

YEŞİL ALGORİTMA: KARBON AYAK İZİNİ ÖLÇMEK

GREEN ALGORITHM: MEASURING THE CARBON FOOTPRINT

Arş. Gör. Ash KILIÇ

Gebze Teknik Üniversitesi, İşletme Fakültesi, Yönetim Bilişim Sistemleri,
aslikilic@gtu.edu.tr

Kocaeli / Türkiye

ORCID: 0000-0002-6621-965X

Dr. Yavuz Selim BALCIOĞLU

Gebze Teknik Üniversitesi, İşletme Fakültesi, Yönetim Bilişim Sistemleri,
ysbalcioglu@gtu.edu.tr

Kocaeli / Türkiye

ORCID: 0000-0001-7138-2972

Özet

İklim değişikliğinin etkileri, insan uygarlıkları, ekonomi ve sağlık dahil olmak üzere dünyadaki yaşamın hemen hemen her yönü üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Veri merkezleri ve diğer büyük ölçekli bilgi işlem kaynakları, büyük sera gazı (BSG) emisyonlarından sorumlu olan insan faaliyetleri arasındadır. Diğer insan faaliyetleri de bu soruna katkıda bulunmaktadır. Yüksek performanslı bilgi işlemin büyümesinin çok sayıda önemli bilimsel atılımın gerçekleştirilmesine izin vermesine rağmen, bu ilerlemenin çevre üzerindeki etkisi hafife alınmamaktadır. Bu çalışmada, herhangi bir bilgisayar işinin karbon ayak izini tutarlı ve güvenilir bir şekilde tahmin etmek için metodolojik bir çerçeve açıklanmaktadır. Sistem, herhangi bir hesaplama görevinin karbon ayak izini hesaplamak için kullanılabilir. Bir kullanıcı, halka ücretsiz olarak erişilebilen Yeşil algoritma (www.green-algorithms.org) adlı yeni oluşturulmuş bir web aracını kullanarak hesaplamaların karbon ayak izini ölçebilir ve raporlayabilir. Bununla birlikte, çok az bilgi kullanması, önceden yazılmış koda müdahale etmemesi ve çok çeşitli donanım yapılandırmalarını barındırabilmesi nedeniyle aracın hesaplamalı prosedürler içinde uygulanması çok basittir. Bir bütün olarak ele alındığında bu araştırma basit, genelleştirilebilir bir çerçevenin yanı sıra hemen hemen her hesaplamanın karbon ayak izini ölçmek için herkesin erişebileceği bir araç sunmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Yeşil algoritma, karbon ayak izi, yeşil bilgi işlem

Abstract

The effects of climate change have a significant impact on nearly every aspect of life on Earth, including human civilizations, the economy, and health. Data centers and other large-scale computing resources are among the human activities responsible for large greenhouse gas (BSG) emissions. Other human activities also contribute to this problem.

Although the growth of high-performance computing has allowed many important scientific breakthroughs to be achieved, the environmental impact of this progress cannot be underestimated. This paper describes a methodological framework for consistently and reliably estimating the carbon footprint of any computer business. The system can be used to calculate the carbon footprint of any computing task. A user can measure and report the carbon footprint of calculations using a newly created web tool called the Green algorithm (www.green-algorithms.org), which is freely available to the public. However, the tool is very simple to implement within computational procedures, as it uses very little information, does not interfere with pre-written code, and can accommodate a wide variety of hardware configurations. Taken as a whole, this research offers a simple, generalizable framework, as well as an accessible tool for measuring the carbon footprint of almost any computation.

Keywords: Green algorithm, carbon footprint, green computing

1. GİRİŞ

Atmosferdeki sera gazlarının (SG) miktarının hem küresel hem de bölgesel olarak belirli yansımaları olabilecek iklim değişikliği üzerinde önemli bir etkisi bulunmaktadır. Bunların bazı örnekleri arasında yükselen deniz seviyeleri, Avustralya'daki yıkıcı orman yangınları (Andersson and Börjesson, 2021) Pasifik'teki yoğun tayfunlar ve Afrika'daki şiddetli kuraklıkların yanı sıra insan sağlığı üzerindeki etkileri sayılabilir (Ncongwane et al., 2021). Veri merkezlerinden ve yüksek performanslı bilgi işlem tesislerinden çıkan emisyonlar, Amerika Birleşik Devletleri'ndeki ticari uçaklardan çıkanlarla karşılaştırılabilir, bu ise yılda toplam 100 megaton karbondioksit eşit miktarda bir gaz salınımına eşittir (Stanley et al., 2018). Bu nokta, iklim değişikliğine önemli bir katkıyı temsil etmektedir. Bu aşamaya kadar, hızla artan talep, enerjiyi verimli hale getiren binalarla birlikte gelmiştir. Sonuç olarak, veri merkezleri tarafından kullanılan toplam güç miktarı nispeten sabit kalmıştır (Johnson et al., 2017). Ancak bu istikrarın önümüzdeki yıllarda sona ermesi beklenmektedir ve en iyimser tahminler bile sektörün enerji ihtiyacının önümüzdeki on yıllarda üç kat artacağını göstermektedir (Graves et al., 2020).

