviyesine

çıkarak dijital altyapı üzerindeki baskıyı yönetilebilir kılmaktır (IEA, 2024).

Türkiye, veri merkezi ekosistemi içinde konumunu güçlendirmeyi hedefleyen ülkeler arasında yer almakta olup, bu yaklaşım Cumhurbaşkanlığı Yatırım Ofisi'nin 2024–2028 eylem planlarında açık biçimde ortaya konulmaktadır; söz konusu planlarda yerel veri merkezlerinin desteklenmesi, dijital dönüşümün hızlandırılması ve bulut bilişim sektörünün büyütülmesi temel öncelikler arasında sayılmaktadır (Cumhurbaşkanlığı Yatırım Ofisi, 2024).

Farklı veri tabanlarında tanım ve kapsama alanı farklılıkları bulunmakla birlikte, Türkiye'de faaliyet gösteren veri merkezi sayısının 2024–2025 itibariyle net bir sayı verilemediği görülmektedir. Statista verilerine göre 83 olduğu Data Center Map verilerine göre 76 olduğu ortaya konmaktadır (Data Center Map,2025; Statista, 2025). Mevcut altyapı kapasitesinin yaklaşık 250 MW düzeyinde olduğu, ancak Türkiye'nin 2030 yılına kadar bu kapasiteyi 1 GW seviyesinde yapay zekâ uyumlu, millî bir veri altyapısına dönüştürmeyi hedeflediği resmî açıklamalarda vurgulanmaktadır (CNBC-e, 2024).

Bu hedef doğrultusunda, uluslararası standartlarda enerji verimliliği yüksek, ileri soğutma sistemleriyle donatılmış ve çok katmanlı siber güvenlik mimarilerine sahip veri merkezlerinin inşasına yönelik projeler başlatılmıştır (CBRE, 2024).

Türkiye ayrıca, 2030'a kadar toplam 10 milyar ABD doları tutarında veri merkezi ve yapay zekâ yatırımı çekmeyi hedeflediğini resmî olarak açıklamış olup, bu yatırımın hem fiziksel altyapı kapasitesinin genişletilmesini hem de bulut bilişim ve yapay zekâ ekosisteminin güçlendirilmesini amaçladığı belirtilmektedir (Anadolu Ajansı, 2024; CNBC-e, 2024).

Bu çerçevede Türkiye'nin veri merkezi stratejisi, niceliksel kapasite artışı ile birlikte enerji verimliliği, güvenlik ve yapay zekâ uyumluluğunu aynı anda gözetilen bütüncül bir dijital altyapı vizyonu üzerine inşa edilmektedir.

# 3. Ülkelerin Veri Merkezlerindeki Enerji Verimliliğiyle İlgili Çalışmaları ve Yasal Zorunlulukları

İşletmelerin, kamu kurumlarının ve bireylerin dijital hizmetlere bağımlılığı arttıkça, veri merkezlerinin elektrik tüketimi, su kullanımı ve çevresel etkileri ulusal enerji stratejilerinin ve iklim politikalarının önemli bir parçası olmuştur. Bu nedenle pek çok ülke, enerji verimliliğini artırmak ve dijital altyapının çevresel yükünü azaltmak amacıyla çeşitli düzenlemeler ve raporlama standartları geliştirmektedir. Veri merkezlerinin sürdürülebilir yönetimi hem enerji güvenliği hem de iklim değişikliği ile mücadele açısından artık stratejik bir zorunluluk olarak değerlendirilmektedir.

Bu çerçevede AB, veri merkezlerinin çevresel etkilerini en kapsamlı düzenlemelerle ele alan bölgelerden biri olarak öne çıkmaktadır. AB, dijital altyapının yüksek enerji talebi ve karbon emisyonu nedeniyle ortaya çıkan sürdürülebilirlik sorunlarına yanıt vermek amacıyla, ortak bir enerji verimliliği standartları sistemi kurmuştur (European Commission [EC], 2024b).

Bu kapsamda yenilenen 2023/1791 sayılı Enerji Verimliliği Direktifini (European Union [EU], 2023) destekleyen ve 14 Mart 2024/1364 sayılı Yetkilendirilmiş Yönetmelik (EC, 2024a), 500 kW ve üzeri bilgi işlem kapasitesine sahip tüm veri merkezleri için yıllık sürdürülebilirlik raporlamasını zorunlu kılmaktadır. Bu kapsamda işletmeciler; tesisin konumu, işletim modeli, kurulu bilgi işlem gücü, yıllık enerji ve su tüketimi, soğutma sistemi özellikleri, yenilenebilir enerji kullanımı ve atık ısı geri kazanımı gibi göstergeleri AB veri tabanına bildirmek zorundadır (EC, 2024a). Bu raporlamalar, AB Komisyonu tarafından oluşturulan Avrupa Veri Merkezi Veri tabanı üzerinden iletilmektedir. İlk Rapor 15 Eylül 2024 sunulduktan sonra takip eden tüm raporların ise 15 Mayıs tarihinde yayınlanması gerektiği kararlaştırılmıştır (EC, 2024b).

Bu veriler, Birliğin PUE, Water Usage Effectiveness (WUE), Renewable Energy Factory (REF) mive Energy Reuse Factor (ERF) gibi standart performans göstergelerini hesaplamasına imkân tanımakta ve tüm ölçümlerin EN 50600 teknik standartlarıyla uyumlu olması gerekmektedir. Ortak Barındırma tesislerinde müşteri bazlı bilgi işlem yükünün raporlanması da ayrıca zorunlu kılınmıştır. (EC, 2025)



Almanya, 2023 tarihli Energy Efficiency Act (EnEFG) ile AB çerçevesini genişleterek yeni veri merkezlerinde yenilenebilir enerji kullanımını ve 1 Temmuz 2026 itibarıyla atık ısı entegrasyonunu zorunlu hale getirmiştir. Bu düzenlemeler, dijital altyapının sürdürülebilirliğini artırmayı ve enerjinin daha etkin kullanılmasını hedeflemektedir. (Federal Ministry for Economic Affairs and Climate Action [BMWK], 2023).

Amerika Birleşik Devletleri'nde veri merkezlerinin enerji verimliliğini artırma kapsamında yapılan ilk çalışmalar ise 2007 yılına dayanıyor. Bu yılda ABD hükümeti, Enerji Bağımsızlığı ve Güvenliği Yasası (EISA) kapsamında yapılan araştırmalar sonucu ABD'deki veri merkezlerinde çok fazla ve hızla artan bir enerji tüketimi olduğunu saptadı. Bunun sonucunda verimlilik standartları ve PUE gibi metriklerin kullanımını teşvik etme kararı alındı. Kendi veri merkezlerinin sayısını azaltma ve optimize etme gibi çalışmaların yolu açıldı. 2008-2010 yılları arasında, ABD Çevre Koruma Ajansı (EPA) ve ABD Enerji Bakanlığı (DOE), 1992 yılında ABD Çevre Koruma Ajansı tarafında çıkan ENERGY STAR programını sunucular ve veri merkezi altyapı ekipmanlarını kapsayacak şekilde genişletti ve sertifikasyon süreçlerini başlattı. Ardından 2010 yılında, ABD Yönetim ve Bütçe Ofisi (OMB) tarafından federal kurumların veri merkezlerinin sayısını azaltması ve verimliliği artırması zorunlu kılındı. 2016 yılında, federal veri merkezleri için somut

PUE hedefleri ve sanallaştırma metrikleri zorunlu kılındı. Bu, operasyonel verimliliği yasal hedef haline getirdi. 2021 senesinde altyapı ve iklim yasaları kapsamında veri merkezlerinin yenilenebilir enerji kaynaklarına geçişini kolaylaştıran ve enerji altyapısını güçlendiren büyük teşvik ve fonlar sağlandı.

