



## VERİ: GÜZEL VE ÇİRKİN

Haludun AKPINAR 

Marmara Üniversitesi, İstanbul, Türkiye

### ÖZET

Çağımızın sihirli sözcüğü veri, bir yandan geleceği aydınlatırken diğer yandan insanlığı karanlık bir çağa mı sürüklemektedir? Bir zamanlar dünyanın dördüncü büyük gölü olan Aral Gölü'nün, artan pamuk talebi sonucunda yok edilmesi gibi, sosyal ağlar, büyük veri, *blockchain* ve yapay zekâ yazılımları başta olmak üzere çeşitli enformasyon ve iletişim teknolojileri (*ICT - Information and Communication Technologies*), artan veri edinimi ve saklama ihtiyacı ile dünyanın kaynaklarını tüketmeyi sürdürmektedir.

Bir yandan karbon ayak izinin 2050 yılına kadar nötralize edilmesi istenirken, diğer yandan giderek artan veri miktarı ve dolayısıyla bu verinin saklanma sorunları gelecekte hem kurumsal hem de küresel bazda insanlığı tehdit etmektedir.

Küresel CO<sub>2</sub> emisyonlarının yaklaşık %3'ünün ICT sektörü tarafından üretildiği bir dünyada, bugün sadece veri merkezlerinin CO<sub>2</sub> emisyonları, İspanya, İtalya, Fransa ve Portekiz'in toplamından daha fazla olup, havacılık sektörüyle rekabet eder duruma gelmiştir. Değerli metallerin tüketimi, enerji ve su kullanımı ile E-atıklar ICT donanımlarının yaşam döngüsünde önemli rol oynamaktadır.

Bu makalede özellikle büyük veri, *blockchain* ve yapay zekâ yazılımlarının sürdürülebilirlik üzerindeki olumsuz etkileri, Sürdürülebilir ICT kavramı çeşitli örnekler, istatistikler ve çözümlerle incelenmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Sürdürülebilir Enformasyon ve İletişim Teknolojileri, Veri Merkezleri, Büyük Veri Yönetim, Bilişim, Sistemleri

## DATA: BEAUTY AND THE BEAST

### ABSTRACT

The magic word of our age, data, while illuminating the future, is it also dragging humanity into a dark era? Just like the destruction of the Aral Sea, once the world's fourth-largest lake, due to the increasing demand for cotton, various Information and Communication Technologies (ICT) including social networks, big data, blockchain, and artificial intelligence software, continue to deplete the world's resources with the growing need for data acquisition and storage.

While the goal is to neutralize the carbon footprint by 2050, the increasing amount of data and thus the storage issues threaten humanity on both corporate and global scales in the future.

In a world where approximately 3% of global CO<sub>2</sub> emissions are produced by the ICT sector, today the CO<sub>2</sub> emissions of data centers alone surpass those of Spain, Italy, France, and Portugal combined, competing with the aviation sector. The consumption of precious metals, energy and water usage, and E-waste play significant roles in the lifecycle of ICT hardware.

In this article, the negative impacts of big data, blockchain, and artificial intelligence software on sustainability, and the concept of Sustainable ICT are examined with various examples, statistics, and solutions.

**Keywords:** Sustainable ICT, Data Centers, Big Data

## 1. GİRİŞ

Yazının ve resim sanatının öncülü, enformasyonun ilk kaydı, kaya yüzeylerine boyama tekniği ile yapılan *pictograph* ve kayalara oyma tekniği ile yapılan *petroglyph*'dir. Eldeki güncel verilere göre bu sanatın en eski örneği en az 45.500 yıl öncesi günümüz Endonezya Cumhuriyeti'nde Sulawesi Adası'nda bir mağarada bulunan Visayan<sup>1</sup> püstüllü<sup>2</sup> yaban domuzu (*Visayan Warty Pig*) resmidir (Guardian, 2021).

İlk erken yazım sistemleri olan Sümer Çivi Yazısı'nın (*Sumerian Cuneiform*) (Kramer, 1988) ve sonrasında M.Ö. 3200 yıllarında Mısır Hiyeroglifleri'nin (*Egyptian Hieroglyphs*) kullanımı ile devam eden yazının evrimi, coğrafyanın farklı konularında kimi zaman Mandarin Çincesinde hánzi, Japonya'da kanji gibi simgesel grafiklerle (*logogram*), kimi zaman Japonya'da hiragana ve katakana gibi hece alfabeleri ve kimi zaman Fenike alfabesi gibi ses temelli olan alfabeler ile sürdü. Böylece ateş, davul sesleri, ışık gibi enformasyon iletimi, zamanla yerini papirüs ve deri parşömenler üzerine yazılan sembollere ve sonrasında son on yıllarda giderek dijital ortamlara bıraktı.

Yüzylerce yıl içerisinde Abaküs (M.Ö. 2400), Pascaline (Pascal, 1640), Rechenuhr (Schickard, 1640), Stepped Reckoner (Leibniz, 1671), Difference Engine (Babbage, 1822), Z1 (Zuse, 1938), ENIAC (Mauchly / Eckert, 1945) gibi araçların geliştirilmesi, verinin daha hızlı hesaplanmasına olanak sağladı (Akpınar, 2018).

Daha fazla verinin toplanmasını olanaklı hale getiren araçlar, bu verinin saklanması için daha etkin ve büyük ortamların ve bu verinin işlenebilmesi için daha güçlü makinelerin geliştirilmesine neden olmuştur. Nerede ise bu sonsuz etkileşim, her geçen gün birbirini tetiklemekte ve ivmelenerek veri hacminin ve işlem süratının artmasına neden olmaktadır. Çağımızın sihirli sözcüğü veri, bir yandan geleceği aydınlatırken, diğer yandan da önlem alınmaması durumunda insanlığı karanlık bir çağa doğru mu sürüklemektedir?

Verilerin yaşam döngüsünde planlama aşamasından sonraki yolculuğunun en önemli bölümleri, edinme, saklama ve arşivleme aşamalarıdır. Şekil 1'de görüldüğü gibi, edinim aşamasında veriler bir enformasyon sistemine manuel, otomatik veya sensörler aracılığıyla girilebilir. 1950'li yıllarda kâğıt bant (*paper band*), delikli kart (*punch card*) ile başlayan veri girişi ve saklanması süreci, giderek yerini manyetik ve optik ortamlara bırakmıştır. Manuel veri toplama teknikleri, otomatik ve sensörlerle yapılan girişlerle büyük hız kazanmıştır. Son yıllarda çubuk kod (*bar code*), kare kod (*QR code*), dijital ses ve görüntü kayıtları, sensör temelli nesnelerin interneti (*internet of things*) uygulamaları, sosyal ağlar, multimedya, finansal ve mobil uygulamalar, finansal işlemler, giyilebilir cihazlar veri edinim hacmini sürekli olarak artırmıştır. Saklama aşamasında düz dosyalardan (*flat files*) başlayan uygulamalar, veri tabanları (*database*), veri depoları (*data warehouse*), veri gölleri (*data lake*) gibi uygulamalarla zenginlik kazanmıştır. Yasal zorunluluklar ve gelecekte kullanılabileceği düşüncesi ile keyfi olarak saklanan veriler, genelde düzgün bir arşivleme kontrolü sağlanamadığı için sonsuz düzeyde denilebilecek bir zaman biriminde fiziksel saklama ortamlarını işgal etmektedir.