Donanım, yazılım ve algoritmalarındaki ilerlemeleri içeren bilgi işlemin gelişimi, bilimsel araştırmanın daha önce hiç görülmemiş hızlarda ilerlemesini mümkün kılmıştır (Sze et al., 2017). Hava tahminlerinin doğruluğu, önümüzdeki beş gün için yapılan tahminlerin artık neredeyse bir sonraki gün için yapılanlar kadar doğru olduğu noktaya kadar başarılı sonuçlar vermektedir (Tran et al., 2021). Bir kara deliğin ilk doğrudan resmi, kırk yılı aşkın bir süre önce fizik alanında matematiksel algoritmalar tarafından yapılmıştır (Maldacena, 2021). 55 milyon ışık yılı uzaklıkta, insan genomu, hastalık için binlerce genetik varyantı ortaya çıkarmak için çıkarıldı ve makine öğrenimi (ML), ekonomik ve sosyal etkileşimler dahil olmak üzere toplumun birçok yönüne nüfuz etmektedir (Zhang and Villarini, 2021). Ayrıca 55 milyon ışık yılı uzaklıkta ve 55 milyon yaşında bir galaksi bulunmaktadır. Amerika Birleşik Devletleri'ndeki Extreme Science and Engineering Discovery Environment (EDE), bilim camiasındaki hesaplamalı araştırma kapsamının bir örneği olarak hizmet vermektedir (Knepper and Börner, 2016). Sadece 2020 yılında, bilimsel bilgi işlem için günde 24 milyon saate ulaşan 9 milyardan fazla işlem saati kullanılmıştır (Ball, 2021). Bunların dışında, büyük ölçekte hesaplamalar yapmakla ilgili tüm harcamalar kaydedilmemektedir.

Güç kullanımı, sera gazlarının (SG) üretilmesine neden olmakta ve veri merkezlerini, kişisel bilgisayarları ve mevcut çok çeşitli mimarileri kullanarak hesaplamalar yapmanın çevresel maliyetlerinin ne olduğu bilinmemektedir Lee et al., 2018). Yeşil bilgi işlem (çevreye duyarlı bilgi ve iletişim teknolojilerinin incelenmesi) alanındaki programlar son on yılda geliştirilmiş olsa da, bu programların birincil odak noktası enerji verimli donanım ve bulutla ilgili teknolojilerdir (Tuckett, 2019). Yeşil bilgi işlem, çevreye duyarlı bilgi ve iletişim teknolojilerinin incelenmesine olanak tanımaktadır.

