

## Yeşil Veri Merkezlerinde Enerji Verimliliği

Derya Çavdar, Fatih Alagöz

Boğaziçi Üniversitesi, Bilgisayar Mühendisliği Bölümü, İstanbul  
deryacavdar@boun.edu.tr, alagoz@boun.edu.tr

**Özet:** Yüksek enerji tüketimi nedeniyle veri merkezlerinin artan ekonomik ve çevresel maliyeti büyük bir sorun haline geliyor. "Yeşil Veri Merkezleri", veri merkezleri için, enerji farkındalığı olan, enerji verimliliğini amaçlayan ve CO<sub>2</sub> salımını en aza indiren tasarımlar, protokoller, cihazlar, altyapılar ve algoritmalar anlamına gelmektedir. Bugünün veri merkezleri en yoğun yük için tasarlanmıştır. Bununla birlikte araştırmalar, sunucuların çoğu zaman boş olduğu göstermiştir. Boşta olan sunucular ve bunlara bağlı olan ağ elemanları önemli miktarda enerji tüketmektedir. Bu çalışmada, yeşil veri merkezi araştırmaları için önemli sağlayıcıları tanımladık. Öncelikle veri merkezleri için geçerli olan yeşil metrikleri inceledik. Çalışmamızda yeşil bilişim ve yeşil ağlar üzerinde yoğunlaştık.

**Anahtar Sözcükler:** Enerji verimliliği, veri merkezleri.

### Energy Efficiency for Green Data Centers

**Abstract:** The growing economical and environmental cost of data centers due to the high-energy consumption is becoming a major issue. "Green Data Centers" refers to, energy aware, energy efficient and CO<sub>2</sub> emission minimizing designs, protocols, devices, infrastructures and algorithms for data centers. Today's data centers are provisioned for peak load. However, it is shown that servers are idle most of the time. *Idle* servers and the connected network elements are consuming considerable amount of energy. In this survey, we identify the key enablers of green data center research. Firstly we overview the green metrics that are applicable to data centers. Then we describe the most recent stage of research. We focus on computing and networking proposals for green data centers.

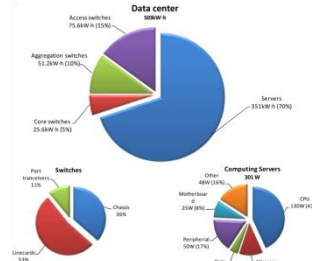
**Keywords:** Energy efficiency, data centers

### 1. Giriş

Yeşil teknolojiler, enerjinin siyasi, ekonomik ve çevresel yönleri nedeniyle hükümetler ve sanayi için önemli bir konu haline gelmiştir. Enerji ve çevre açısından bakıldığında, Bilgi ve İletişim Teknolojileri (BİT) toplam küresel CO<sub>2</sub> salımının %2'sini ve küresel enerji tüketimi %3'ünü oluşturmaktadır [1]. Veri merkezleri ise BİT enerji tüketiminde birincil enerji tüketicileridir [2].

Video kullanımındaki artış ve bulut bilişim servisleri, tüm dünyada birçok yeni veri merkezleri açılmasına neden oldu. Veri merkezleri yüksek kullanılabilirlik sağlamalı ve aynı zamanda hataya dayanıklı olmalıdır. Bu gereksinimler veri merkezlerinin yüksek enerji tüketmesine neden olmaktadır. ABD Çevre Koruma Ajansı'nın ENERGY STAR Programı raporuna göre, ABD'de veri merkezleri yılda 100 Milyar kWh elektrik veya 7.4 milyar dolarlık enerji tüketmektedir [2]. Bir veri merkezinin ana enerji tüketim birimleri; soğutma, bilişim kaynakları ve ağ elemanlarıdır. Soğutma için tüketilen enerji bir veri merkezinde tüketilen toplam enerjinin yaklaşık %30'unu oluşturmaktadır. Şekil 1'de, 3-katmanlı veri merkezi için simülasyon ortamı ile elde edilmiş içinde yaklaşık enerji tüketimi (soğutma hariç) dağılımını gösterilmektedir [3]. Bu şekil sunucuların enerji tüketiminde en önemli bir kaynak olduğunu göstermektedir. Ayrıca, bir veri merkezinde bilişim için kullanılan toplam enerjinin

yaklaşık %30'u ağlar, iletişim bağlantıları ve toplama elemanları tarafından tüketilir.