Veri merkezlerinin enerji verimliliğini artırma ve teknolojik liderliği sağlama kapsamında Çin'deki çalışmalar, dijital altyapıyı büyütme hedefiyle birlikte hız kazanmıştır. 2017 yılında, Çin, gelecekteki enerji talebini kökten artıracak olan Yeni Nesil Yapay Zekâ Geliştirme Planı'nı yürürlüğe koymuş, aynı yıl yeni veri merkezleri için PUE skorunun 1.5'in altında olması zorunluluğunu getirerek verimlilik konusunda somut ve katı kurallar belirlemiştir.

Yapay zekâdan kaynaklanan bu enerji ihtiyacını yönetmek için, 2019 yılında Pekin ve Şanghay gibi büyük enerji tüketicisi bölgelerde yeni inşaat kısıtlamaları getirilmiştir. Bu kısıtlamalar, 2021 yılında ulusal iklim hedefleri doğrultusunda sertleşmiş; veri merkezlerine %100 yenilenebilir enerji kullanma ve PUE skorunu 1.3'ün altına düşürme gibi iddialı hedefler konulmuştur.

Bu politikaların doğal bir sonucu olarak, 2021-2022 döneminde başlatılan "Doğudan Sayısal Veriyi Batıya Yönlendirme" (East-Data-West-Computing) stratejisi ile, ülkenin enerji yükü temiz enerji kaynaklarının bol olduğu batı bölgelerine sistematik olarak taşınmaya başlanmıştır. Bütün bu süreçte, Çinli teknoloji devleri, verimliliği maksimize etmek için sıvı soğutma ve ilgili AR-GE çalışmalarına ciddi yatırımlar yapmıştır (NDRC, 2022).

Singapur, 2025'te yayımladığı SS 715:2025 Energy Efficiency of Data Centre IT Equipment standardı ile veri merkezlerindeki BT ekipmanlarının enerji verimliliği konusundaki kriterlerini netleştirdi.

Bu standart ile veri merkezi operatörlerinin ve kullanıcılarının daha az elektrik tüketen verimli sunucu ve donanım seçmesini sağlayan, sanallaştırma ve iş yükü konsolidasyonu gibi yöntemlerle enerji tasarrufu yapmasını hedeflemektedir (Infocomm Media Development Authority [IMDA], 2025b). Bu optimizasyon ile BT ekipmanı kaynaklı enerji tüketimini en az %30 oranında azaltılabileceği tahmin edilmektedir.

Aynı zamanda Green Data Roadmap adlı politika planı, kısa dönemde veri merkezi kapasitesini artırmayı öngörürken yeşil enerji kullanımı ve enerji verimliliği temaları üzerine odaklanarak plan kapsamında en az 300 megawatt ek veri merkezi kapasitesi sağlanmasını, ancak bunun yeşil enerji seçeneğini kullanan operatörlere öncelik verilerek yapılmasını öngörmüşlerdir. (IMDA, 2025a).



Güney Kore ise son yıllarda veri merkezlerinde sürdürülebilirlik odağında yeniden yönlendirmeye yönelik adımlar atmaktadır. 2023 yılında Busan’da kurulacağını duyurduğu Green Data Cluster girişimi, ülkeyi bölgesel bir yeşil veri merkezi hâline getirmeyi amaçlayan en kapsamlı projelerden biridir. Bu plan hem yeni yatırımları çekmek hem de enerji verimliliği yüksek tesislerin gelişimini desteklemek amacıyla tasarlanmıştır. (Busan Metropolitan City, 2023; W.Media, 2023)

Ülkedeki özel sektör de bu dönüşüme uyum sağlayarak adımlar atmaktadır. Örneğin Digital Edge’in Incheon/Bupyeong’da geliştirdiği 36 MW kapasiteli SEL2 veri merkezi, sıvı soğutma gibi ileri tekniklere dayanmakta ve 1,25 seviyesinde tasarım PUE değeri hedefiyle yüksek verimlilik iddiası taşımaktadır (Digital Edge DC, 2024).

Benzer şekilde Hanwha Solutions gibi büyük şirketler, yenilenebilir enerjiyle bütünleşmiş lojistik ve veri merkezi kompleksleri planlayarak “yeşil veri merkezi” konseptini yürütmektedir. Bu eğilimler hem ulusal enerji politikaları hem de şirketlerin Çevresel, Sosyal, Yönetişim (ESG) hedefleriyle uyumlu olup Güney Kore’de yeşil veri merkezi pazarının 2025–2033 döneminde yıllık yaklaşık %11,6 oranında büyümesinin beklendiğini göstermektedir.

Türkiye’de veri merkezlerinin enerji verimliliği ve sürdürülebilirliği konusu ise uluslararası standartlara uyum ve maliyet avantajı motivasyonları ile ilerlemektedir. Sektördeki büyük oyuncular, tesislerinin güvenilirliğini ve operasyonel verimliliğini kanıtlamak için sıkça Uptime Institute Tier Sertifikaları alırken, yeni yatırımlar LEED ve BREEAM gibi uluslararası yeşil bina sertifikalarını hedeflemektedir.

Yasal zeminde ise, 2007 Enerji Verimliliği Kanunu (5627 Sayılı Enerji Verimliliği Kanunu [EVK], 2007) büyük enerji tüketicileri için verimlilik projeleri geliştirilmesini zorunlu kılmaktadır. Ayrıca, büyük şirketler Güneş Enerjisi Santrali (GES) entegrasyonu ile kendi enerji ihtiyaçlarını yenilenebilir kaynaklardan karşılamaya yönelmekte ve kamu kurumları da Siber Güvenlik Başkanlığı çalışmalarıyla konsolidasyon yoluyla enerji tasarrufuna katkıda bulunmaktadır (6698 Sayılı Kanun, 2016).

## 4. Veri Merkezlerinin Uluslararası İlişkiler Teorileri Üzerinden Değerlendirilmesi

Bu başlık altında veri merkezleri, uluslararası ilişkiler alanındaki üç temel teori olan realizm, liberalizm ve marksizm çerçevesinde ele alınacaktır. Her teori, veri merkezlerini farklı bir bakış açısıyla ele alarak güç mücadelesi, karşılıklı bağımlılık ve üretim ilişkileri gibi farklı analiz düzeyleri üzerinden açıklanacaktır. Amaç, veri merkezlerini yalnızca teknik yapılar olarak değil; uluslararası sistemdeki rolünü, güvenlikten ekonomiye, iş birliğinden sınıfsal hiyerarşilere kadar uzanan çok boyutlu bir perspektifle değerlendirmektir.

### a. Realizm

Realizm, uluslararası ilişkiler disiplininde devletleri sistemin temel aktörü olarak kabul eden ve uluslararası sistemi anarşik olarak tanımlayan bir teoridir. Bu anarşik yapı içerisinde devletler, hayatta kalmak ve güçlerini maksimize etmekle yükümlüdür (Keyman, 2022). Realizme göre devletlerin temel amacı, çıkarlarını korumak ve görelî güçlerini arttırmaktır. Bu amaç, devletlerin stratejik alanlar üzerinden kontrol sağlama çabasına dönüşür. Realizmde güç kavramı sadece askeri kapasite ile sınırlı kalmayıp ekonomik, teknolojik ve altyapısal unsurları da içerir.

Dijital çağda veri merkezleri, veri merkezinin depolanması, işlenmesi ve aktarılmasını mümkün kılan yapılar olduğundan realizm perspektifinden bu altyapıların kontrolünü sağlamak ulusal güvenlik ve güç politikasının bir parçası olarak değerlendirir. Bu çerçevede ele alındığında devletlerin veri merkezleri, veri yolları ve bulut altyapıları gibi dijital ağların stratejik merkezlerini kontrol etme çabası ile birlikte realizmin güç odaklı devlet anlayışı ile açıklanabilir (Farrell & Newman, 2019).