Derin öğrenme, eğitim algoritmalarının genellikle maliyetli ve güce aç olduğu kabul edildiğinden, karbon etkisi ele alınmaya başlanmıştır (Wang et al., 2018). Buna eşlik eden enerji tüketimi ve maliyeti, makine öğrenimi modellerinin son yıllarda gördüğü katlanarak büyümenin bir sonucu olarak artan önemli bir sorun olmuştur. Bazı algoritmalar binlerce çekirdek-saat eğitim süresine ihtiyaç duymaktadır (Ho et al., 2021). Doğal dil işleme (NLP) alanında Strubell ve meslektaşları, çeviri motorlarını oluşturma ve eğitme sürecinin 0,6 ila 280 ton karbondioksit üretebileceğini keşfetmişlerdir (Strubell et al., 2019). Tüm NLP algoritmaları düzenli olarak yeniden eğitime ihtiyaç duymazken, diğer alanlardaki algoritmalar genellikle günlük veya haftalık olarak çalıştırılmakta ve bu da talep ettikleri enerji miktarını önemli ölçüde arttırmaktadır (Sagheb et al., 2021). Astronominin veri analizi için büyük ölçüde süper bilgisayarlara bağlı olması gerçeğinin bir sonucu olarak, bazı araştırmacılar alanın çevre üzerindeki genel etkisine bakmaya başlamışlardır. Örneğin, Avustralyalı astronomlar tarafından süper bilgisayar kullanımının her yıl 15 kiloton CO2 ürettiği hesaplanmıştır ki bu da (Stalker et al., 2020), her araştırmacı için 22 ton CO2 üretimine eşdeğerdir. Son birkaç yılda, yalnızca kripto para birimleri değil, aynı zamanda bunlarla ilişkili sözde "maden çiftliklerinin" de çevresel etkilerinin büyük ölçüde arttığını göstermektedir. Çeşitli araştırmalar, kripto para birimlerinin sürdürülebilirliği konusunda şüphe duymaktadır (Suciu et al., 2019). 2018'de yapılan bir araştırma, Bitcoin'in yıllık enerji tüketiminin 46 TWh olduğunu ve bunun sonucunda 22 Mt CO2'nin çevreye salındığını tahmin etmişlerdir. Bitcoin'in Mart 2021'e kadar 130 TWh enerji kullanacağı tahmin ediliyor. Bitcoin bir ülke olsaydı (Masanet et al., 2019), bu enerji tüketimini hem Arjantin hem de Ukrayna'nın önünde dünyanın en yüksek 28. konumuna yerleştirirdi. Kripto para madenciliği, normal CPU'lar yerine özel donanım (uygulamaya özel entegre devreler) kullansa da bu nedenle bilimsel bilgi işleme doğrudan rekabet etmemektedir. Koşullar ne olursa olsun, karbon etkisinin boyutunun ele alınmasına acil bir ihtiyaç bulunmaktadır. Önceki araştırmalar, bilgi işlemin neden olduğu sera gazı (SG) emisyonlarını tahmin etmede bir miktar başarı göstermiştir (Canakci and Akinci, 2006), ancak bunun geniş kapsamlı kullanımını engelleyen kısıtlamaları bulunmaktadır. Kullanıcıların güç tüketimlerini kendilerinin izlemesi gerekmektedir ve donanım (GPU'lar ve/veya bulut sistemleri gibi) (Faber, 2021), yazılım (Python paket entegrasyonu gibi) ve uygulamalarla ilgili kısıtlamalar vardır. Bu sınırlamalar arasında, kullanıcıların kendi güç tüketimlerini (ör. makine öğrenimi) kendilerinin izlemesi gerekliliği yer almaktadır (Wohlstadter et al., 2019). Herhangi bir bilgisayar işine uygulanabilecek karbon emisyonlarını tahmin etmek için hem geniş hem de kullanımı kolay bir yaklaşıma yönelik bariz bir ihtiyaç bulunmaktadır ve bunun acil olduğu iddia edilebilmektedir. Bu, yeşil bilgi işlemin uygulanmasını kolaylaştıracak ve daha geniş kullanıcıların bunu benimsemesini teşvik edeceği düşünülmektedir.

Karbon ayak izini ölçmek, insan faaliyetlerinin çevre üzerindeki etkisini anlamak için çok önemlidir. Karbon ayak izi, bir ürünün, hizmetin veya faaliyetin yaşam döngüsü boyunca üretilen toplam sera gazı emisyonu miktarı olarak tanımlanmaktadır. Karbon ayak izi, hammaddelerin çıkarılması, üretimi, nakliyesi ve bertarafı sırasında oluşan emisyonlar ile ürün veya hizmetin kullanımı sırasında oluşan emisyonlar dikkate alınarak hesaplanmaktadır.

Şu anda, karbon ayak izini ölçmek için birkaç yöntem bulunmaktadır, ancak hepsinin belli sınırları vardır. Örneğin, bazı yöntemler, güvenilir ve tutarsız olabilirken, ayrıca kişinin kendi beyan ettiği verilere dayanmaktadır. Diğer yöntemler, ölçümlerde yanlışlıklara yol açabilecek tahminlere ve varsayımlara dayanmaktadır. Ek olarak, mevcut yöntemler zaman alıcı ve pahalı olabilmekte, bu da işletmelerin ve kuruluşların karbon ayak izlerini düzenli olarak ölçmelerini zorlaştırabilmektedir. Sonuç olarak, "yeşil algoritma" kavramının geldiği nokta itibariyle karbon ayak izini ölçmek için daha doğru, verimli ve uygun maliyetli yöntemlere ihtiyaç bulunmaktadır.

Yeşil algoritmalar, ulaşım, üretim ve tarım dahil olmak üzere çeşitli endüstrilerde çok sayıda potansiyel uygulamaya sahiptir (Rousseau, 2008). Ulaşım endüstrisinde, malların ve insanların hareketini optimize etmek, enerji tüketimini ve karbon emisyonlarını azaltmak için yeşil algoritmalar kullanılmaktadır (Lannelongue et al., 2021).

Örneğin, teslimat araçlarının rotasını optimize etmek, kat edilen mesafeyi ve gereken araç sayısını azaltmak için yeşil algoritmalar kullanılmaktadır. Benzer şekilde, trafik akışını optimize etmek (Dabaghi, 2022), trafik sıkışıklığını azaltmak ve yakıt verimliliğini artırmak için yeşil algoritmalar kullanılabilir. Bu optimizasyonlar, şirketler için maliyet tasarruflarının yanı sıra karbon emisyonlarında önemli düşüşler sağlamaktadır.