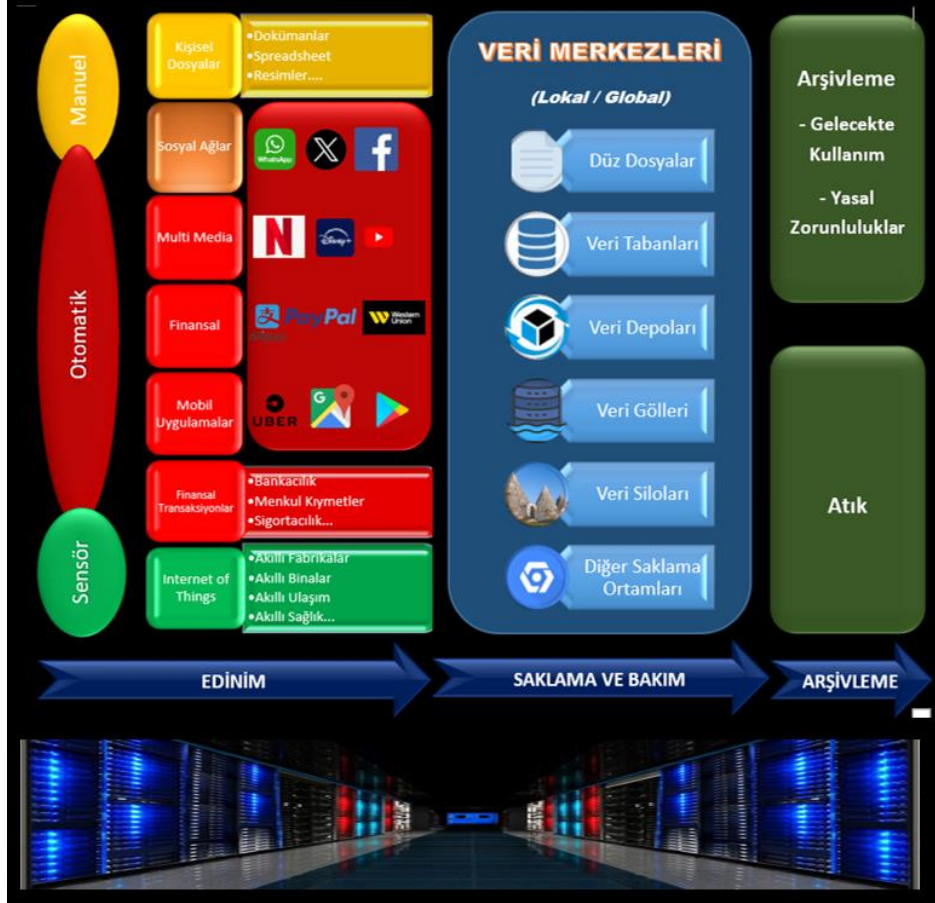
Güncel enformasyon çağının başladığı ilk dönemlerde sadece Byte ve KiloByte (KB) ile tanımlanan veri hacmi, 10 yıllar içerisinde katlanarak artmış ve yeni ölçü birimlerinin kullanımını kaçınılmaz kılmıştır. Bugün dijital kayıt ortamları dünyada toplam olarak ZettaByte hacminde veri depolamakta ve bu hacim süratle YottaByte seviyesine doğru artış göstermektedir. Şekil 2'de veri hacminin ölçülmesinde kullanılan örnekler piramit yapısında görülmektedir.

<sup>1</sup> Filipinler Cumhuriyeti'nde Adalar Topluluğu

<sup>2</sup> Cerahatli Cilt Lezyonu

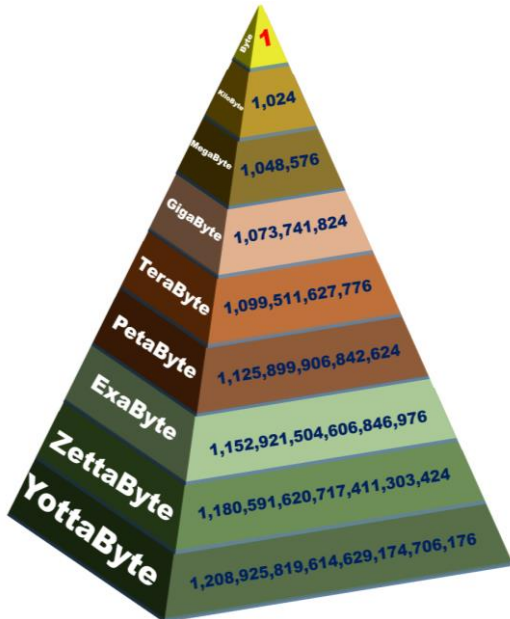
Bir kaya resmi ile başlayan verinin kaydı, günümüzde tahmin edilemeyecek boyutlarda artmaya devam etmekte ve bu veriyi saklayabilmek için her geçen gün daha büyük veri merkezlerine ihtiyaç duyulmaktadır. 2010 yılında tahminen dünyadaki toplam veri hacminin 2 ZettaByte, 2020 yılında 64 ZettaByte olduğu, 2030 yılında 1,3 YottaByte olacağı öngörülmektedir (Şekil 3).

Şekil 1. Veri Edinimi ve Saklanması

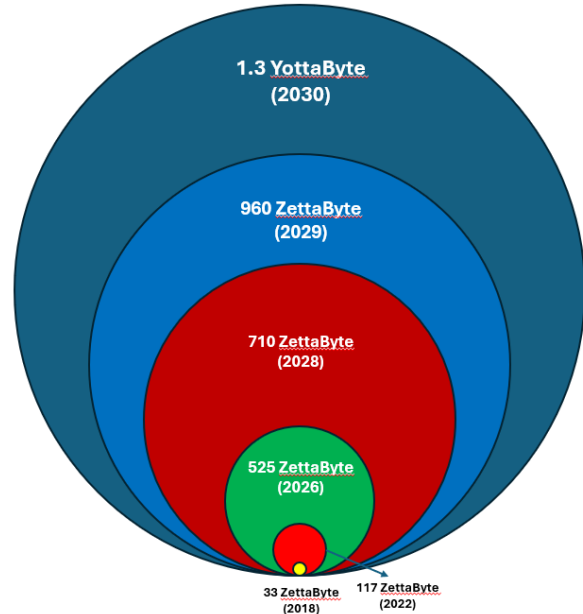


Kaynak: Akpınar (2023)

Şekil 2. Veri Hacminin Ölçülmesi



Şekil 3. Veri Hacmindeki Artış



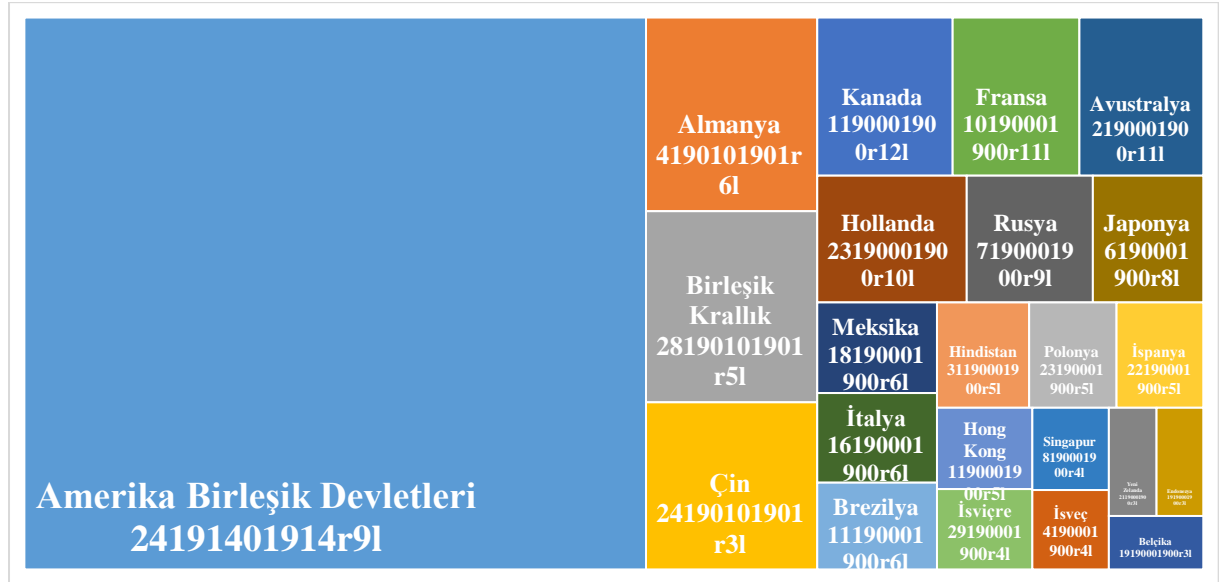
Bugün kaba bir tahminle dakikada paylaşılan mesaj sayısı 50 milyona yaklaşırken, fotoğraf sayısı 150 bini aşarken, günlük üretilen veri miktarı 2,5 PetaByte düzeyindedir (Andre, 2023). Bir günde muhtemelen %60-%70'i istenmeyen e-posta (*spam*) olan tahminen 330 milyar e-posta gönderilip alınmaktadır (Radicati, 2023). Dünyadaki veri hacminin hızla artmasında önemli bir rol oynayan nesnelere interneti, veri hacminin artışına 2019 ve 2025 yıllarında sırasıyla 13,6 ve 79,4 ZettaByte düzeyinde katkıda bulunmaktadır (Statista-2, 2023).