Bu bölümde realizm, teknolojik hakimiyet, bulut altyapılarına hakimiyet, teknik standartları belirleyebilme ve ekonomik hakimiyet olacak şekilde dört ayrı başlık altında ele alınarak veri merkezleriyle bağlantısı değerlendirilecektir.

Realizmin güç anlayışı çerçevesinde teknolojik hâkimiyet, veri merkezleri ile doğrudan bağlantılıdır. Gelişmiş donanım altyapılarına, yarı iletken üretim kapasitesine ve yüksek işlem gücüne sahip olan devletler, rakiplerine kıyasla daha üstün bir teknolojik konum elde etmektedir. Bu durum, realizmin öngördüğü şekilde, teknolojinin görece güç dağılımını belirleyen kritik bir unsur hâline gelmesine yol açmaktadır.

Bu çerçevede teknolojik üstünlük, büyük ölçüde yüksek işlem kapasitesi, yapay zeka altyapıları ve veri yoğun teknolojiler üzerinden tanımlanmaktadır. Veri merkezlerine



sahip olan ve bu altyapıları etkin bir biçimde yöneten devletler, teknolojik rekabette bir avantaj elde etmektedir. ABD, hiper ölçekli veri merkezleri ve yapay zekaya yönelik özel işlemci altyapıları sayesinde küresel teknolojik liderliğini sürdürmektedir. Bu durum, teknolojik kapasitenin realizm bağlamında göreceli güç üretme aracı haline geldiğini göstermektedir.

Çin ise teknolojik hakimiyetini devlet merkezli bir model üzerinden inşa etmektedir. Ulusal yapay zeka stratejileriyle veri merkezlerini doğrudan güvenlik ve kalkınma politikalarına entegre etmektedir. Çin Devlet Konseyi'nin yayınladığı dijital kalkınma belgelerinde veri altyapıları, ulusal rekabet gücünün temel bileşenlerinden biri olarak tanımlanmaktadır.

Gelişmekte olan ülkeler açısından teknolojik hakimiyet konusunu ele alındığında küresel liderlikten ziyade teknolojik bağımlılığı azaltma ve sınırlı avantajlar elde etme hedefi etrafında şekillenmektedir. Bu ülkeler, veri merkezlerini daha çok yabancı teknoloji sağlayıcılarla kurulan iş birlikleri aracılığıyla geliştirmekte ve küresel dijital değer zincirlerine eklemlenmeye çalışmaktadır. Bu durum, realizmin güç asimetrileri altında devletlerin konum iyileştirme stratejileri geliştirdiğine ilişkin varsayımıyla örtüşmektedir (World Bank, 2024; UNCTAD, 2023).

İkinci olarak bulut altyapılarına hâkimiyet, devletlerin veri akışını kontrol edebilme kapasitesini artırmaktadır. Bulut bilişim hizmetlerinin büyük ölçüde belirli ülkelerin merkezli şirketleri tarafından sağlanması, dijital bağımlılık ilişkilerini derinleştirmekte ve devletler arası güç asimetrilerini yeniden üretmektedir.

Realizm kapsamında değerlendirildiğinde bu durum, dijital alanın da tıpkı enerji veya ulaşım altyapıları gibi stratejik bir kontrol sahası hâline geldiğini göstermektedir. Dijital altyapıların merkezinde yer alan ülkelerin sahip oldukları sermaye birikimi, ileri teknolojik kapasite ve ölçek ekonomileri sayesinde hiper ölçekli veri merkezlerini kontrol etmektedir.

Üçüncü başlık olan teknik standartları belirleyebilme kapasitesi, realizmin yapısal güç anlayışıyla örtüşmektedir. Veri güvenliği, veri yerelleştirme, siber güvenlik ve yapay zekâya ilişkin teknik normların hangi aktörler tarafından belirlendiği, uluslararası sistemde uzun vadeli avantajlar yaratmaktadır. Standart belirleme gücüne sahip olan devletler, yalnızca mevcut rekabet koşullarını değil, gelecekteki teknolojik gelişim yönünü de şekillendirme imkânı elde etmektedir.

Son olarak ekonomik hâkimiyet, veri merkezlerinin sermaye yoğun yapısı ve küresel

dijital ekonomide oynadığı merkezi rol üzerinden değerlendirilebilir. Veri merkezlerine yapılan yatırımlar, dijital hizmet ticaretinden elde edilen gelirleri artırmakta ve küresel değer zincirlerinde üst basamaklara çıkılmasını sağlamaktadır. Bu durum, realizmin ekonomik gücü askerî ve teknolojik güçle birlikte ele alan bütüncül yaklaşımıyla uyumludur.

Bu bağlamda ABD ve Çin, veri merkezlerini dijital çağda gücün merkezi araçları olarak konumlandırılan öncü aktörler olarak öne çıkmaktadır. Her iki ülke de ulusal güvenlik, teknolojik liderlik ve küresel rekabet hedefleri doğrultusunda veri merkezi altyapılarını genişletmekte ve bu altyapılar üzerinden dijital egemenliklerini pekiştirmeye çalışmaktadır.

Buna karşılık gelişmekte olan ülkeler, veri merkezleri alanında doğrudan liderlik kurmaktan ziyade, yabancı yatırımı çekme, bölgesel dijital merkez hâline gelme ve düzenleyici çerçeveler aracılığıyla küresel dijital ağlara eklemlenme stratejileri izlemektedir. Bu durum, realizmin öngördüğü şekilde, uluslararası sistemde dijital altyapılar üzerinden kurulan asimetrik güç ilişkilerinin ve görelî üstünlük arayışlarının güncel bir yansıması olarak değerlendirilebilir (Arı, 2013; Farrell & Newman, 2019).

## **b. Liberalizm**

Liberalizm; özel mülkiyeti, baskı olmayan engelsiz marketi, hukukun hâkimiyetini, din ve basın özgürlüğünün anayasal garantilerini ve serbest ticarete dayanan uluslararası barışı savunan ideolojiyi ele alır (Raico & Yayla, 2011).

Liberalizmde ülkeler için ortak bir değer oluşturma fikri vardır ve bunun sonucunda ortaya çıkma potansiyeli olan çatışmalar engellenir. Liberalizmin temelinde olan iş birliği mantığı veri merkezleri konusunda da geçerlidir. Veri merkezlerinin inşası ve işletilmesi sürecinde ortaya çıkan bu iş birliği, ülkeleri birbirine karmaşık karşılıklı bağımlılık ilkesiyle bağlayarak, tek taraflı saldırganlıkların maliyetini artırır ve barışı teşvik eder. Karmaşık karşılıklı bağımlılık ise birçok ülke arasında çoklu iletişim kanallarının toplumları birbirine bağlandığı, sorunlar arasında hiyerarşinin bulunmadığı ve hükümetlerin birbirlerine karşı askeri güç kullanmadığı durumu ifade eder (Keohane & Nye 85).

Liberal bakış açısı, veri merkezlerini devletlerin gizli teknoloji depoları olarak değil; bütün dünyayı birbirine bağlayan ve ortak refah üreten dijital köprüler olarak tanımlar. Bu çerçevede Avrupa Birliği'nin Gaia-X girişimi, dijital ve veri egemenliğini güçlendirmeye yönelik stratejik bir kurumsal yanıt olarak öne çıkmaktadır. Gaia-X,

verinin yalnızca Avrupa sınırları içinde depolanmasını değil, aynı zamanda bu veriler üzerinde hukuki, teknik ve yönetsel denetimin Avrupa merkezli aktörler tarafından sürdürülebilmesini hedefleyen federatif bir dijital altyapı modeli sunmaktadır. Bu girişim, küresel bulut hizmetleri pazarındaki yoğunlaşmaya karşı alternatif bir yönetim çerçevesi geliştirmeyi ve Avrupa devletlerinin dijital alandaki karar alma kapasitesini korumayı amaçlamaktadır (Gaia-X, 2025).