Üretim endüstrisinde, üretim süreçlerini optimize etmek ve enerji tüketimini azaltmak için yeşil algoritmalar kullanılmaktadır (Ma et al., 2020). Yeşil algoritmalar, enerji kullanım modellerini analiz ederek, yoğun olmayan saatlerde enerji yoğun ekipman kullanımını azaltmak veya doğal ışık kaynaklarının kullanımını optimize etmek gibi enerjinin korunabileceği alanları belirleyebilmektedirler (Wu et al., 2014). Benzer şekilde, hammadde kullanımını optimize etmek, israfı azaltmak ve kaynakları korumak için yeşil algoritmalar kullanılmaktadır (Wang et al., 2020). Üretim şirketleri, bu optimizasyonları uygulayarak karbon ayak izlerini azaltırken aynı zamanda kârlılıklarını da iyileştirmektedirler.

Bu yazıda hem basit hem de geniş çapta uygulanabilir hesaplamaların geride bıraktığı karbon ayak izi miktarını hesaplamak için bir teknik sunmaktayız. Bu yaklaşım, doğruluk ve uygulanabilirlik arasında bir denge sağlarken, işlemciler ve bellek gibi birçok enerji tüketimi kaynağını dikkate almaktadır. Bu yaklaşım, www.green-algorithms.org adresinde bulunan çevrimiçi hesaplama uygulamasında bulunmaktadır. Bu çalışma, yeşil algoritma tekniğinin uygulanabilirliğini göstermektedir. Bu çalışmanın literatüre katkısı, en popüler iki farklı işlemci firmasının, 30 farklı işlemcisinin karbon ayak izini ölçmek, yeşil algoritma kavramı hakkında detaylı ve açıklayıcı bilgi sunmaktır.

2. YÖNTEM

“Yeşil algoritma” kavramı, karbon emisyonlarını doğru bir şekilde ölçmek ve izlemek için makine öğrenimi ve yapay zeka tekniklerinin kullanılmasını içermektedir (Li, 2021). Yeşil algoritmalar, karbon emisyonlarını tahmin eden modeller geliştirmek için enerji tüketim modelleri, ulaşım yolları ve üretim süreçleri gibi büyük veri kümelerini kullanmaktadırlar. Bu modeller daha sonra emisyonları azaltmak ve sürdürülebilirlik uygulamalarını iyileştirmek için öneriler oluşturmak için kullanılır.

Bir algoritmanın karbon ayak izi iki faktöre bağlıdır: onu çalıştırmak için gereken enerji ve bu tür bir enerji üretilirken yayılan kirleticiler (Grealey et al., 2022). İlki, kullanılan bilgi işlem kaynaklarına (örneğin, çekirdek sayısı, çalışma süresi ve veri merkezi verimliliği) bağlı iken, ikincisi ise, karbon yoğunluğu olarak adlandırılan, konuma ve kullanılan üretim yöntemlerine (örneğin, nükleer, gaz veya kömür) bağlıdır (Wu and Sun, 2018).

2.1 Algoritma Optimizasyonu

Bir algoritmanın verimliliğini artırmanın, karbon ayak izini azaltmanın dışında bile sayısız faydası bulunmaktadır. Bu nedenle, bunu şiddetle tavsiye ediyor ve algoritma optimizasyonunun yeşil bilgi işleminin en verimli, kolayca fark edilebilen temel faaliyetlerinden biri olduğunu önermekteyiz. Hız bariz bir verimlilik kazancı olsa da algoritma optimizasyonunun bir parçası aynı zamanda bellek küçültmeyi de içermektedir. Bellekten çekilen güç, kullanılan gerçek belleğe değil, esas olarak kullanılabilir belleğe bağlıdır ve kullanılabilir bellek genellikle algoritmanın bir adımı için gereken en yüksek bellektir. Bu adımları optimize ederek, enerji tüketimi kolayca azaltılabilmektedir.

Karbon dengeleme, karbon ayak izini telafi etmenin esnek bir yoludur. Bir kurum veya kullanıcının kendisi, örneğin gelişmekte olan ülkelerde yakıt tasarruflu ocaklara, ormansızlaşmanın azaltılmasına veya hidroelektrik ve rüzgara dayalı enerji santrallerine sponsorluk yaparak CO₂ veya diğer sera gazlarının azaltılmasını doğrudan destekleyebilmektedir. Karbon dengelemenin artıları ve eksileri, çeşitli mekanizmalar, karmaşık uluslararası mevzuatlar ve rekabet eden standartlar nedeniyle hala tartışılmaktadır. Bu nedenle, burada yalnızca bir genel bakışı sunulmaktadır.