**Şekil 1:** Veri merkezinde enerji tüketiminin dağılımı [3]

Bu çalışmada enerji perspektifinden veri merkezleri için önerilen yöntemleri inceledik. Veri merkezleri için yeşil öneriler; ağ, bilişim, soğutma, bulut ve sanallaştırma, olarak sınıflandırılabilir. Sunucular, birincil enerji tüketiciler olduğundan, yazında sunucuların enerji verimliliği için önemli sayıda öneri bulunmaktadır. Sanallaştırma ve dinamik iş yükü birleştirme ile, sunucular, daha verimli kullanılabilir. Ancak, yeşil veri merkezi ağları için yazında çok az sayıda öneri bulunmaktadır. Bunun nedeni katmanlı veri merkezlerinde, ağ elemanlarının sunuculara oranladaha az enerji tüketiyor olmasıdır.

Bildirinin geri kalanı şu şekilde organize edilmiştir; Bölüm 2'de veri merkezlerinin enerji verimliliğini artırmak için yeşil teknikler araştırma çabalarını tartışılmıştır. Bu bölümde öncelikle veri merkezleri

için yeşil metrikleri sunulmuş, ilerleyen bölümlerinde özellikle ağ, bilişimkonularında yeşil veri merkezleri için araştırma önerilerini açıklanmıştır. Son olarak biz Bölüm 3'te sonuç kısmı anlatılmıştır.

## 2. Yeşil Çözümler

### A. Yeşil Metrikler

Mobil teknolojilerin işlerliği pil ömrü ile sınırlı olduğundan, bu teknolojilerin enerji verimliliği ile ilgili kapsamlı araştırmalar bulunmaktadır. Ancak, mobil teknolojiler için önerilen metrikler ve çözümler, veri merkezleri için uygun değildir. Yeşil veri merkezleri ile ilgili araştırmalar için ilk adım veri merkezleri için enerji verimliliği ve yeşil metrikleri tanımlamaktır. Tablo 1'de veri merkezleri için önerilen yeşil metriklerden bazıları gösterilmektedir. Güç kullanımı verimliliği (PUE) en sık kullanılan metrik olup, bilgisayar ekipmanları (sunucular, ağ donanımları vb.) tarafından tüketilen enerjinin tesisin toplam enerji kullanımına oranına dayanmaktadır. İdeal durum PUE değerinin 1.0 olmasıdır. Yani veri merkezinde kullanılan tüm enerjinin hesaplama için

kullanılmasıdır. Son yıllarda Google gibi bazı şirketler 1.13 gibi düşük PUE düzeyleri elde etmişlerdir [4]. Ancak, günümüzde çoğu veri merkezi, yeşil veri merkezi standartlarını karşılamaktan oldukça uzaktır.

### B. Yeşil Bilişim

Bugünün veri merkezleri talebin en yoğun olduğu durumları karşılamak için tasarlanmıştır. Bilgisayar sunucularının enerji tüketimi, veri merkezinin enerji tüketiminin büyük bir kısmını oluşturmaktadır. Ancak, sunucuların zamanın ortalama %30'unda yoğun olduğu bilinmektedir [5]. Şekil 2'de gösterilmiştir. Bir bilgisayar sunucusunun güç tüketimi CPU kullanımı ile orantılıdır. Bir boş sunucu, bellek, disk ve I/O kaynaklarını açık tutmak için, zirve enerji tüketiminin yaklaşık üçte ikisini tüketir. Kalan üçte bir ise CPU kullanımı ile doğru orantılı olarak artar [6]. Ancak sunucular, anlık yoğun yüke cevap verebilmek için boşta ya da çalışır durumdadırlar. Sunucuları boşta ya da açık bırakmak aşırı enerji israfına neden olmaktadır.