Özellikle finansal işlem verilerinin yasal zorunluluklar çerçevesinde uzun süre saklanması, iş sürekliliği için yedeklerinin alınması ve ileride kullanılmak üzere saklanması gerekliliği veri hacminin kat kat artmasına neden olmaktadır.

Kuruluşların başlangıçta kendi bünyelerinde tutmaya çalıştıkları bu devasa veri, yönetilemez hale gelince, her biri bir enerji canavarına dönüşen küresel veri merkezlerinin kurulmasını kaçınılmaz kılmaktadır.

Şekil 4'te görüldüğü gibi birçok ülkede, başta Amerika Birleşik Devletleri'nde olmak üzere çeşitli büyüklükte on binin üzerinde veri merkezi kurulmuştur (Statista, 2024). Sadece Amerika Birleşik Devletleri için 2022 yılında 2701 (Statista-3, 2023) olarak belirlenen bu sayı, geçen kısa süre içerisinde 2024 yılı mart ayı itibarı ile 5381 değerine erişmiştir.

**Şekil 4. Ülkelere Göre Dünyada Veri Merkezlerinin Dağılımı (Mart 2024)**



2023 yılı mayıs ayında ilk beş veri merkezinden ikisi Çin'de, üçü Amerika Birleşik Devletleri'nde bulunmaktadır (The World Ranking, 2024). İç Moğolistan Huhhot'ta bulunan China Telecom Veri Merkezi, hemen hemen tarihi Kudüs şehrinin büyüklüğü olan, yaklaşık 1 km<sup>2</sup>'lik alanıyla (0.929 km<sup>2</sup>) dünyadaki en büyük veri merkezi alanına sahiptir. Yine yaklaşık 0,67 km<sup>2</sup> alana sahip olan Huhhot'taki China Mobile ve ABD Nevada'daki Switch - The Citadel Campus ikinci ve üçüncü en büyük veri merkezleridir (Kumar, 2023). Ancak veri merkezlerine olan talebin katlanarak arttığı ve veri merkezlerinin ömürlerinin 10 yıldan az olduğu düşünüldüğünde çok daha büyük veri merkezlerinin kurulması kaçınılmazdır. 2023 yılında ABD Iowa'da Google – Council Bluffs Veri Merkezi bunlardan biri olmayadır (Google, 2023).

Gerek donanım olanaklarının artması gerekse aşırıya giden veri biriktirimi, dünyamızın kaynaklarını aynı ölçülerde tehdit etmekte, dünyayı her cephesinde yeniden şekillendiren enformasyon ve iletişim teknolojilerinin (*Information and Communication Technologies – ICT*) bu gücü bir taraftan büyük bir medeniyetin gelişmesini sağlarken, diğer taraftan çevreye olağanüstü zararlar vermektedir.

2021 yılında Almanya'daki veri merkezlerinin tükettiği enerji 17 TWh (TeraWatt/saat) olarak hesaplanmakta olup, bu tüketimin 2030 yılında 28 TWh'ye ulaşması beklenmektedir (Hinemann & Hinterholzer, 2023). 2021 yılında Almanya'da tüketilen toplam enerji miktarı 511,6 TWh olarak hesaplandığında, 17 TWh enerji tüketiminin, toplam tüketimin %3,32'sini oluşturduğu görülmektedir.

(Statista-4, 2023) Diğer taraftan görece daha küçük ülkelerin veri merkezlerinin 2021 yılı enerji tüketimlerinin, ülkenin toplam enerji tüketimi içerisinde çok daha fazla ağırlığa sahip olduğu açıktır. Enerji tüketim tahminlerinde kaynaklar arasında önemli farklılıklar olsa da ICT enerji tüketiminin yıllar içerisinde süratle arttığı ve dünyadaki toplam enerji tüketiminde önemli bir paya sahip olduğu net bir şekilde görülmektedir. International Data Agency raporuna göre enerji tüketimi veri merkezleri için yılda 220-320 TWh, veri iletim ağı için 260-360 TWh olarak tahmin edilmektedir. (International Energy Agency, 2023) Aynı ajans, 2022 – 2026 arasında dünyada veri merkezlerinin elektrik tüketimlerinin 460 TWh'dan 590 ile 1050 TWh'a çıkmasını beklemektedir (International Data Agency, 2024). Enformasyon ve iletişim teknolojileri bir ülke olsaydı, dünyanın en çok elektrik tüketen 3. ülkesi olacaktır (Capgemini, 2022)<sup>3</sup>.

Bugün sadece veri merkezlerinin karbon emisyonları, havacılık endüstrisi ile rekabet etmekte, küresel CO<sub>2</sub> emisyonlarının yaklaşık %3'üne enformasyon ve iletişim teknolojileri neden olmaktadır. Bu rakam 2022 yılında tahminen Portekiz (min. 41,28 milyon ton), İspanya (min. 254,36 milyon ton), Fransa (min. 315,3 milyon ton) ve İtalya'nın (min. 322,95 milyon ton) toplam CO<sub>2</sub> emisyonundan daha fazladır<sup>4</sup> (World Population Review, 2024).

Veri merkezlerine olan bu talebi, doğal olarak ICT araçlarına erişimin yaygınlaşması sağlamaktadır. 2050 yılında dünya nüfusunun 9,8 milyara ulaşmasının beklendiği, yaklaşık 4,75 milyar sosyal medya kullanıcısı olan 8 milyar insanın yaşadığı bir dünyada yaşamımızı sürdürmekteyiz (BM, 2017). Tahminlere göre bugün dünya çapında her yıl 300 milyondan fazla bilgisayar ve 1 milyardan fazla akıllı telefon satılmakta (Statista-1, 2023), 2022 itibarıyla dünya nüfusunun %66'sını temsil eden 5,3 milyar insanın internet bağlantısı bulunmaktadır (Petrosyan, 2023). 2010 yılından bu yana internet kullanım trafiği 25 kat artarken, internet kullanıcı sayısı ikiye katlanmıştır. Bunun bir sonucu olarak veri merkezlerinin ve veri iletim ağlarının (*data transmission network*) her türlü önlem alınmaya çalışılsa da enerji tüketimleri artmaya devam etmektedir (Agency, 2024). Örneğin önde gelen veri merkezi kurucusu işletmeler, merkezlerini özellikle soğuk coğrafi alanlarda kurmaya enerji verimliliği açısından dikkat etmektedir.