Köklü standartların çoğu kar amacı gütmeyen kuruluşlar tarafından yönetilmekte ve Kyoto protokolü ve İngiliz Standartlar Enstitüsü'nün PAS 2060 Karbon Tarafsızlığı standardı tarafından belirlenen mekanizmalara uymaktadırlar. En popüler standartlar arasında Altın Standardı, Verra ve Amerikan Karbon Tescili bulunmaktadır. Bu standartlarla doğrudan bağlantıya ek olarak, Karbon Ayak İzi gibi platformlar sertifikalı projeleri seçmekte ve kredilerin satın alımını kolaylaştırmaktadırlar.

Bir pragmatik ölçeklendirme faktörü (PÖF) kullanarak, örneğin parametre ayarlama ve deneme-yanılma gibi belirli bir görev için tekrarlanan hesaplamaların ampirik tahminlerine izin vererek modelimizin geliştirilmesi planlanmıştır. Ortaya çıkan sera gazı, ağaçların tuttuğu karbon miktarı, araba kullanmak ve uçak yolculuğu gibi yaygın faaliyetlerin emisyonları ile karşılaştırılabilir. Yaklaşımımızı uygulayan ve kullanıcıların hesaplamalarını değerlendirmelerine veya karbon tasarruflarını veya bunları başka mimarilerde yeniden konuşlandırmanın maliyetlerini tahmin etmelerine olanak tanıyan, ücretsiz olarak kullanılabilen bir çevrimiçi araç olan “Green Algorithm” (www.greenalgorithm.org) sitesi üzerinde son dönemin popüler işlemcilerinin ortaya çıkardığı karbon ayak izi değerleri tespit edilmiştir.

Tablo 1. Seçilmiş olan işlemciler ve ortaya çıkan karbon ayak izi değerleri

İşlemci	Çekirdek Sayısı	Ram	Güç Merkezi	Çalışma Süresi	Karbon Ayak izi
Intel i3 10100	4	32	CPU	12	171,83 gCO ₂ e
Intel i3 10300	4	32	CPU	12	164,70
Intel i3 10320	4	32	CPU	12	229,76
Intel i3 9100	4	32	CPU	12	171,83
Intel i5 10400	4	32	CPU	12	122,81
Intel i5 10600	4	32	CPU	12	167,37
Intel i5 3570K	4	32	CPU	12	198,56
Intel i5 4460	4	32	CPU	12	213,71
Intel i7 10700	4	32	CPU	12	98,75
Intel i5 10700K	4	32	CPU	12	165,59
Intel i5 4930K	4	32	CPU	12	219,95
Intel i5 6700K	4	32	CPU	12	238,67
Intel i5 8700K	4	32	CPU	12	167,37
Intel i5 9700K	4	32	CPU	12	132,61
Intel i9 10900K	4	32	CPU	12	137,96
Intel i9 10900KF	4	32	CPU	12	120,14
Intel i9 10900XE	4	32	CPU	12	173,61
Intel i9 10920XE	4	32	CPU	12	149,55
Intel i9 12900K	4	32	CPU	12	96,07
Intel i9 9900K	4	32	CPU	12	132,61
Ryzen 3 2200G	4	32	CPU	12	171,83
Ryzen 3 3200U	4	32	CPU	12	93,40
Ryzen 5 1600	4	32	CPU	12	122,81
Ryzen 5 3400G	4	32	CPU	12	171,83
Ryzen 5 3500U	4	32	CPU	12	60,42
Ryzen 5 3600X	4	32	CPU	12	167,37
Ryzen 7 2700X	4	32	CPU	12	143,31
Ryzen 7 3700X	4	32	CPU	12	98,75
Ryzen 9 3900X	4	32	CPU	12	119,25
Ryzen 9 3950X	4	32	CPU	12	85,38

Bu çalışmada toplamda 30 farklı işlemci modeli kullanılmıştır. Bu modellerden 10 tanesi AMD firmasına ait iken, geriye kalan 20 tanesi ise Intel firması tarafından üretilmiştir. AMD firması tarafından üretilen işlemcilerin karbon ayak izi ortalaması 123,43 olarak tespit edilmiştir. Elde edilen sonuçlar, Tablo 1’de gösterilmektedir. Intel firması tarafından üretilen işlemcilerin ortalama karbon ayak izi ise 163,67 olarak bulunmuştur. Elde edilen karbon ayak izi değerlerinde, güç merkezi olarak “CPU” yani işlemci kullanılmış, çekirdek sayıları 4, ram miktarı 32gb ve sistemlerin çalışma süreleri 12 saat olarak baz alınmıştır.