Liberal yaklaşıma göre küresel ağ yapıları, esas olarak pazar verimliliği, maliyet minimizasyonu ve ölçek ekonomileri arayışının bir ürünüdür. Veri merkezlerinin belirli ülkelerde yoğunlaşması, söz konusu ülkelerin ağ merkezi konumundaki devletlerle olan ticari ilişkileri, ithalat hacimleri ve dijital talep düzeyleri ile doğrudan ilişkilidir (Lehdonvirta, Wu & Hawkins, 2025).

Örneğin, Malezya, Tayland ve Endonezya gibi ülkelerin Alibaba Cloud gibi dev sağlayıcılara ev sahipliği yapması, dijital ekonomiyi genişletme hedefi doğrultusunda rasyonel bir pazar tercihidir. Bu süreç, çevre ülkeler açısından sadece bir veri depolama alanı değil, aynı zamanda teknoloji transferi, ekonomik büyüme ve dijital kapasite artışı sağlayan bir fırsat penceresidir (Lehdonvirta, Wu & Hawkins, 2025).

Liberal perspektiften bakıldığında, veri merkezlerinin özel mülkiyet altında ancak kamusal hizmet benzeri işlevlerle çalışması, devletler ve şirketler arasında yeni bir yönetim biçimi ortaya çıkarmaktadır.

Bulut hizmetleri, dijitalleşmiş toplumlarda kamu hizmetlerinin sürekliliğini sağlayan bir altyapı olarak, ülkeleri birbirine kopmaz bağlarla eklemlenmektedir (INSS, 2023). Suudi Arabistan ve Birleşik Arap Emirlikleri gibi ülkelerin hem ABD hem de Çin merkezli veri merkezlerine (Tencent Cloud veya ABD merkezli yapay zekâ kampüsleri) kapılarını açması, liberal mantık çerçevesinde “rekabetçi bir pazar çeşitliliği” ve “teknolojik çok seslilik” olarak okunabilir. Bu çoklu ekosistem, tek bir güce bağımlı kalmak yerine, küresel dijital ağın sağladığı verimlilikten maksimum düzeyde faydalanmayı amaçlar (INSS, 2023).

Sonuç olarak liberal yaklaşım, veri merkezlerinin küresel yayılımını, pazarın görünmez eliyle şekillenen ve uluslar arasında barışçıl bir iş birliği zemini yaratan bir süreç olarak değerlendirir. Veri merkezleri, coğrafi sınırları aşan dijital bir ağın parçası olarak, ülkeler arasındaki karmaşık karşılıklı bağımlılığı derinleştirmekte ve küresel refahın adil dağılımı için gerekli olan dijital altyapıyı sunmaktadır (Lehdonvirta, Wu & Hawkins, 2025).



### c. Marksizm

Marksizm, uluslararası ilişkiler disiplinde dünyayı devletler arasındaki güç mücadelesinden ziyade, sınıfsal bir perspektifle ele alan temel teorilerden biridir. Bu yaklaşıma göre uluslararası sistem, özünde sınıfsal bir çatışma barındırır ve dünya politikasının asıl belirleyicisi ekonomik altyapıdır. Marksizmde devletler, sistemin bağımsız aktörleri olmaktan ziyade, küresel kapitalist sistemin ve sermaye birikim süreçlerinin bir yansıması olarak kabul edilir (Avcı ve Söker, 2017). Bu çerçevede devletin temel rolü, üretimi ve sermayeyi elinde bulunduran egemen sınıfların çıkarlarını korumak ve bu çıkarların küresel ölçekte devamlılığını sağlamaktır.

Marksist teoride güç kavramı, doğrudan üretim araçlarının mülkiyeti ve bu araçlar üzerindeki kontrole ilişkilendirilir. Dijital çağda veri merkezleri; verinin depolanması, işlenmesi ve ekonomik bir değere dönüştürülmesini sağlayan yapılar olarak modern ekonominin temel üretim araçları haline gelmiştir. Marksist perspektiften bu altyapıların kontrolünü sağlamak, kapitalizmin evrenselleşme sürecinin bir parçası olarak sermaye hakimiyetini pekiştirme çabasıdır. Veri merkezleri, sadece teknik yapılar değil, dijital emeğin artı değere dönüştürüldüğü ve küresel sermaye yoğunlaşmasının gerçekleştiği

stratejik mekanizmalardır.

Bu çerçevede ele alındığında, devletlerin ve küresel şirketlerin veri merkezleri ile bulut altyapıları üzerindeki kontrol çabası, Marksizmin sermaye birikimi ve sömürü ilişkileri üzerine kurulu yapısıyla açıklanabilir. Veri merkezlerini kontrol etmek, dijital ağlar üzerinden akan artı değere el koymak ve küresel ekonomik hiyerarşideki sınıfsal üstünlüğü sürdürmek anlamına gelir. Dolayısıyla, bu altyapıların yönetimi, sadece bir güvenlik meselesi değil, küresel kapitalist sistemdeki ekonomik tahakkümün bir parçası olarak değerlendirilir (Avcı ve Söker, 2017).

Bu bağlamda Marksist yaklaşım, veri merkezlerini dijital kapitalizmin teknik bir yan ürünü olarak değil, kapitalist üretim ilişkilerinin dijital mekânda yeniden örgütlendiği somut alanlar olarak ele alır.

Marx'ın Kapital'de geliştirdiği sabit sermaye kavramı, dijital politik ekonomide veri merkezleri üzerinden yeniden anlam kazanır. Zira bu yapılar yüksek enerji tüketimi, mekânsal yoğunlaşma ve uzun vadeli yatırımlar yoluyla sermayenin maddi birikimini somutlaştırır. Nick Srnicek'in Platform Kapitalizmi analizinde vurguladığı üzere, veri günümüz kapitalizminde artık basit bir meta değil, çıkarılması ve işlenmesi gereken stratejik bir hammaddeye dönüşmüştür.

Bu dönüşüm, veri merkezlerini yalnızca depolama alanları olmaktan çıkararak, dijital emeğin algoritmik süreçler aracılığıyla artı değere çevrildiği üretim düğümleri haline getirmektedir. Dolayısıyla veri merkezleri, Marksist çerçevede, sermayenin dolaşımını hızlandıran ve küresel ölçekte sınıfsal baskıyı yeniden üreten dijital üretim mekânları olarak konumlanmaktadır (Srnicek, 2017).

Bu üretim mekânlarının küresel ölçekte nasıl dağıldığı ve kimlerin denetiminde yoğunlaştığı sorusu, Marksist analizi uluslararası ilişkiler boyutuna taşımaktadır. Kapitalist üretim ilişkilerinin tarihsel olarak belirli coğrafyalarda merkezleşme eğilimi göstermesi gibi, dijital üretimin maddi altyapıları olan veri merkezleri de günümüzde sınırlı sayıda merkez ülkede ve bu ülkelerle organik bağlara sahip küresel teknoloji şirketlerinin kontrolü altında konumlanmaktadır. Böylece dijital üretim araçlarının mülkiyeti, küresel kapitalist sistemdeki mevcut sınıfsal ve mekânsal eşitsizlikleri yeniden üretmektedir (Harvey, 2006; Mosco, 2014).

Veri merkezleri aracılığıyla işleyen dijital üretim sürecinde veri, büyük ölçüde çevre ülkelerdeki emek pratikleri, tüketim davranışları ve toplumsal etkileşimler üzerinden üretilirken; bu verinin işlenmesi, metalaştırılması ve artı değere dönüştürülmesi süreci



merkez ülkelerde yoğunlaşmaktadır. Böylece dijital üretim, teknik olarak küresel ölçekte dağılmış görünmesine rağmen, ekonomik değer üretimi ve sermaye birikimi açısından merkezileşmiş bir yapı sergilemektedir. Bu yapı, Marksist literatürde tartışılan artı-değer transferi ve eşitsiz mübadele mekanizmalarının dijital çağdaki güncel karşılığı olarak değerlendirilebilir (Harvey, 2006; Couldry ve Mejias, 2019).