## 2. NEDENLER

Enformasyon ve iletişim teknolojilerinde bu tabloya neden olan olgulara daha yakından bakılmasında yarar bulunmaktadır. İlk aşamada teknolojileri donanım ve yazılım olarak ikiye ayırmak ve öğelerin karbon ayak izlerinin belirlenmesi doğru olacaktır.

### 2.1 Donanım

Şekil 5'te görülen donanımın yaşam döngüsünde, değerli metallerin kullanımı, enerji / su tüketimi ve e-atık önemli bir rol oynamaktadır.

#### 2.1.1. Değerli Metallerin Kullanımı

Üretim aşamasında, neredeyse tüm elektronik birimlerde kurşun, kalay ve bakır kullanılmaktadır. Ayrıca altın, gümüş, platin, paladyum ve tantal gibi nadir metaller de baskılı devre kartlarında, bilgisayar çiplerinde (*CPU*), sabit disklerde ve diğer bileşenlerde kullanılmaktadır. (UNCTAD, 2020) Örneğin bilgisayarlarda yaklaşık 0,3 gram altının kullanıldığı tahmin edilmektedir.

#### 2.1.2. Enerji ve Su Tüketimi

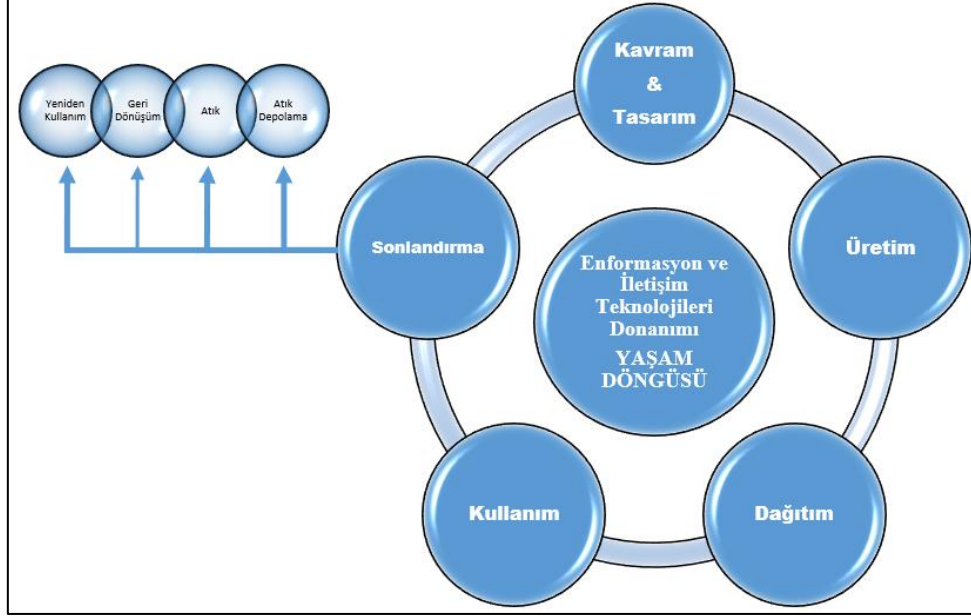
Günde ortalama 8 saat kullanılan bir masaüstü bilgisayar yılda 600 kWh enerji tüketmekte ve 175 kg CO<sub>2</sub> salmaktadır. Aynı şekilde bir dizüstü bilgisayar da yılda 150 ile 300 kWh arasında enerji tüketmekte ve 44 ile 88 kg arasında (energuidebe, 2023) CO<sub>2</sub> yaymaktadır. Şu anda dünya genelinde 2 milyardan fazla bilgisayarın kullanımda olduğu düşünüldüğünde toplam rakam oldukça çarpıcı olacaktır. Veri merkezlerinin tükettiği elektrik enerjisinin bu rakamlara dahil olmadığını da vurgulamak gerekmektedir.

<sup>3</sup> 2023 yılında dünyada enerji tüketiminde 170,74 Exajoule ile Çin 1. Sırada, 7 Exajoule ile Türkiye 16. Sırada. (KPMG, 2024)

<sup>4</sup> 2022 yılında Türkiye, tahminen 481,25 milyon ton CO<sub>2</sub> emisyonu ile Dünya sıralamasında 13. Sırada yer almaktadır. (Worldpopulationreview, 2023)

Üretim sırasında en çok su tüketen altı sektörden biri olan ICT sektöründe, tek bir kişisel bilgisayarın üretimi için kullanılan su miktarı 1500 ton olarak hesaplanmaktadır (Williams, 2003). Ancak bir hamburger için toplam 2.250 litre su tüketildiği düşünülürse (Hanlon, 2023), bilgisayar üretimi için tüketilen su miktarı kolaylıkla göz ardı edilebilir mi?

### Şekil 5. Enformasyon ve İletişim Teknolojileri Donanımında Yaşam Döngüsü



**Kaynak:** Akpinar (2023)

#### 2.1.3 E-Atık

Basel Sözleşmesi'ne göre elektronik atık (*e-atık*), sahibi tarafından atılan tüm elektrikli ve elektronik cihazları (EEE) ifade etmektedir. (Convention, 2020) Kesin bir istatistik bulunmamakla birlikte, 2014 yılında tüm dünyada e-atık miktarının 44,4 milyon ton (Mt) olduğu tahmin edilmekte olup, bu miktarın 2030 yılında 74,7 Mt'a ulaşması beklenmektedir (Forti V., 2018).

Avrupa Birliği WEEE Direktifine göre e-atıklar aşağıdaki altı kategoride incelenmekte ve bunların ikinci ve altıncı kategorileri doğrudan ICT e-atıklarıdır (Forti V. B. C., 2020).

- 1) Sıcaklık Değiştirme Ekipmanları,
- 2) Ekranlar, monitörler ve ekran içeren ekipmanlar (Televizyonlar, monitörler, dizüstü bilgisayarlar ve tabletler),
- 3) Lambalar,
- 4) Büyük Ekipmanlar,
- 5) Küçük Ekipmanlar,
- 6) Küçük ICT Ekipmanları (Cep telefonları, kişisel bilgisayarlar, yazıcılar, oyun konsolları, hesap makineleri ve diğer küçük ICT ekipmanları).

2019'da küresel e-atık miktarı yaklaşık 53,6 Mt olmuştur. Bu değer içerisinde ekran ve monitör ve küçük ICT ekipmanı e-atıkları sırasıyla 6,7 Mt (%12,5) ve 4,7 Mt (%8) paya sahiptir (Forti V. B. C., 2020). Eyfel Kulesi'nin 10100 ton ağırlığında olduğu düşünüldüğünde, toplam ICT e-atık miktarı 2019 yılında yaklaşık 1130 Eyfel kulesine eşdeğerdir.

2022 yılı sonu itibarıyla, başta az gelişmiş Asya ve Afrika ülkeleri olmak üzere dünyada 347 Mt geri dönüştürülmemiş e-atık olduğu tahmin edilmekte (Baldé C.P., 2022) ve bu e-atığın sadece %17,4'ünün verimli bir şekilde geri dönüştürülebildiği tahmin edilmektedir. E-atık uygun şekilde geri dönüştürülebildiğinde paladyum, altın, gümüş ve bakır gibi değerli malzemeler ekonomiye geri kazandırılabilir. Ancak geri dönüştürülemeyen e-atık, kurşun, cıva, kadmiyum, arsenik, selenyum ve alev geciktiriciler gibi tehlikeli ve zehirli maddeler içermekte ve ekonomik, çevresel ve sosyal sürdürülebilirliğe önemli zararlar vermektedir.