3. TARTIŞMA

Burada sunulan uygulama çıktısı ve Yeşil Algoritma aracı, kullanıcılara hesaplamalarının karbon ayak izini tahmin etmeleri için pratik bir yol sağlamaktadır. Yöntem, çalışmalarının ayak izini ölçmek isteyen bilim adamları için küçük ek maliyetlerle mantıklı tahminler üretmeye odaklanmaktadır. Sonuç olarak, çevrimiçi hesap makinesinin kullanımı basittir ve neredeyse tüm hesaplama görevlerine göre genelleştirilebilmektedir.

Çalışmamız, hesaplamanın karbon ayak izini tahmin etmek için önceki çerçevelere önemli ölçüde katkılar sağlayacağı düşünülmektedir. Özellikle, çekirdek kullanımı ve üniter güç tüketimi (çekirdek başına veya GB başına bellek) gibi önceden net olmayan faktörler analiz sonuçları eklenmiştir. Sonuç olarak, bir algoritmanın karbon ayak izi, çekirdek sayısı, bellek boyutu ve kullanım faktörü gibi az sayıda anahtar değişken, kolayca ölçülebilir öğelere bölünebilir. Bu, donanımın güç çekişini manuel olarak ölçmesi veya hesaplamaları için sınırlı sayıda bulut sağlayıcısı kullanması gerekmeyen kullanıcının üzerindeki yükü azaltacaktır. Veri merkezlerinin büyüyen sera gazı emisyonu sorununa dikkat çekmenin yanı sıra, ayrıntılı bir açık metodoloji ve araç sunmanın faydalarından biri de kullanıcılara karbon ayak izlerini azaltmak için ihtiyaç duydukları bilgileri sağlamaktır. Yeşil bilgi işlemdeki belki de en önemli zorluk, sera gazı emisyonlarının tahminini ve raporlamasını standart bir uygulama haline getirmektir. Bu, Yeşil Algoritmalar hesaplayıcısı (www.green-algorithms.org) gibi şeffaf ve kullanımı kolay bir metodoloji gerektirmektedir.

Yaklaşımımızın birtakım sınırlamaları vardır. İlk olarak, tahmin edilen karbon ayak izi, belirli bir görev sırasında bilgisayarlara güç vermek için salınan sera gazlarıyla sınırlıdır. Bir yaşam döngüsü değerlendirmesi yapılmamıştır ve bu nedenle, kullanılan donanımın üretiminin, bakımının ve atılmasının veya enerji santrallerinin bakımının tüm çevresel ve sosyal etkisi dikkate alınmamıştır. Bunları dahil etmek, uygulama noktasında pratik değildir ve yöntemi kimlerin kullanabileceğini büyük ölçüde azaltmamaktadır. Ayrıca, çeşitli sera gazı etkilerinin CO2'ye dönüştürülmesi genellikle 100 yıllık bir zaman sürecine ihtiyaç duymaktadır; ancak, metan gibi kısa ömürlü iklim kirleticilerinin etkisini yanlış yansıtabileceği ve gelecekte yeni standartlara ihtiyaç duyulabileceği için bu konu şuan bilim adamları tarafından tartışılmaktadır. Bir hesaplama ölçeğinde depolamadan gelen güç tüketimi genellikle minimum düzeydeyken, eğer merkezi depolama sürekli olarak algoritma tarafından sorgulanıyorsa, bu güç çekişinde önemli bir faktör olabilmektedir; ancak, algoritma büyük ölçüde depolamaya bağımlı olacak şekilde tasarlanmışsa kullanılacak kaynaklara da aynı oranda ihtiyaç duyulmaktadır. Ayrıca, veri merkezi ölçeğinde depolama, elektrik kullanımının önemli bir bölümünü temsil etmektedir ve büyük veri tabanlarına dayanan araştırma projeleri, depolamanın uzun vadeli karbon ayak izini ayrıca takip etmektedirler.

4. GELECEK ARAŞTIRMALAR VE UYGULAMA ALANLARI

Yeşil algoritmalar, karbon emisyonlarını doğru bir şekilde ölçmek ve azaltmak için büyük umut vaat etse de hala ele alınması gereken birkaç zorluk bulunmaktadır. En büyük zorluklardan biri, verilerin kullanılabilirliği ve kalitesidir. Doğru modeller geliştirmek için yeşil algoritmalar, bazı endüstrilerde elde edilmesi zor olabilen büyük miktarlarda yüksek kaliteli veri gerektirmektedir. Ek olarak, modellerin doğruluğu, eksik veya tutarsız veriler gibi verilerdeki önyargılardan etkilenebilmektedir.