Tablo 1: Veri merkezleri için yeşil metrikler

Metric	Description	Formulation
PUE	Power Usage Effectiveness	$PUE = \frac{\text{Total facility energy}}{\text{IT equipment energy}}$
CUE	Carbon Usage Effectiveness	$CUE = \frac{\text{Total CO}_2 \text{ emission from total data center energy}}{\text{IT equipment energy}}$
WUE	Water Usage Effectiveness	$WUE = \frac{\text{Annual site water usage}}{\text{IT equipment energy}}$
ERF	Energy Reuse Factor	$ERF = \frac{\text{Reuse energy}}{\text{IT equipment energy}}$
ERE	Energy Reuse Effectiveness	$ERE = \frac{\text{Total energy} - \text{Reused energy}}{\text{IT equipment energy}} = (1 - ERF) \times PUE$
DCiE	Data Center Infrastructure Efficiency	$DCiE = \frac{1}{PUE} = \frac{\text{IT equipment power}}{\text{Total facility power}} \times 100\%$
DCP	Data Center Productivity	$DCP = \frac{\text{Useful work}}{\text{Total facility power}}$
ERP	Energy-Response time Product (Energy delay product)	$ERP^\pi = E[P^\pi] \times E[T^\pi] \left( \frac{E[P^\pi]}{E[T^\pi]} = \text{average power consumed under policy } \pi \right)$

Yazında bilgisayar sunucularında enerji tüketimini azaltmak için iki temel yaklaşım vardır: dinamik gerilim frekans ölçekleme (DVFS) [7] ve dinamik güç yönetimi (DPM) [8]. DVFS yöntemi, yüke göre CPU'nun enerji tüketimini ayarlar. Bu yöntem, V işletme gerilim seviyesi, f işletim frekansı iken çipin enerji tüketiminin  $V^2 \cdot f$  ile orantılı azalmasına dayanır. DVFS yöntemi ile sadece, işlemcilerin enerji kullanımını en-iyilemek amaçlanmıştır. Sunuculardaki CPU dışındaki tüm bileşenler, değişmeden, her zamanki gibi enerji harcamaya devam eder. Buna karşılık, DPM düzeni ile, bilgisayar sunucularının tüm bileşenlerini kapatarak daha fazla enerji tasarrufu yapar. Örneğin, boşta sunucuları kapatarak enerji tasarrufu yapabilirsiniz. Ancak kapalı bir sunucuyu tekrar açıp çalışır hale getirmek önemli bir kurulum maliyeti doğurur. Bir sunucuyu tekrar açmak hem zaman alan, hem de ekstra enerji harcayan bir işlemdir. Başka bir seçenek de boşta olan sunucuları

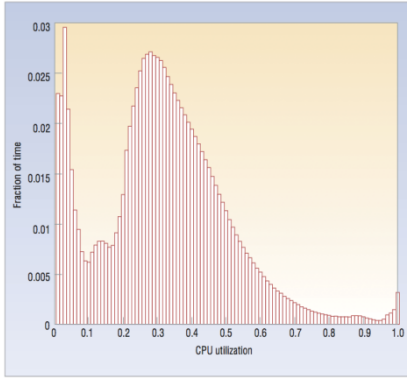
uyku moduna sokmaktır. Uyku modundan bir sunucuyu çalışır hale getirmenin kurulum maliyeti, kapalı bir sunucuyu çalışır hale getirmenin kurulum maliyetinden daha düşüktür.

### C. Yeşil Veri Merkezi Ağları

Veri merkezlerinde enerji tüketiminin ikinci büyük kaynağı ağ altyapısıdır. Veri

merkezindeki ağların harcadığı enerji, veri merkezlerinde hesaplama için kullanılan toplam enerji tüketimi yaklaşık % 30'unu oluşturmaktadır. Ağ altyapısı, bağlardan ve açkılardan oluşmaktadır. Deneysel çalışmalar bir bağın enerji tüketiminin onun kullanımı ile doğrudan orantılı olmadığını göstermektedir [8]. Bağın enerji tüketimi kullanım oranından çok kapasitesine bağlıdır. Bir açkının enerji tüketimi ise bulundurduğu kapı ve hat kartları sayısına

bağlıdır. Daha enerji verimli tasarruflu veri merkezlerine ulaşmak için hem bağların hem açıkların enerji tüketimini ele almak gerekir.



**Şekil 2:** 5.000 Google sunucusunun 6 aylık aktivite profili[5]

Literatürde uyarlanın bağoranı ve uyku modları ile ilgili çalışmalar bulunmaktadır. Uyarlanın bağoranı kablolu ağlar [9], [10] için oldukça çalışılmış bir konu olup özel olarak veri merkezleri için tasarlanmamıştır. Uyarlanın bağ oranı yöntemleri trafik gereksinimlerine göre, dinamik olarak bağlantıların veri hızını ayarlar. Öte yandan, uyku modu stratejileri, boşta olan bileşenlerin altkütmesini, kapatılarak ya da uyku moduna alarak enerji tasarrufu sağlamaktadır. Ancak kalan aktif bileşenlerin, değişen trafik ihtiyaçlarını karşılayabiliyor olması gerekir. Enerji tasarrufu sağlanırken, kalite gereksinimleri karşılanmalı ve hata toleransından ödün verilmemesi gerekmektedir.