Bu aşamada sorumlu madencilik ve döngüsel ekonomi kavramları üzerinde durulmalıdır. Sorumlu madencilik, en iyi uluslararası uygulamaları benimser ve hukukun üstünlüğünü korurken, tüm paydaşların, insan sağlığının ve çevrenin çıkarlarına bariz bir şekilde saygı gösterilmesidir. Ayrıca bunların korunması ve üretici ülkenin geniş ekonomik kalkınmasına ve yerel toplulukların yararına fark edilebilir ve adil bir şekilde katkıda bulunması beklenmektedir (Arvanitidis N., 2017) (The Responsible Mining, 2022). Ancak Haziran 2024'te Bolivya'da özellikle lityum yatakları için darbe girişimi (Staff, 2024) ve Mayıs 2024'te Yeni Kaledonya'da nikel uğruna zirveye tırmanan iç çatışmalar, bir önceki cümle ile çelişmemekte midir?

Döngüsel ekonomi ise dünyada çıkarılan metallerin sonsuz miktarda olmadığı ve kısa sürede tükeneceği düşünüldüğünde, ürünlerin yaşam döngüleri tamamlandığında geri kazanılması için yürütülen işlemleri kapsayacaktır (UNIDO, 2017).

## 2.2 Yazılım

Gereksiz kullanılan her hesaplama işleminin her karakteri, bir papatyanın yapraklarını açmadan kurummasına neden olacaktır. Sürdürülebilir yazılım mühendisliği, genel uygulama verimliliğini artırmak ve daha fazla enerji ve su tüketimini azaltmak için tüm tasarım ve yazılım faaliyetleridir. Programlama dillerinden çeşitli arama ve sıralama algoritmalarına kadar bir dizi hesaplama kaynağını olabildiğince verimli kullanan yazılımlara ihtiyaç vardır. Zamana ve belleğe dayalı verimliliği hedefleyen bu yaklaşıma algoritmik verimlilik denilir.

### 2.2.1 Makine Öğrenimi Yazılımları

Bu tanımda bahsedilen enerji verimliliğinin zıt kutbunda yer alan yapay zekâ ve makine öğrenimi uygulamaları, enerji tüketimini üstel oranlarda artırmaktadır. BERT (*Bidirectional Encoder Representations from Transformers*), MidJourney ve GPT-4 (*Generative Pre-trained Transformer*) gibi son yılların popüler doğal dil işleme yazılımları bu konuda başı çekmektedir.

Sayıları hızla artan üretken yapay zekâ (*Generative Artificial Intelligence*) ürünleri, faydalarının yanı sıra enerji tüketiminde de giderek daha önemli bir yer edinmeye başlamıştır. Google araştırmacılarının bulgularına göre 2021 yılında Google şemsiyesi altında tüketilen toplam elektrik miktarı 18,3 TWh olmuş ve bu miktarın tahminen %10-%15'i yapay zekâ ürünlerinin geliştirilmesine harcanmıştır (Saul & Bass, 2023).

GPU donanımlı sistemlerde 175 milyar özelliği eğiten Open AI GPT-4, tahminlere göre 190.000 kWh enerji tüketmektedir (Quach, 2023).

### 2.2.2 Kripto Madenciliği

Başta Bitcoin olmak üzere kripto para elde etmek için yürütülen kripto para madenciliği (*cryptocurrency mining*), enerji canavarı olarak nitelendirilebilecek yazılımların başında gelmekteydi.

Kripto para madenciliği, ilgili kripto para için blok zincirine yeni bloklar ekleme işlemidir. Dünya çapında, GPU'larla çalışan yaklaşık 3 milyon bilgisayar, 64 basamaklı bir onaltılık sayı (*64-digit hexadecimal number*) veya *hash* üreten bir hesaplamayı tamamlamak için rekabet etmektedir (Gonzales, 2023).

Çin Halk Cumhuriyeti'nde 2021 yılının bahar aylarına kadar nehir kenarlarında kurulu hidroelektrik santrallerinden bol ve ucuz enerji sağlayabilen kripto para madenciliği çiftlikleri, Çin'in üretim çiftliklerini bu tarihte yasaklaması nedeni ile zorunlu olarak Kazakistan'a taşınmıştır. Böylece Dünya'da Amerika Birleşik Devletleri'nden sonra en çok üretim çiftliği sahibi durumuna gelen Kazakistan, Ağustos 2021 tarihinden itibaren havaların soğuması ve enerji alt yapısının eskiliği nedeniyle hızla büyük bir enerji krizine girmiştir. Kazak Hükümeti'nin iddialarına göre, ülkenin toplam enerjisinin %8'ini emen bu çiftlikler, ülkede ciddi ayaklanmalara neden olmuş, (Volpicelli, 2023) çiftliklerini başka bir ülkeye de taşıyamayan çiftlik sahipleri, alamadıkları enerji neticesinde ekipmanlarının soğuktan donarak işlevsiz kalmasını izlemişlerdir (Vries, Gallersdörfer, Klaaßen, & Stoll, 2022).

Uluslararası Veri Ajansı raporuna göre, kripto madenciliğinin enerji tüketimi 2021'de (International Energy Agency, 2023) 100-140 TWh iken, 2022 yılının ilk yarısında *bitcoin* için enerji

tüketimi 200 TWh'yi aşmıştır. Temmuz 2017-Mart 2023 döneminde *bitcoin* enerji tüketimi yıllık ortalama 93,10 (Digiconomist, 2023) TWh'dir. Ülke bazında bir karşılaştırma yapılacak olursa, Filipinler Cumhuriyeti'nin 2019 yılı elektrik tüketiminin 93,35 TWh olduğunu belirtmek yerinde olacaktır (Wikiwand, 2023).

Aynı dönemde *bitcoin* madenciliğinin karbon ayak izinin yılda ortalama 51,93 Mt olduğu tahmin edilmektedir (Digiconomist, 2023). Yine ülke bazında bir karşılaştırma yapmak adına Macaristan'ın 2020 yılı karbon ayak izinin 49,4 Mt, Singapur'un ise 56,1 Mt olduğu belirtilebilir (Worldpopulationreview, 2023).

Tüm kripto para birimleri, tüm dünyada enerji tüketimlerini azaltmak için baskı altında olduklarından yeni algoritma arayışına girmiştir. Kripto para piyasasının en önemli ikinci ismi olan Ethereum, *The Merge* adlı yeni algoritmasını Eylül 2022 itibarıyla kullanmaya başladığını duyurmuştur. Bu algoritmanın enerji tüketimini %99,95 oranında azalttığı ifade edilmektedir. Benzer şekilde Cardano da kendi algoritmasını geliştirmiştir (Vries A. d., 2023).

### 3. SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK

Önceki kısımlarda belirtilen tüm olumsuzluklara rağmen paradoksal olarak ICT sürdürülebilirlik (*sustainability*) açısından vazgeçilmezdir. 2021-2022 Capgemini Çevresel Sürdürülebilirlik Performans Raporu'nda yer alan aşağıdaki ifadelerde bu durum vurgulanmaktadır (Capgemini, 2022).

- 2030 yılına kadar ICT, salınan karbon emisyonunu 9,7 kat daha fazla azaltma potansiyeline sahiptir,
- Dijital çözümler, 17 Birleşmiş Milletler Sürdürülebilir Kalkınma Amaçları'nın (Sustainable Development Goals - SDG) tamamına ve 169 SDG alt amacın % 50'sinden fazlasına ulaşılmasına katkıda bulunabilir.

Bu durumda, sürdürülebilirlik için ICT'nin dezavantajlarını en aza indirirken, avantajlarını olabildiğince en üst düzeye çıkarmanın gerekliliği açıktır.

Literatürde sürdürülebilir ICT ve Yeşil IT (*Green IT*) kavramları genellikle benzer anlamda kullanılabilir. Ancak bu yazıda Yeşil IT ve Sürdürülebilir ICT kavramlarının kapsamlarının ayrıştırılması tercih edilmiştir.