Diğer bir zorluk da özellikle uzman olmayanlar için modellerin anlaşılmasını ve yorumlanmasını zorlaştırabilen veri karmaşıklığıdır. Bu zorlukları ele almak, yeşil algoritmalar alanında sürekli araştırma ve geliştirme gerektirmektedir.

İleriye baktığımızda, yeşil algoritmaların geleceği için birkaç umut verici yön bulunmaktadır. Potansiyel bir araştırma konusu, yeşil algoritmaların blok zinciri teknolojisi ile entegrasyonudur. Verileri depolamak ve doğrulamak için blok zincir kullanılarak, karbon emisyonlarını ölçmek ve izlemek için daha şeffaf ve güvenilir bir sistem oluşturmak için yeşil algoritmalar kullanılabilir. Diğer bir potansiyel yön, yeşil algoritmaların doğruluğunu ve verimliliğini artırabilen derin öğrenme gibi daha gelişmiş makine öğrenimi tekniklerinin geliştirilmesidir. Yeşil algoritmalar alanı gelişmeye devam ettikçe, karbon emisyonlarını azaltma ve sürdürülebilirliği teşvik etme hedefini daha da ileriye taşıyarak yeni ve yenilikçi uygulamaların ortaya çıkması muhtemeldir.

5. SONUÇ

Burada sunulan çerçeve, neredeyse tüm hesaplamalara göre genelleştirilebilir ve yeşil bilgi işlemin diğer yönleri için bir temel olarak kullanılabilir. Sonuç olarak, "yeşil algoritma" kavramı, karbon emisyonlarını doğru bir şekilde ölçme ve azaltma zorluğuna umut verici bir çözüm sunmaktadır. Makine öğrenimi ve yapay zekanın gücünden yararlanan yeşil algoritmalar, işletmelerin, kuruluşların çevresel etkilerini azaltan ve sürdürülebilirlik uygulamalarını iyileştiren veriye dayalı kararlar almalarına yardımcı olabilmektedir. Verilerin kullanılabilirliği ve kalitesi gibi ele alınması gereken çeşitli zorluklar olsa da yeşil algoritmaların potansiyel faydaları bulunmaktadır.

İleriye bakıldığında, sürdürülebilir uygulamalara olan ihtiyacın artarak devam edeceği öngörülmektedir. Bu nedenle, yeşil algoritmaların geliştirilmesi ve uygulanması giderek daha önemli hale gelmektedir. İşletmeler ve kuruluşlar, enerji kullanımını, nakliyyeyi ve üretim süreçlerini optimize etmek için bu teknolojileri kullanarak karbon ayak izlerini azaltabilir ve kârlılıklarını iyileştirebilir. Bu makalenin yeşil algoritmalar kavramına ışık tutmasını ve bu önemli alanda daha fazla araştırma ve geliştirmeye ilham vermesi amaçlanmıştır.

KAYNAKÇA

Andersson, Ö., & Börjesson, P. (2021). The greenhouse gas emissions of an electrified vehicle combined with renewable fuels: Life cycle assessment and policy implications. *Applied Energy*, 289, 116621.

Ball, P. J. (2021). A review of geothermal technologies and their role in reducing greenhouse gas emissions in the USA. *Journal of Energy Resources Technology-Transactions of the The ASME*, 143(1).

Canakci, M. U. R. A. D., & Akinci, I. (2006). Energy use pattern analyses of greenhouse vegetable production. *Energy*, 31(8-9), 1243-1256.

Dabaghi-Zarandi, F. (2022). Local Traffic-aware Green Algorithm based on Sleep-scheduling in autonomous networks. *Simulation Modelling Practice and Theory*, 114, 102418.

Faber, G. (2021). A framework to estimate emissions from virtual conferences. *International Journal of Environmental Studies*, 78(4), 608-623.

Graves, R. A., Haugo, R. D., Holz, A., Nielsen-Pincus, M., Jones, A., Kellogg, B., ... & Schindel, M. (2020). Potential greenhouse gas reductions from Natural Climate Solutions in Oregon, USA. *PloS one*, 15(4), e0230424.

Grealey, J., Lannelongue, L., Saw, W. Y., Marten, J., Méric, G., Ruiz-Carmona, S., & Inouye, M. (2022). The carbon footprint of bioinformatics. *Molecular biology and evolution*, 39(3), msac034.

Ho, W. K., Tang, B. S., & Wong, S. W. (2021). Predicting property prices with machine learning algorithms. *Journal of Property Research*, 38(1), 48-70.