### 3. Teşekkür

Bu çalışma kısmi olarak Devlet Planlama Teşkilatı (DPT07K120610) ve Türk Telekom tarafından desteklenmiştir.

### 3. Sonuç

Günümüzde hesaplama ve depolama işlemlerinin bulut bilişime kaymaya başlamasıyla, internet trafiğinin büyük bir kısmını veri merkezleri üzerinde yoğunlaştırmıştır. Yazılım ve donanım uzmanları, yeni veri merkezleri tasarlarırken, veri merkezlerinin enerji tüketimini dikkate almalıdır. Hem bilgi işlem kaynakları ve ağ elemanları, enerji orantılılık ilkesine göre tasarlanmalıdır. Enerji oransal tasarımlar, aktivite düzeyi ile orantılı olarak enerji tüketir dolayısıyla, boşta enerji harcamazlar. Pratikte, veri merkezi tasarımları için, ideal bir enerji orantılılık elde etmek zordur. Bu nedenle, bir yaklaşım olarak, uyku modlarında farklı enerji harcamaları olan, çoklu uyku modları bulunan, bilgisayar ve ağ aygıtları tasarlamak, iyi bir strateji olabilir.

Bu çalışmada, yeşil veri merkezleri ile ilgili yazında bulunan yaklaşımları özetledik. Son zamanlarda birçok araştırmacı yeşil veri merkezleri için protokoller geliştirmeye başladı. Biz bu alandaki araştırmaların, veri merkezlerinin hızla artan enerji tüketimi ile ilgili ekonomik ve çevresel kaygılar hafifletmek için büyük önem taşıdığını düşünüyoruz. Bu çalışmanın gelişmiş ve genişletilmiş versiyonu [11] numaralı bildirimizde yayınlanmıştır.

### 4. Kaynaklar

[1] “Smart2020: Enabling the low carbon economy in the information age,” The Climate Group SMART 2020 Report, Tech. Rep., June 2008.

[2] U. E. P. Agency, “Data center report to congress,” U.S. Environmental Protection Agency, Tech. Rep., 2007.

[3] D. Kliazovich, P. Bouvry, and S. U. Khan, “GreenCloud: a packet-level simulator of energy-aware cloud computing data centers,” The Journal of Supercomputing, Nov. 2010.

[4] “Google Inc., Data center efficiency.” [Online]: [http://www.google.com/corporate/green/data\\_centers](http://www.google.com/corporate/green/data_centers)

[5] L. A. Barroso and U. Hölzle, “The case for energy-proportional computing,” Computer, vol. 40, pp. 33–37, December 2007.

[6] G. Chen, W. He, J. Liu, S. Nath, L. Rigas, L. Xiao, and F. Zhao, “Energy-aware server provisioning and load dispatching for connection-intensive internet services,” in Proceedings of the 5th USENIX Symposium on Networked Systems Design and Implementation, ser. NSDI’08, Berkeley, CA, USA, 2008, pp. 337–350.

[7] J. Pouwelse, K. Langendoen, and H. Sips, “Energy priority scheduling for variable voltage processors,” in Proceedings of the 2001 international symposium on Low power electronics and design, ser. ISLPED ’01, NY, USA, 2001, pp. 28–33.

[8] J. Chabarek, J. Sommers, P. Barford, C. Estan, D. Tsang, and S. Wright, “Power Awareness in Network Design and Routing,” in The 27th Conference on Computer Communications IEEE INFOCOM 2008, 2008, pp. 457–465.

[9] C. Gunaratne, K. Christensen, and S. Suen, “NGL02-2: Ethernet Adaptive Link Rate (ALR): Analysis of a Buffer Threshold Policy,” in Global Telecommunications Conference, IEEE GLOBECOM, 2006, pp. 1–6.

[10] C. Gunaratne, K. Christensen, B. Nordman, and S. Suen, "Reducing the Energy Consumption of Ethernet with Adaptive Link Rate (ALR)," IEEE Transactions on Computers, vol. 57, no. 4, pp. 448 – 461, april2008.

[11] Derya Cavdar, FatihAlagoz "A Survey of Research on Greening Data Centers," IEEE Global Communications Conference (GLOBECOM), Anaheim, USA, 2012.