Yeşil IT, aşağıdaki hedeflerle bir kuruluşun veya bireyin ICT varlıklarının özellikle enerji tüketimi ve karbon emisyonları olmak üzere en düşük çevresel etkiye ulaşma hedefine odaklanmıştır.

- ICT donanımlarında tehlikeli ve zehirli maddelerin kullanımının azaltılması,
- ICT'de kullanılan donanım ve yazılımlar başta olmak üzere tüm varlıklarda enerji verimliliğinin en üst düzeye çıkartılması,
- Fiziksel, ekonomik veya sosyal ömrünü tamamlamış tüm ICT ürünlerinin çevreye en az zarar verecek şekilde bertaraf edilmesi.

Bununla birlikte, Sürdürülebilir ICT şemsiye bir terimdir ve Şekil 6'da görüldüğü gibi çevresel, ekonomik ve sosyal boyutlarda tüm ICT bileşenlerinin yaşam döngülerine dayalı olarak hepsi arasında optimum bir dengenin kurulması amaçlanmaktadır.

Bu üç boyut arasında bir denge kurmak kolay olmayacaktır. Üreticiler bir yandan daha fazla bilgisayar ve akıllı telefon satmak isterken, diğer yandan tüketicilerin son modelleri kullanma isteği sonucu veri dağları ve e-atık miktarı her geçen gün sürekli artacaktır. Bu artış kullanılan elektrik enerjisi miktarına ve dolayısıyla karbon ayak izine yansımakta ve çevre tahribatının artmasına neden olmaktadır.

ABD Çevre Koruma Ajansı (EPA) tarafından 1992 yılında başlatılan ve bilgisayarlar, sunucular, cihazlar, ısıtma ve soğutma sistemleri ile diğer elektrikli ve elektronik ürünler için enerji verimliliği üzerinde çalışan ENERGY STAR Programı, muhtemelen Sürdürülebilir ICT çalışmalarının ilk köşe taşı olmuştur (Star, 2023).

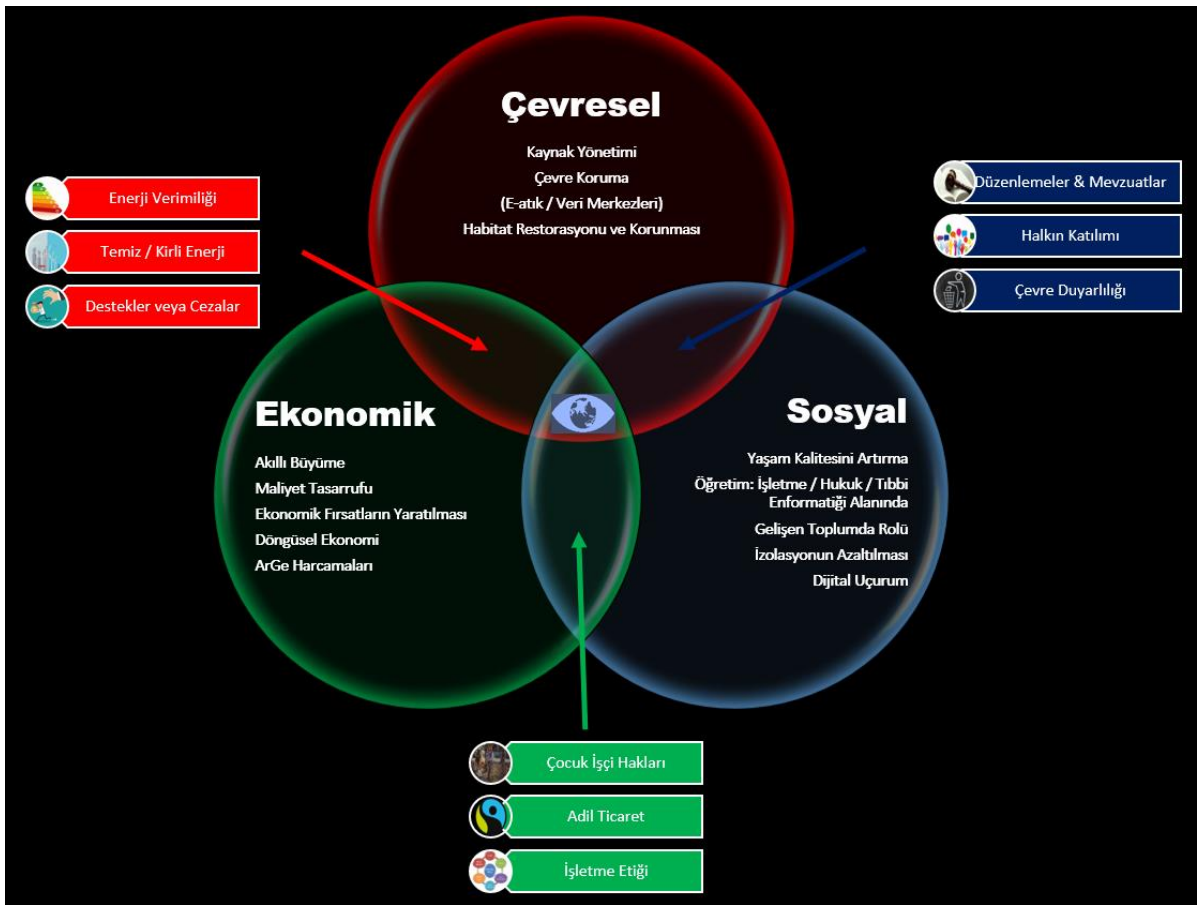
Avrupa Komisyonu tarafından 2020 yılında hazırlanan "2030 İklim Hedef Planı"nda, AB'nin sera gazı emisyonlarını 2030 yılına kadar 1990 seviyelerinin en az %55 altına düşürme ve 2050 yılına



kadar iklimi nötrale hale getirme konusunda beklentilerini yükseltmesi önerilmektedir (European-Commission, 2020). Daha önceki raporlarında iklim nötralizasyonu için 2030'u hedefleyen Avrupa Birliği'nin bu hedefe ulaşım ulaşamayacağı şüphelidir. Bu beklentilerde ICT teknolojisinin artan enerji tüketiminin önemli düzeyde olumsuz rol oynayacağı açıktır.

Şekil 6'da üç noktaya dikkat çekmek gerekmektedir. Özellikle E-atık uygulamalarında az gelişmiş ülkelerde çocuk işçilere yüklenilmekte ve bu çocukların geleceği her açıdan karartılmaktadır. Diğer taraftan toplumun bilinçlendirilmesinde önemli bir görev enformatik ve özellikle işletme enformatiği, hukuk enformatiği ve tıbbi enformatik gibi disiplinler arası öğretime düşmektedir. Bu alanlarda muhakkak bilinçlendirici derslerin yer alması ve diğer derslerin de Sürdürülebilir ICT yapısına uygun olarak düzenlenmesi gerekmektedir. Son önemli konu ise gerek ülke içi gerekse ülkeler arasında dijital uçurum giderek artmaktadır. Bu uçurumun giderilememesi durumunda, enerji tüketiminden çok daha önemli düzeyde, toplumlarda gereksiz olarak addedilebilecek insan yığınlarının ve giderilmesi mümkün olmayan sorunların ortaya çıkması söz konusu olacaktır.

Şekil 6. Sürdürülebilir ICT



**Kaynak:** Akpınar (2023)

#### 4. SONUÇ

Antroposen terimi, Dünya'nın biyolojik, jeolojik ve atmosferik sistemleri üzerinde insan etkisinin olduğu varsayılan jeokronolojik dönem için önerilmiştir. Bu dönem Prometheus'un ateşi insanlığa armağan etmesiyle, sanayi devrimleriyle, ilk atom bombasının Hiroşima'ya atılmasıyla ya da hesaplama çağıyla başlatılabilir.