Dijital üretim araçlarının bu biçimde merkezileşmesi, devletlerin dijital altyapılar karşısındaki rolünü de yapısal bir çerçevede yeniden tanımlamaktadır. Marksist perspektifte devlet, piyasa dışı özerk bir aktör değil; sermaye birikim süreçlerinin sürekliliğini sağlayan bir düzenleyici olarak konumlanır.

Veri merkezleri ve bulut altyapıları bağlamında devletler, çoğu zaman küresel teknoloji sermayesinin ihtiyaçları doğrultusunda altyapı yatırımlarını teşvik etmekte, hukuki ve siyasi düzenlemeleri bu doğrultuda biçimlendirmektedir. Bu süreçte dijital altyapılar üzerinden kurulan ekonomik tahakküm, devlet aygıtı aracılığıyla kurumsallaşmakta ve meşrulaştırılmaktadır (Avcı ve Söker, 2017; Harvey, 2006).

Bu merkezileşmiş altyapı yapısı, dijital karşılıklı bağımlılığın simetrik değil, hiyerarşik biçimde işlemesine zemin hazırlamaktadır. Küresel veri akışlarının ve platform altyapılarının merkezî düğüm noktalarında yoğunlaşması, bu düğümleri kontrol eden aktörlere diğer ülkeler üzerinde ekonomik ve siyasi baskı kurabilme kapasitesi kazandırmaktadır. Bu tür bağımlılık ilişkileri, çevre ülkeleri dijital üretim sürecine çoğunlukla ham veri ve kullanıcı faaliyeti sağlayıcısı olarak dahil ederken, ortaya çıkan artı-değerin merkez ülkelere ve bu ülkelerde konumlanan sermaye fraksiyonlarına aktarılmasını mümkün kılmaktadır. Böylece dijital karşılıklı bağımlılık, küresel kapitalist sistem içinde artı-değerin merkezileştiği asimetric bir yapıyı yeniden üretmektedir (Farrell ve Newman, 2019; 2025; Couldry ve Mejias, 2019).

Sonuç olarak veri merkezleri, yalnızca teknik kapasite ya da ulusal güvenlik tartışmalarının nesnesi değil; kapitalist üretim ilişkilerinin dijital mekânda yeniden örgütlendiği, sınıfsal ve coğrafi hiyerarşilerin pekiştirildiği temel üretim alanlarıdır. Marksist bir perspektiften bakıldığında, bu altyapılar üzerinden kurulan küresel ağ yapısı, dijital çağda sınıfsal tahakkümün maddi ve mekânsal zeminini oluşturmaktadır (Mosco, 2014; Srnicek, 2017; Couldry ve Mejias, 2019).

Küresel sistem bazında veri merkezleri üzerindeki hâkimiyet mücadelesi, tek bir teoriyle açıklanamayacak kadar geniş çaplı ve çok katmanlıdır. ABD ve Çin gibi büyük güçler realist bir güç maksimizasyonu stratejisi izlerken, AB liberal kurumsallaşma araçları üzerinden dijital egemenliğini korumaya çalışmakta; Küresel Güney ise daha çok marksist bir perspektifle dijital bağımlılık sarmalını aşma mücadelesi vermektedir. Dijital altyapıların bu karmaşık yapısı, uluslararası ilişkilerde hem çatışma hem de iş birliği stratejilerinin geleceğini belirleyen temel unsurlardan biri olmaya devam etmektedir. Zira küresel dijital altyapıların mevcut örgütlenme biçimi aynı anda güç mücadelesini, kurumsal iş birliğini ve yapısal eşitsizlikleri bünyesinde barındırmaktadır.

Küresel bulut altyapısının hiyerarşik örgütlenmesi ele alındığında realizm ile marksizmin belirli noktalarda örtüştüğü görülmektedir. Küresel veri akışlarının büyük ölçüde ABD ve Çin merkezli altyapılar üzerinden gerçekleşmesi ve diğer ülkelerin bu ağa eklenmesi, realizm açısından güç yoğunlaşmasının, marksizm açısından ise sermaye ve üretim araçlarının merkezileştirilmesinin güncel bir tezahürü olarak okunabilir. Ancak iki teori arasındaki temel fark, bu yoğunlaşmanın nasıl açıklandığı noktasında ortaya çıkar. Realizm söz konusu yapıyı devletlerin ulusal güvenlik ve göreceli güç maksimizasyonu stratejilerinin sonucu olarak değerlendirirken; marksizm bunu kapitalist üretim ilişkilerinin küresel ölçekte yeniden üretimi ve artı değer transferi mekanizmaları üzerinden açıklar.

Liberalizm ise aynı yapıyı farklı bir normatif çerçevede konumlandırır ve ağların merkezileşmesini piyasa verimliliği, ölçek ekonomileri ve teknolojik uzmanlaşma süreçlerinin doğal bir çıktısı olarak değerlendirir. Burada kritik mesele karşılıklı bağımlılığın niteliğidir. Henry Farrell ve Abraham Newman'ın geliştirdiği silahlandırılmış karşılıklı bağımlılık yaklaşımı, klasik liberal varsayımı revize ederek ağların merkezinde bulunan aktörlerin yalnızca ekonomik kazanç sağlamadığını, aynı zamanda veri akışlarını izleme, yönlendirme ve gerektiğinde kesintiye uğratma kapasitesi sayesinde yapısal güç ürettiğini ortaya koymaktadır.

Bu durum, liberal iş birliği söylemi ile realist güç siyaseti arasında bir kesişim alanı yaratmaktadır. Devletler bir yandan uluslararası kurumlar ve kurallar aracılığıyla iş birliği retoriğini sürdürmekte, diğer yandan kararlarını ulusal çıkar, güç dengesi ve stratejik avantaj hesaplarına göre almaktadır. Dolayısıyla ortaya çıkan tablo ne tamamen iş birliğine dayalıdır ne de yalnızca çıplak güç mücadelesine indirgenebilir; aksine iki dinamiğin iç içe geçtiği karmaşık bir yapı söz konusudur.

### **Karşılaştırmalı Analiz**

Bu analiz, dijital altyapıların güvenlik ve egemenlik ekseninde yeniden tanımlanması nedeniyle realizmin mevcut gelişmeleri açıklamada daha tutarlı bir çerçeve sunduğunu ileri sürmektedir. Bunun temel nedeni, dijital altyapıların giderek güvenlik ve egemenlik ekseninde tanımlanıyor olmasıdır. Veri merkezleri, bulut sistemleri ve yarı iletken tedarik zincirleri artık yalnızca ekonomik verimlilik ya da piyasa rasyonalitesiyle açıklanabilecek alanlar değildir; doğrudan ulusal güvenlik, stratejik otonomi ve göreceli güç hesaplarının konusu hâline gelmiştir.

Realizmi diğer yaklaşımlardan ayıran ilk unsur, göreceli kazanç ve güç yoğunlaşmasına verdiği merkezi önemdir. Liberalizm karşılıklı bağımlılığı çoğunlukla karşılıklı fayda üzerinden değerlendirirken, realizm bu bağımlılığın asimetric boyutuna odaklanır. Güncel dijital altyapı düzeninde bağımlılık simetric değildir; ağın merkezinde yer alan aktörler yapısal avantaj elde etmekte ve bu avantajı gerektiğinde stratejik araç olarak kullanabilmektedir. Bu durum, iş birliği mekanizmalarının dahi güç siyasetinden bağımsız olmadığını göstermektedir.