- Johnson, P. O., Vee, M., & Kiam, T. Data Warehouse Structure System Towards Cam.
- Knepper, R., & Börner, K. (2016). Comparing the consumption of CPU hours with scientific output for the extreme science and engineering discovery environment (XSEDE). *PloS one*, 11(6), e0157628.
- Lannelongue, L., Grealey, J., & Inouye, M. (2021). Green algorithms: quantifying the carbon footprint of computation. *Advanced science*, 8(12), 2100707.
- Lee, L. C., Wang, Y., Yan, Y., & Zuo, J. (2018). Greenhouse gas emissions embodied in the Chinese international trade of computer products. *Sustainability*, 10(5), 1623.
- Li, D. (2021). Green technology innovation path based on blockchain algorithm. *Sustainable Computing: Informatics and Systems*, 31, 100587.
- Maldacena, J. (2021). Comments on magnetic black holes. *Journal of High Energy Physics*, 2021(4), 1-17.
- Masanet, E., Shehabi, A., Lei, N., Vranken, H., Koomey, J., & Malmodin, J. (2019). Implausible projections overestimate near-term Bitcoin CO2 emissions. *Nature Climate Change*, 9(9), 653-654.
- Ma, S., Zhang, Y., Lv, J., Ge, Y., Yang, H., & Li, L. (2020). Big data driven predictive production planning for energy-intensive manufacturing industries. *Energy*, 211, 118320.
- Ncongwane, K. P., Botai, J. O., Sivakumar, V., & Botai, C. M. (2021). A literature review of the impacts of heat stress on human health across Africa. *Sustainability*, 13(9), 5312.
- Rousseau, V. G. (2008). Stochastic Green function algorithm. *Physical Review E*, 77(5), 056705.
- Sagheb, E., Ramazanian, T., Tafti, A. P., Fu, S., Kremers, W. K., Berry, D. J., ... & Kremers, H. M. (2021). Use of natural language processing algorithms to identify common data elements in operative notes for knee arthroplasty. *The Journal of arthroplasty*, 36(3), 922-926.
- Stalker, L., Dewhurst, D., Zhang, Y., Schaub, P., Clennell, B., Suhardiman, Y., ... & Castano, D. (2020). Evaluation of the Petrel Sub-basin as a northern Australia CO2 store: future decarbonisation hub?. *The APPEA Journal*, 60(2), 765-772.
- Stanley, P. L., Rowntree, J. E., Beede, D. K., DeLonge, M. S., & Hamm, M. W. (2018). Impacts of soil carbon sequestration on life cycle greenhouse gas emissions in Midwestern USA beef finishing systems. *Agricultural Systems*, 162, 249-258.
- Strubell, E., Ganesh, A., & McCallum, A. (2019). Energy and policy considerations for deep learning in NLP. *arXiv preprint arXiv:1906.02243*.
- Suciu, G., Sachian, M. A., Vochin, M., Dobrea, M., Beceanu, C., Iosu, R., & Petrache, A. (2019, September). Blockchain applicability using smart power management: Sealedgrid architecture. In *2019 IEEE PES Innovative Smart Grid Technologies Europe (ISGT-Europe)* (pp. 1-5). IEEE.
- Sze, V., Chen, Y. H., Yang, T. J., & Emer, J. S. (2017). Efficient processing of deep neural networks: A tutorial and survey. *Proceedings of the IEEE*, 105(12), 2295-2329.
- Tran, T. T. K., Bateni, S. M., Ki, S. J., & Vosoughifar, H. (2021). A review of neural networks for air temperature forecasting. *Water*, 13(9), 1294.
- Tuckett, R. (2019). Greenhouse gases. In *Encyclopedia of Analytical Science* (pp. 362-372). Elsevier.
- Wang, Y., Liu, H., Wang, D., & Liu, D. (2020). Image processing in fault identification for power equipment based on improved super green algorithm. *Computers & Electrical Engineering*, 87, 106753.
- Wang, W. Y., Li, J., & He, X. (2018, July). Deep reinforcement learning for NLP. In *Proceedings of the 56th Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics: Tutorial Abstracts* (pp. 19-21).

Wohlstadter, M., Shoaib, L., Posey, J., Welsh, J., & Fishman, J. (2016). A Python toolkit for visualizing greenhouse gas emissions at sub-county scales. *Environmental modelling & software*, 83, 237-244.

Wu, C. M., Chang, R. S., & Chan, H. Y. (2014). A green energy-efficient scheduling algorithm using the DVFS technique for cloud datacenters. *Future Generation Computer Systems*, 37, 141-147.

Wu, X., & Sun, Y. (2018). A green scheduling algorithm for flexible job shop with energy-saving measures. *Journal of cleaner production*, 172, 3249-3264.

Zhang, W., & Villarini, G. (2021). Greenhouse gases drove the increasing trends in spring precipitation across the central USA. *Philosophical Transactions of the Royal Society A*, 379(2195), 20190553.