Önceki kısımlarda verilen tüm rakamlar, ICT sektörünün hızlı yükselişine rağmen kendisini ve tüm dünyayı çevresel, ekonomik ve sosyal bir krize doğru sürüklediğini göstermektedir. Bir yandan 2050 yılına kadar karbon ayak izi nötrale edilmek istenirken diğer yandan her geçen gün artan veri miktarı ve dolayısıyla bu verilerin saklanması sorunları gelecekte hem kurumsal hem de küresel bazda

insanlığı tehdit etmektedir. Bu rakamları sadece bir kurumun sürdürülebilirliği olarak değil, tüm insanlığın sürdürülebilirliği olarak değerlendirmekte fayda bulunmaktadır. Toplumda, bilgisayarların bir gün insanlığa hükmedeceği düşüncesinden hareketle, enformasyon ve iletişim teknolojilerinin insanlık için bir tehdit olacağı düşünülmekte ve bu konu tekillik (*singularity*) başlığı altında incelenmektedir. Ancak enerji tüketimi eğiliminin bu şekilde devam etmesi durumunda bu kavramı tartışmanın da bir anlamı kalmayacaktır. Tekillik düşüncesi, klasik ifadesiyle buzdağının sadece görünen kısmı olabilir. Ayın karanlık yüzünde olduğu gibi, buzdağının dibi çok daha büyük tehditlere gebe dir.

Gelinen noktanın tıpkı iklim krizinde olduğu gibi bir kırılma noktası olduğu kabul edilmelidir. Günümüzde ICT sektöründen vazgeçmek artık mümkün değildir. Tüm dünya yaşamı bu teknoloji ile o kadar entegre olmuş durumdadır ki, işletme, ülke ya da küresel bazda yaşanan birkaç saatlik elektrik ve/veya internet kesintileri bile geri dönüşü olmayan ekonomik sorunlara neden olmaktadır. Ancak acımasız bir miras yaklaşımıyla dünyanın tüm kaynakları yok edilmektedir. Sosyal medya, nesnelere interneti ve diğer tüm akıllı teknolojiler, büyük veri kavramının ötesinde veri üretimine ve sürekli olarak veri merkezlerinin kapasitesinin artmasına veya yenilerinin açılmasına neden olmaktadır. Bu veri seli, dünyanın kıt enerji ve su kaynaklarının katlanarak tüketilmesine neden olmakta, dünyanın kıt madenleri ICT endüstrisi için hızla feda edilmektedir. Sürekli olarak yeni teknolojileri kullanmaya şartlandırılan toplum, fiziksel ömrünü tamamlamamış elektronik oyuncakları çöpe atmakta ve bu çöpler dünyanın geri kalmış ülkelerine gönderilerek E-atık dağlarının oluşmasına neden olmaktadır. Bu dağlar her ne kadar öncelikle bu ülke insanların zararına olsa da nihayetinde tüm dünya için tehlikeli ve zehirli maddeler barındırmaktadır.

Enformasyon ve iletişim teknolojilerinin çevreye verdiği zararı en aza indirmek için ilk etapta ele alınması gereken konuların başlıcaları:

- Enerji ve su tüketimini en aza indiren bilgisayar ekipmanlarının üretimi,
- Bu ekipmana ait elektronik atıkların etkin ve verimli bir şekilde bertaraf edilmesi,
- Enerji ve su tüketimini en aza indiren veri merkezlerinin verimliliğini artırılması,
- Yazılımda algoritmik verimliliğin maksimize edilmesi,
- Gereksiz veri üretiminden kaçınılması olacaktır.

Tüm bunlardan çok daha önemlisi toplumdaki veri üretme çılgınlığının dizginlenmesi gerekmektedir. Dakikada paylaşılan mesaj sayısının 50 milyona yaklaştığı ve 150.000 fotoğrafın paylaşıldığı bir toplumda, tüm bu paylaşımların geleceğimizi çaldığı konusunda toplumlar bilinçlendirilmelidir.

1943'te geliştirilen McCulloch-Pitts Modeli insan sinir ağlarından esinlenmiş ilk hesaplamalı ağıdır (Akpınar, 2018). Yüzyıllar boyunca, bu zihin efsanevi Girit'in Talos'unu, Paracelsus'un Homonculus'unu, Shelley'nin Frankenstein'ini, Collodi'nin Pinokyo'sunu, Xiaomi'nin Cyberone'ini, Hanson Robotics'in Sophia'sını zihninde veya gerçekte yaratmıştır.

Günde ortalama 2 litre su ve 2000 kalori karşılığında elde edilen enerjinin sadece 60 watt'ını kullanan ve saniyede  $10^{13}$  ile  $10^{16}$  FLOP veya diğer bir deyişle kabaca 10 trilyon ile 10 katrilyon arasında işlem yapabilme kapasitesine sahip olan bu varlık, belki daha fazla yol gösterici olabilecektir.

Eğer ICT'nin parlayan yüzü, karanlık karşıtını yenmek için bir çözüm bulamayacak olursa; **Rüzgâr esmekten, Güneş parlamaktan, nehirler akmaktan vazgeçecektir.**

## KAYNAKÇA

Agency, I. D. (2024, 06 28). Data Centres and Data Transmission Networks. Retrieved from International Data Agency: [www.iea.org/energy-system/buildings/data-centres-and-data-transmission-networks](http://www.iea.org/energy-system/buildings/data-centres-and-data-transmission-networks)

Akpınar, H. (2018). DATA Veri Madenciliği Veri Analizi (Data Mining - Data Analysis). Istanbul: PapatyaBilim.

Akpınar, H. (2023). The Dark Side of Data. In R. Öztürk, & N. Bartholomäus, Sustainability Innovations in Time of Crisis (pp. 5-23). Shaker Verlag.

Andre, L. (2023, 03 19). 53 Important Statistics About How Much Data Is Created Every Day. Retrieved from FinancesOnline: [financesonline.com/how-much-data-is-created-every-day/](http://financesonline.com/how-much-data-is-created-every-day/)