İkinci olarak realizm, egemenlik kavramının dijital alandaki dönüşümünü daha tutarlı biçimde açıklar. Dijital egemenlik ve veri egemenliği kavramlarının strateji belgelerine ve hukuki düzenlemelere girmesi, devletlerin dijital alanı klasik egemenlik anlayışının devamı olarak gördüğünü ortaya koymaktadır. Veri yerelleştirme politikaları, kritik altyapı sınıflandırmaları, teknoloji ihracat kısıtlamaları ve ulusal bulut projeleri, dijital

alanın açık biçimde güvenikleştirildiğini göstermektedir. Liberal yaklaşım bu süreci kurumsallaşma ve norm üretimi olarak açıklasa da, bu düzenlemelerin arkasındaki temel motivasyon çoğu zaman stratejik özerklik ve güç kaybını önleme arzusudur.

Marksizm dijital kapitalizmin merkez-çevre eşitsizliğini açıklamada güçlü bir analiz sunmakla birlikte, devletlerin bilinçli stratejik tercihlerini ikincil plana atma eğilimindedir. Oysa güncel tablo, teknoloji şirketlerinin küresel ölçekte faaliyet göstermesine rağmen kritik alanlarda devlet politikalarıyla uyumlu hareket ettiğini göstermektedir. Yarı iletken üretimi, yapay zekâ altyapısı ve veri güvenliği alanında alınan kararlar, yalnızca piyasa dinamikleriyle değil, doğrudan devlet stratejileriyle şekillenmektedir.

Sonuç olarak dijital altyapıların stratejik olması, uluslararası sistemi daha rekabetçi bir zemine taşımaktadır. İş birliği mekanizmaları varlığını sürdürse de sistemin temel mantığı egemenlik, güvenlik ve göreceli güç kaygıları etrafında şekillenmektedir. Bu nedenle küresel veri merkezleri ve bulut altyapıları üzerindeki hâkimiyet mücadelesini analiz ederken realizm, diğer teorilere kıyasla hem güncel gelişmelerle daha uyumlu hem de daha bütüncül bir açıklama çerçevesi sunmaktadır.

Güncel gelişmeler arasında Hürmüz Boğazı'ndaki krizi de rapor değerlendirmesine dahil edildiğinde Hürmüz Boğazı'nda patlak veren kriz, klasik anlamda enerji arz güvenliğini tehdit etmenin ötesine geçerek, yüksek yoğunluklu elektrik tüketimine dayalı küresel veri merkezi ekosistemini doğrudan jeopolitik rekabetin bir uzantısı haline getirmiştir.

Günümüz veri merkezleri yalnızca dijital depolama alanları değil aynı zamanda yapay zekâ model eğitimi, bulut bilişim hizmetleri ve finansal işlem altyapıları gibi kritik fonksiyonları yerine getiren, kesintisiz ve düşük maliyetli enerjiye bağımlı stratejik varlıklar olduğundan bu bağlamda Hürmüz Boğazı'ndan geçen petrol ve LNG akışında yaşanan kesintiler, özellikle enerji ithalatına bağımlı ekonomilerde elektrik fiyatlarını yukarı çekerek veri merkezlerinin operasyonel maliyet yapısını doğrudan sarsmıştır.

Krizin ilk aşamasında, enerji ihracat rotaları sekteye uğrayan Suudi Arabistan, Birleşik Arap Emirlikleri ve Kuveyt gibi Körfez ülkeleri çift yönlü bir baskı ile karşı karşıya kalmıştır. Bir yandan hidrokarbon gelirlerinde yaşanan dalgalanma kamu bütçelerini zorlamış, diğer yandan bu ülkelerin son yıllarda agresif biçimde yatırım yaptığı veri merkezi ve dijital dönüşüm projeleri için gerekli olan istikrarlı enerji arzı kırılğan hale gelmiştir.

Özellikle BAE'nin bölgesel bir veri merkezi hub'ı olma stratejisi, artan enerji maliyetleri ve altyapıya yönelik hibrit tehditler nedeniyle sekteye uğramıştır. Aynı süreçte Çin, Hindistan ve Güney Kore gibi sanayi ekonomileri, enerji ithalat maliyetlerindeki

artışın yanı sıra veri akışlarının güvenliğine yönelik risklerle karşı karşıya kalmış; bu durum üretim zincirlerinden finansal piyasalara kadar geniş bir yelpazede maliyet enflasyonuna neden olmuştur (Al-Fayed, 2026).

Realist perspektiften bakıldığında bu gelişmeler, devletlerin anarşik uluslararası sistemde hayatta kalma ve görece kazanç maksimizasyonu arayışlarının dijital altyapılar üzerinden yeniden üretildiğini göstermektedir. Enerji arzındaki kırılganlık, veri merkezlerini kritik altyapı statüsünden çıkararak doğrudan ulusal güç projeksiyonunun bir bileşeni haline getirmiştir.

Bu çerçevede ABD, kriz sürecini stratejik bir fırsata dönüştürerek çok katmanlı bir güç konsolidasyonu gerçekleştirmiştir. Bir yandan bölgedeki müttefiklerine gelişmiş hava savunma sistemleri ve deniz güvenliği kapasitesi sağlayarak güvenlik bağımlılığı yaratmış, diğer yandan Microsoft ve Amazon Web Services gibi küresel teknoloji devleri aracılığıyla güvenli veri limanları inşa ederek dijital altyapı üzerindeki kontrolünü pekiştirmiştir. Bu veri merkezleri, sadece ticari hizmet sunan tesisler değil; aynı zamanda veri akışlarının yönlendirildiği, denetlendiği ve gerektiğinde sınırlandırıldığı stratejik düğüm noktaları olarak işlev görmüştür.

Krizin derinleşmesiyle birlikte devletler, Hürmüz Boğazı gibi dar boğazlara olan yapısal bağımlılığı azaltmak amacıyla alternatif enerji ve veri iletim hatlarına yönelmiştir. Bu kapsamda İsrail ve Ürdün üzerinden Akdeniz'e uzanan karasal enerji ve veri koridorları ile deniz altından geçen yeni nesil fiber optik kablo projeleri ön plana çıkmıştır. Ancak bu iş birlikleri, yüzeysel teknik ve ekonomik rasyonaliteye dayanıyor gibi görünse de, altyapı mülkiyeti ve veri egemenliği konularında derin jeopolitik rekabeti beraberinde getirmiştir. Özellikle veri akışının geçtiği güzergâhlar üzerinde kontrol sahibi olmak, devletlere yalnızca ekonomik değil aynı zamanda istihbarî ve askerî avantajlar da sağlamaktadır (Peterson & Zhang, 2026).

Sonuç olarak Hürmüz krizi, veri merkezlerini liberal ekonomik düzenin nötr unsurları olmaktan çıkararak, Realist güç mücadelesinin merkezinde konumlanan stratejik varlıklara dönüştürmüştür. Bu yeni düzlemde veri merkezleri, tıpkı enerji hatları ve deniz ticaret yolları gibi korunması gereken dijital kaleler haline gelirken; veri egemenliği, enerji güvenliği ile iç içe geçen hibrit bir güvenlik paradigmasının temel unsuru olarak ortaya çıkmıştır. Bu dönüşüm, gelecekte devletler arası rekabetin sadece fiziksel coğrafyada değil, aynı zamanda veri akışlarının kontrol edildiği dijital coğrafyada da yoğunlaşacağını açıkça göstermektedir.

## 5. Sonuç

Bu çalışma, dijital çağın kritik altyapı bileşenlerinden biri haline gelen veri merkezlerini; teknik altyapı gereksinimleri, sürdürülebilirlik sorunları, yasal düzenlemeler ve uluslararası politik ekonomi boyutları üzerinden bütüncül bir perspektifle incelemiştir. Günümüzde veri merkezleri, yalnızca veri depolama ve işleme fonksiyonlarını yerine getiren teknik tesisler olmaktan çıkarak, dijital egemenliğin korunmasında, ekonomik rekabet gücünün artırılmasında ve küresel güç dağılımının yeniden şekillenmesinde stratejik altyapı unsurlarına dönüşmüştür.

Araştırmanın teknik kısmında ele alınan Tier sınıflandırmaları, dijital hizmetlerin kesilmemesi için gereken çalışmaların önemini ortaya koymuştur. Ancak teknik açıdan hatasız bir veri merkezi, beraberinde büyük bir enerji ihtiyacı yaşatmaktadır. Bu açıdan çalışmamızın enerji verimliliği bölümü, PUE metrikleri ve yenilikçi soğutma metotları üzerinden bu ikileme çözümler sunmaktadır. Dünyadaki yasal zorunluluklar incelendiğinde; AB'nin şeffaflık ve sürdürülebilirlik konularındaki kuralları ile ABD ve Çin'in stratejik altyapı yatırımları arasındaki yaklaşım farkı, verinin yeni bir stratejik kaynak olarak kabul edildiğini göstermektedir.

Türkiye özelinde yapılan çalışma, ülkenin bölgesel bir veri üssü olma potansiyelini ve 2030 hedefleri doğrultusunda millî veri altyapısını kurma azmini göstermektedir. Sektörel çözüm önerilerimiz, yüksek maliyetli bu yatırımların kamu kurumları ve özel kurumlar arasındaki iş birliği ve yeşil değişim gibi modern yöntemleriyle desteklenmesi gerektiğini vurgulamaktadır.

Çalışmaya eklenen yapay zekâ boyutu, veri merkezlerinin gelecekte sadece veri depolayan değil, otonom olarak karar verebilen ve enerji tüketen dinamik yapılar haline geleceğini göstermektedir. Yapay zekâ iş yükleri, veri merkezlerini klasik soğutma yöntemlerinin dışına çıkmaya ve enerji şebekeleriyle daha bütünleşmiş bir çalışmaya zorlayacaktır.

Çalışmanın kurgusal çatısını oluşturan üç temel uluslararası ilişkiler teorisi, veri merkezlerinin küresel sistemdeki yerini farklı ama birbirini bütünleyen açılardan açıklamaktadır:

Teorik çerçeve açısından bakıldığında, üç temel uluslararası ilişkiler yaklaşımı veri merkezlerinin küresel sistemdeki rolünü farklı ama tamamlayıcı biçimlerde açıklamaktadır. Realist perspektif, veri merkezlerini dijital güç projeksiyonunun yeni

araçları olarak değerlendirmekte ve hiper ölçekli veri altyapılarını ulusal güvenlik rekabetinin bir parçası olarak görmektedir. ABD ve Çin arasındaki teknolojik rekabet, bu yaklaşımın dijital çağdaki güvenlik ikilemi tezini desteklemektedir. Liberal perspektif ise veri merkezlerini küresel ekonomik entegrasyonu güçlendiren dijital köprüler olarak yorumlamakta; çok taraflı veri ağları ve uluslararası girişimler karşılıklı bağımlılığı artırarak çatışma maliyetlerini yükseltmektedir. Marksist yaklaşım ise veri merkezlerini, küresel kapitalizmin yeni üretim ve değer toplama merkezleri olarak değerlendirerek dijital veri akışlarının merkez-çevre eşitsizliklerini derinleştirme potansiyeline dikkat çekmektedir.

Sonuç olarak veri merkezleri, yalnızca teknolojik altyapı unsurları değil, aynı zamanda ekonomik, siyasi ve toplumsal dönüşümün merkezinde yer alan stratejik sistemlerdir. Gelecekte bu altyapıların sürdürülebilir enerji politikaları, uluslararası iş birliği mekanizmaları ve etik veri yönetim modelleri ile desteklenmesi gerekecektir. Dijital dünyanın temel ham maddelerinden biri haline gelen veri, ancak teknik yeterlilik ile küresel yönetim dengesi sağlandığında sürdürülebilir bir kalkınma aracına dönüşebilecektir. Bu çalışma, veri merkezlerini çok boyutlu analiz eden bütüncül bir yaklaşım sunarak literatüre katkı sağlamayı hedeflemiştir.

# Kaynakça

ActUIA. (2021, 15 Haziran). One year after the official announcement of Gaia-X, what is the status of the European cloud computing project?ActUIA

Anadolu Ajansı. (2025). Çin'de yapay zeka endüstrisinin değerinin 170 milyar doları aşacağı tahmin ediliyor. Anadolu Ajansı

Anadolu Ajansı. (2024). Bakan Kacı: 2030'a dek 10 milyar dolarlık veri merkezi ve yapay zekâ yatırımını harekete geçireceğiz.Anadolu Ajansı.

Anadolu Ajansı. (2024). Türkiye veri merkezi yatırımları ve yapay zekâ hedefleri. <https://www.aa.com.tr>

ASHRAE. (2025). Thermal guidelines for data processing environments (Reference card). ASHRAE.

ASHRAE. (2025). Datacom series.ashrae

Avcı, M., & Söker, N. (2017). Uluslararası ilişkiler teorileri: Kavramsal ve kuramsal yaklaşımlar. İstanbul: İletişim Yayınları.

Bank of America. (2025). Global artificial intelligence outlook 2025. Bank of America Global Research. <https://www.bankofamerica.com>

Bank of America. (2025). Global artificial intelligence investment outlook. <https://www.bankofamerica.com>

Busan Metropolitan City. (2023). Busan Eco Delta City green data center cluster initiative.

<https://www.busan.go.kr>

Cargoson. (2024). India data center market overview. Cargoson. <https://www.cargoson.com>

Cargoson. (2025). Global data center distribution and investments. Cargoson. <https://www.cargoson.com>

CBRE. (2024). Data centers: A global investment opportunity. CBRE Research.

CBRE. (2024). Europe data centre market outlook 2024. CBRE Research. <https://www.cbre.com>

CBRE. (2024). Global data center trends report. <https://www.cbre.com>

Cisco Systems, Inc. (n.d.). What is a data center? Cisco. <https://www.cisco.com/site/us/en/learn/topics/computing/what-is-a-data-center.html>

CNBC-e. (2024). Türkiye'den yapay zekâ planı: 10 milyar dolarlık yatırımla veri merkezi bölgeleri kurulacak. <https://www.cnbce.com>

Cumhurbaşkanlığı Yatırım Ofisi. (2024). 2024–2028 stratejik plan ve eylem planları. <https://www.invest.gov.tr>

Couldry, N., & Mejias, U. A. (2019). The costs of connection: How data is colonizing human life and appropriating it for capitalism. Stanford University Press.

Cummins. (2025). Powering the future of AI data centers. Cummins Inc.

Dahiya, B. (2023, January 25). Digital colonialism: Neo-colonialism of the Global South. Global South Studies Series.

Data Center Map. (2025). Turkey data centers – 76 facilities from 16 markets. <https://www.datacentermap.com/turkey/>

DC Network Türkiye. (2024). Veri merkezleri sıvı soğutma. <https://dcnetworkturkiye.com/blogs/blog/sivi-sogutma-veri-merkezi-sogutmada-oyunun-kurallarini-degistirecek-mi-yoksa-asiri-abartilmis-bir-cozum-mu>

Deloitte. (2025). AI, data centers and the energy challenge. Deloitte Insights.

Deloitte. (2025). AI infrastructure and energy demand: Global outlook. Deloitte Insights. <https://www.deloitte.com/global>

Dgtl Infra. (2025). Types of data centers. Dgtl Infra. <https://dgtlinfra.com/types-of-data-centers/>

Digital Edge DC. (2024, October 16). Digital Edge announces availability of 36MW data center in South Korea. PR Newswire. <https://www.prnewswire.com/apac/news-releases/digital-edge-announces-availability-of-36mw-data-center-in-south-korea-302277202.html>

Economic Development Board Singapore (EDB). (2023). Singapore to expand data centre capacity with a focus on sustainability. Government of Singapore.