- Arvanitidis N., B. J. (2017). IAPG - International Association for Promoting Geoethics,. Retrieved from White Paper on Responsible Mining. : [www.geoethics.org/wp-responsible-mining](http://www.geoethics.org/wp-responsible-mining).
- Aubert, M. (n.d.). Oldest Known Cave Painting. Griffith University.
- Baldé C.P., D. E. (2022). Global Transboundary E-waste Flows Monitor - 2022. Bonn: United Nations Institute for Training and Research (UNITAR).
- Bottéro, J. (2006). Kültürümüzün Şafağı Babil. İstanbul: Yapı Kredi Yayınları.
- Capgemini. (2022). Capgemini Environmental Sustainability Performance Report 2021/2022. Capgemini.
- Convention, T. S. (2020). Basel Convention - On the Control of Transboundary Movements of Hazardous Wastes and their Disposal . UN Environment Programme.
- Digiconomist. (2023, 03 15). Digiconomist. Retrieved from Bitcoin Energy Consumption Index: [digiconomist.net/bitcoin-energy-consumption#assumptions](http://digiconomist.net/bitcoin-energy-consumption#assumptions)
- energyguidebe. (2023, 03 13). How much power does a computer use? Retrieved from [www.energyguide.be](http://www.energyguide.be)
- European-Commission. (n.d.). Retrieved from [climate.ec.europa.eu/eu-action/european-green-deal/2030-climate-target-plan\\_en](http://climate.ec.europa.eu/eu-action/european-green-deal/2030-climate-target-plan_en)
- European-Commission. (2020). 2030 Climate Target Plan. Retrieved from [climate.ec.europa.eu/eu-action/european-green-deal/2030-climate-target-plan\\_en](http://climate.ec.europa.eu/eu-action/european-green-deal/2030-climate-target-plan_en)
- Forti V., B. C. (2018). E-waste Statistics: Guidelines on Classifications, Reporting and Indicators, second edition. Bonn: United Nations University, ViE – SCYCLE.
- Forti V., B. C. (2020). The Global E-waste Monitor 2020: Quantities, flows and the circular economy potential. Bonn/Geneva/Rotterdam: United Nations University (UNU)/United Nations Institute for Training and Research (UNITAR) – co-hosted SCYCLE Programme, International Telecommunication Union (ITU) & International Solid Waste Association (ISWA).
- Furman, T., & Guertin, L. (n.d.). Lesson 6: The Nile River - Where Does The Water Go? Retrieved from College of Earth and Mineral Science - Pennstate: <https://courseware.e-education.psu.edu/courses/earth105new/content/lesson06/04.html>
- Gonzales, O. (2023, 3 15). Bitcoin Mining: How Much Electricity It Takes and Why People Are Worried. Retrieved from CNET: [www.cnet.com/personal-finance/crypto/bitcoin-mining-how-much-electricity-it-takes-and-why-people-are-worried/](http://www.cnet.com/personal-finance/crypto/bitcoin-mining-how-much-electricity-it-takes-and-why-people-are-worried/)
- Google. (2023, 03 21). Google Data Centers. Retrieved from Google Data Centers: [www.google.com/about/datacenters/locations/council-bluffs/](http://www.google.com/about/datacenters/locations/council-bluffs/)
- Guardian, T. (2021, 01 13). World's "Oldest Known Cave Painting" found in Indonesia. Retrieved from The Guardian: [www.theguardian.com/science/2021/jan/13/worlds-oldest-known-cave-painting-found-in-indonesia](http://www.theguardian.com/science/2021/jan/13/worlds-oldest-known-cave-painting-found-in-indonesia)
- Hanlon, P. (2023, 03 08). How big is your water footprint. Retrieved from Water Footprint Network: [waterfootprint.org/en/about-us/news/news/grace-launches-new-water-footprint-calculator](http://waterfootprint.org/en/about-us/news/news/grace-launches-new-water-footprint-calculator)
- International Data Agency, I. . (2024). Electricity 2024.
- KPMG. (2024). Statistical Review of World Energy.
- Kramer, S. N. (1988). History begins at Sumer. Philadelphia: University of Pennsylvania Press.
- Kumar, V. (2023, 03 21). 12 Largest Data Centers In The World In 2023 [By Size]. Retrieved from Rankred: [www.rankred.com/largest-data-centers-in-the-world/](http://www.rankred.com/largest-data-centers-in-the-world/)
- Meadows, D., Randers, J., & Meadows, D. (2004). Limits to Growth - The 30-Year Update. Chelsea Green Publishing Company.
- Petrosyan, A. (2023, 03 18). Global number of internet users 2005-2022. Retrieved from Statista: [www.statista.com](http://www.statista.com)
- Quach, K. (2023, 03 18). AI me to the Moon... Carbon footprint for 'training GPT-3' same as driving to our natural satellite and back. Retrieved from The Register: [www.theregister.com/2020/11/04/gpt3\\_carbon\\_footprint\\_estimate/](http://www.theregister.com/2020/11/04/gpt3_carbon_footprint_estimate/)
- Radicati. (2023). Email Statistics Report. The Radicati Group, Inc.

- Saul, J., & Bass, D. (2023, 03 18). Artificial Intelligence Is Booming—So Is Its Carbon Footprint. Retrieved from Bloomberg: [www.bloomberg.com/news/articles/2023-03-09/how-much-energy-do-ai-and-chatgpt-use-no-one-knows-for-sure?leadSource=uverify%20wall](https://www.bloomberg.com/news/articles/2023-03-09/how-much-energy-do-ai-and-chatgpt-use-no-one-knows-for-sure?leadSource=uverify%20wall)
- Star, E. (2023, 02 20). Energy Star. Retrieved from Energy Star: [www.energystar.gov/](http://www.energystar.gov/)
- Statista. (2023, 03 20). Data volume of internet of things (IoT) connections worldwide in 2019 and 2025. Retrieved from Statista: [www.statista.com/statistics/1017863/worldwide-iot-connected-devices-data-size/](https://www.statista.com/statistics/1017863/worldwide-iot-connected-devices-data-size/)
- Statista. (2023, 03 21). Number of data centers worldwide in 2022, by country. Retrieved from Statista: [www.statista.com/statistics/1228433/data-centers-worldwide-by-country/](https://www.statista.com/statistics/1228433/data-centers-worldwide-by-country/)
- Statista. (2023, 02 20). Statista. Retrieved from Statista: [www.statista.com](http://www.statista.com)
- Statista. (2024, 04 01). Retrieved from Leading countries by number of data centers as of March 2024: [www.statista.com/statistics/1228433/data-centers-worldwide-by-country/](https://www.statista.com/statistics/1228433/data-centers-worldwide-by-country/)
- The Responsible Mining, F. (2022). Closing the Gaps.
- The World Ranking. (2024, 04 01). Retrieved from Top 12 Largest Data Centers Around the Globe: [www.theworldranking.com/statistics/152/largest-data-centers/](https://www.theworldranking.com/statistics/152/largest-data-centers/)
- Trousdale, G., & Wise, K. (Directors). (1991). Beauty and the Beast [Motion Picture].
- UN. (2017). World Population Prospects. United Nations.
- UNCTAD. (2020). Digital Economy Growth and Mineral Resources. United Nations.
- UNIDO, U. (2017). Circular Economy. United Nations.
- Volpicelli, G. M. (2023, 03 15). As Kazakhstan Descends Into Chaos, Crypto Miners Are at a Loss. Retrieved from Wired: [www.wired.com/story/kazakhstan-cryptocurrency-mining-unrest-energy/](https://www.wired.com/story/kazakhstan-cryptocurrency-mining-unrest-energy/)
- Vries, A. d. (2023, 03 15). Cryptocurrencies on the road to sustainability: Ethereum paving the way for Bitcoin. Retrieved from Patterns: [www.cell.com/action/showPdf?pii=S2666-3899%2822%2900265-3](https://www.cell.com/action/showPdf?pii=S2666-3899%2822%2900265-3)
- Vries, A. D., Gallersdörfer, U., Klaaßen, L., & Stoll, C. (2022). Revisiting Bitcoin's Carbon Footprint.
- Wikiwand. (2023, 03 18). List of countries by electricity consumption. Retrieved from Wikiwand: [www.wikiwand.com/en/List\\_of\\_countries\\_by\\_electricity\\_consumption](https://www.wikiwand.com/en/List_of_countries_by_electricity_consumption)
- Wikiwand. (2024, 03 15). Visayan Warty Pig. Retrieved from Wikiwand: [www.wikiwand.com/en/Visayan\\_warty\\_pig#Media/File:VisayanWartyPig01.jpg](https://www.wikiwand.com/en/Visayan_warty_pig#Media/File:VisayanWartyPig01.jpg)
- Williams, E. (2003). Eco-Efficiency in Industry and Science, 41–72. In Environmental Impacts in the Production of Personal Computers. (pp. 41-72).
- World Population Review. (2024, 06 28). Retrieved from CO<sub>2</sub> Emissions by Country 2024: [worldpopulationreview.com/country-rankings/co2-emissions-by-country](https://worldpopulationreview.com/country-rankings/co2-emissions-by-country)
- Worldpopulationreview. (2023, 03 18). Worldpopulationreview. Retrieved from Carbon Footprint by Country 2023: [worldpopulationreview.com/country-rankings/carbon-footprint-by-country](https://worldpopulationreview.com/country-rankings/carbon-footprint-by-country)