ENISA. (n.d.). Guideline on security measures under the EEC. European Union Agency

for Cybersecurity.

Euronews. (2024, September 11). Avrupa'da veri merkezlerine yapılan yatırımlar son bir yılda yüzde 168 arttı.

European Commission. (2024, 14 Mart). Commission Delegated Regulation (EU) 2024/1364 of 14 March 2024 on the first phase of the establishment of a common Union rating system for data centres. Official Journal of the European Union.

European Commission. (2024). Energy efficiency directive: Targets, rules and implementation. Directorate-General for Energy. EU

European Commission. (2025). Report on the progress towards the 2030 energy efficiency targets (COM(2025) 274 final). EU

European Union. (2023). Directive (EU) 2023/1791 of the European Parliament and of the Council of 13 September 2023 on energy efficiency. Official Journal of the European Union.

Farrell, H., & Newman, A. L. (2019). Weaponized interdependence: How global economic networks shape state coercion. *International Security*, 44(1), 42–79.

Farrell, H., & Newman, A. L. (2025). *Underground empire: How America weaponized the world economy*. New York: Henry Holt and Company.

Federal Ministry for Economic Affairs and Climate Action. (2023). Energy Efficiency Act (EnEfG). BMWK

Gaia-X. (t.y.). About. <https://gaia-x.eu/about/>

Google. (2025). Google expands AI and data center infrastructure in Germany [Press release].

<https://blog.google/inside-google/company-announcements/>

Günel, S., Kaleli, C., Bilge, A., & Hoşcan, Y. (2017). Veri Merkezleri Üzerine Bir İnceleme.

<https://globalsouthseries.in/2023/01/25/digital-colonialism-neo-colonialism-of-the-global-south/>

Harvey, D. (2006). *The limits to capital*. Verso.

IEA. (2024). *Electricity 2024: Analysis and forecast to 2030*. International Energy Agency. <https://www.iea.org/reports/electricity-2024>

Infocomm Media Development Authority. (2025). Green data centre roadmap.

IMDA

Infocomm Media Development Authority. (2025). Singapore IT energy efficiency standard for data centres launched. Infocomm Media Development Authority.

Institute for National Security Studies (INSS). (2025). Digital sovereignty and great power competition. <https://www.inss.org.il>

Institute for National Security Studies. (2023). Cloud China: The strategic implications of Chinese cloud infrastructure. <https://www.inss.org.il/publication/cloud-china/>

International Energy Agency (IEA). (2021). Waste Heat Recovery: Technology and Opportunities in Industrial Energy Systems. Paris: IEA Publishing.

International Energy Agency (IEA). (2021). Waste Heat Recovery: Technology and Opportunities in Industrial Energy Systems. Paris: IEA Publishing.

International Energy Agency (IEA). (2024). Global annual investment in data centres. IEA.

Investing.com. (2024). China accelerates data center investments. <https://www.investing.com>

JLL. (2024). Global data center outlook. Jones Lang LaSalle

Keohane, R. O., & Nye, J. S., Jr. (2015). Güç ve karşılıklı bağımlılığı yeniden ele almak. *Uluslararası İlişkiler*, 12(46), 79–104.

Kişisel Verileri Koruma Kurumu. (n.d.). Kişisel veri güvenliği rehberi: Teknik ve idari tedbirler. Kişisel Verileri Koruma Kurumu.

Lehdonvirta, V., Wu, B., & Hawkins, Z. (2025). Weaponised interdependence in a bipolar world: how economic forces and security interests shape the global reach of US and Chinese cloud data centres. *Review of International Political Economy*, 1–26.

Linklaters. (2024). AI, data centers and the future of infrastructure investment. <https://www.linklaters.com>

Linklaters. (2024). US\$22bn invested in data centres so far in 2024. Linklaters LLP.

Market Research Future. (2024). U.S. data center market forecast 2024–2030. <https://www.marketresearchfuture.com>

- McKinsey & Company. (2024). The data center boom: Energy, efficiency, and AI. <https://www.mckinsey.com>
- Midas. (2025). Microsoft's €10 billion Portugal data center investment. <https://www.getmidas.com>
- Ministry of Industry and Information Technology (MIIT). (2021). Three-year action plan for the development of new data centers (2021-2023). People's Republic of China.
- Mordor Intelligence. (2025). Netherlands data center market size and forecast. <https://www.mordorintelligence.com>
- Mordor Intelligence. (2026). UK data center market analysis. <https://www.mordorintelligence.com>
- Mosco, V. (2014). To the cloud: Big data in a turbulent world. Paradigm Publishers.
- National Development and Reform Commission (NDRC). (2022). Implementation plan for the "East-Data-West-Computing" project. People's Republic of China.
- Network World. (2024). Data center investments break all records.
- Park Place Technologies. (2024). Data center cooling systems: Benefits, differences and comparisons. <https://www.parkplacetechnologies.com/blog/data-center-cooling-systems-benefits-comparisons>
- Raico, R., & Yayla, A. (2011). Klasik liberalizm nedir? Liberal Düşünce Dergisi, (64), 69–73.
- Robinson, W. I. (2004). A theory of global capitalism: Production, class, and state in a transnational world. Baltimore, MD: Johns Hopkins University Press.
- SDE. (2024). Malezya'nın veri merkezleri yatırımları dikkat çekiyor. Stratejik Düşünce Enstitüsü.
- Srnicek, Nick. Platform Capitalism. Polity Press, 2017.
- Statista. (2025). Data centers worldwide by country (as of March 2025). Statista. <https://www.statista.com/statistics/1228433/data-centers-worldwide-by-country/>
- STM ThinkTech. (2024). Veri merkezlerinin geleceğini şekillendiren dinamikler. STM Düşünce Merkezi.
- Şen, E. (2019). Veri merkezlerinde enerji verimliliğini artırıcı yöntemler [Yüksek lisans tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi]. İTÜ Enerji Enstitüsü

T.C. Ticaret Bakanlığı. (2024). Çin'in dijital altyapı ve veri merkezi stratejileri. <https://www.trade.gov.tr>

T.C. Resmi Gazete. (2007, 2 Mayıs). 5627 Sayılı Enerji Verimliliği Kanunu. (Sayı: 26510).

T.C. Resmi Gazete. (2016, 7 Nisan). 6698 Sayılı Kişisel Verilerin Korunması Kanunu. (Sayı: 29677).

TechTarget. (n.d.). Power usage effectiveness (PUE). <https://www.techtarget.com/searchdatacenter/definition/power-usage-effectiveness-PUE>

Transnational Institute (TNI). (2020). Digital capitalism and digital colonialism. <https://www.tni.org>

U.S. Department of Energy (DOE). (2021). Federal Data Center Optimization Initiative (DCOI) strategic plan. Office of Energy Efficiency & Renewable Energy.

U.S. Environmental Protection Agency (EPA). (2023). ENERGY STAR® program requirements for data center storage. <https://www.energystar.gov/>

Uptime Institute. (t.y.). Tier classification system. <https://uptimeinstitute.com/tiers>

Uptime Institute. (t.y.). Tier standard: Topology. <https://uptimeinstitute.com/resources/asset/tier-standard-topology>

Visual Capitalist. (2025). Global data center growth by country. <https://www.visualcapitalist.com>

Xinhua. (2024). China's "East data, West computing" project boosts investment. Xinhua News Agency. <https://english.news.cn>

W.Media. (2023, July 24). Green data center cluster created in Korea's Busan. <https://w.media/green-data-center-cluster-created-in-koreas-busan/>



**Enerjide Dijitalleşme Derneği**

İnönü Mah. 1748. Sok. No.1  
Yenimahalle / Ankara  
[www.edider.org](http://www.edider.org)

Görüş ve önerileriniz için [info@edider.org](mailto:info@edider.org)  
adresi üzerinden iletişime geçebilirsiniz