

**Makale Türü/Article Type:** Derleme Makale/Theoretical Article

## BİLGİ TEKNOLOJİLERİNİN ÇEVRESEL YÜZÜ: YEŞİL BİLİŞİM

Faruk DURSUN<sup>1</sup>

### Öz

Teknolojik gelişmeler ışığında ortaya çıkan elektronik cihazlar sosyal hayatta ve iş hayatında yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Çeşitlenen elektronik cihazların yoğun kullanımı beraberinde enerji tüketimini ve e-atık sorununu da getirmektedir. Gerek enerji tüketimi gerek e-atıklar çevre ve doğal olarak insan sağlığı üzerinde olumsuz etkiye sahiptir. Teknolojik cihaz kullanımı ve üretimi sırasında ortaya çıkan sera gazı, üretim atıkları vb. olumsuz süreçler iklim değişiklikleri üzerinde etkili bir neden olurken kullanım ömrü dolan cihazların etkin bir geri dönüşüm sürecine dahil edilememesi de cihazların kullanım ömrü sonunda ortaya çıkan çeşitli elementlerin çevre ve insan sağlığı üzerindeki etkisini arttırmaktadır. Elektronik cihazların tasarımı, üretimi, kullanımı ve geri dönüşüm süreçlerini çevre dostu bir şekilde tasarlayan “yeşil bilişim” teknoloji yoğun kullanım neticesinde ortaya çıkan olumsuzlukları ortadan kaldırmayı amaçlamaktadır. Bu çalışmada yeşil bilişim ve eco etiket uygulamaları incelenirken konu kapsamında eco etiket uygulamalarının yeşil bilişim kavramının sosyal ve ekonomik boyutta karşılığını bulması açısından önemine atıfta bulunulmuştur. Buna ek olarak kişisel ve sektörel elektronik ve elektrikli cihaz alımlarında eco-etiketli ürünlerin tercih edilmesi hatta sektörel bazda kamu ve özel sektör ayrımı gözetilmeksizin alım ihalelerinin teknik şartnamelerine cihazların eco-etiket taşıma zorunluluğu eklenerek sürecin yönetilmesi yararlı olacağı önerilirken, toplumsal bilincin yaygınlaşması için çeşitli faktörlerin kullanılması, atık toplama süreçlerinin teşvik edilmesi, eğlenceli hale getirilmesinin de etkili bir yöntem olacağı öngörülmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Yeşil bilişim, Bilişim sistemleri, Bilgi teknolojisi, E-atık

## ENVIRONMENTAL FACE of INFORMATION TECHNOLOGIES: GREEN COMPUTING

### Abstract

Electronic devices that emerged in the light of technological developments are widely used in social and business life. The intensive use of various electronic devices brings with it energy consumption and e-waste problem. Both energy consumption and e-waste have negative effects on the environment and naturally on human health. Greenhouse gas, production waste, etc., which arise during the use and production of technological devices. While adverse processes are an effective cause on climate changes, the inability to include devices that have expired in an effective recycling process increases the impact of various elements that occur at the end of the life of the devices on the environment and human health. “Green computing”, which designs the design, production, use and recycling processes of electronic devices in an environmentally friendly way, aims to eliminate the negativities that arise as a result of intensive use of technology. In this study, while examining green informatics and eco-label applications, the importance of eco-label applications in terms of finding the social and economic equivalent of the concept of green informatics has been referred to. In addition, it is suggested that eco-labeled products should be preferred in personal and sectoral electronic and electrical device purchases, and it would be beneficial to manage the process by adding the obligation to carry eco-labels to the technical specifications of the procurement tenders, regardless of the sectoral basis, regardless of the public and private sector, while using various factors to spread social awareness. As a result, it draws attention that encouraging waste collection processes and making them fun will be an effective method.

**Key Words:** Green computing, Information systems, Information technology, E-waste

<sup>1</sup> Öğr.Gör.Dr., Sakarya Üniversitesi İşletme Fakültesi, farukdursun@sakarya.edu.tr, Orcid: 0000-0003-1571-1107

**Bu Yavına Atıfta Bulunmak İçin/Cite as:** Dursun, F. (2023). Bilgi Teknolojilerinin Çevresel Yüzü: Yeşil Bilişim. *Düzce Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 13(2), 232-252.

## Giriş

Elektronik teknolojisindeki çeşitlilik yaşantımıza değer katmakla beraber daha önceleri karşılaşılmayan fiziksel ve fiziksel olmayan bazı atıkları, kalıntıları da getirmiştir. Biyolojik olarak parçalanamayan bilgisayar bileşenleri imha teknikleri olmadığı için geri dönüştürülememektedir (Mohabuth, 2022a). Geleneksel veri merkezleri çevredeki karbon ayak izini arttıran fosil yakıtlardan üretilen büyük miktarda elektrik tüketmektedir (Mandal vd., 2022). 2010 yılında dünya elektriğinin %1,5'i bilgisayar merkezleri tarafından tüketilmiştir. Ayrıca 2014 yılında veri merkezlerinin güç tüketimi 42 TWh'yi aşmıştır ve 2020'ye kadar ortaya çıkan CO2 üretimi yıllık 670 milyon metrik tona ulaşması beklenmektedir (Diouani ve Medromi, 2018). Dünyada bilgi ve iletişim cihazlarının kullanımının 2023 yılına kadar 41,6 milyar artacağı öngörüldüğünde cihazları kullanmanın sayısız uygulaması ve faydası olsa da yüksek enerji tüketimi, karbon emisyonu ve diğer elektronik atıklar dahil olmak üzere ciddi çevre sorunlarının potansiyel sayısının ve yoğunluğunun olduğunu göstermektedir (Sarkar ve Gul, 2021). Bilgisayarların, üretimi için yoğun olarak kimyasallar, fosil yakıtlar ve su tüketilmektedir. Ayrıca kullanıma sunulduklarında, yılda yaklaşık 0,1 ton karbondioksit yayan önemli bir karbondioksit emisyonu kaynağıdır (Arya vd., 2020). Enerji üreticilerinden kaynaklanan devasa karbon ayak izi, küresel ısınmayla mücadelede büyük bir sorundur. Karbon salınımını ve enerji tüketimini mümkün olduğunca azaltmak esastır (Mandal vd., 2020).

Küresel endüstriyel aktivitedeki çarpıcı artış, fosil yakıt enerji kaynaklarının kullanımında önemli bir artışa neden olurken, teknolojik ilerleme karbon ayak izini ve dolayısıyla küresel ısınmayı etkilemiştir. Kullanılan elektronik cihazların yüksek enerji tüketimi, yeni bir zorluk yaratmakta ve daha çevre dostu bir teknolojik ekosistem oluşturulması gerekliliğini ortaya çıkarmaktadır (Sharma vd., 2020). Yeşil bilişime olan ihtiyaç zararlı gazların salınması, daha fazla güç ve para kullanılması, e-atık artışı ve uygun olmayan bağımsız bilgisayar imhaları nedeniyle ortaya çıkmıştır (Jain vd., 2017). Yeşil bilişim kavramı 1992 yılında ortaya atılmıştır ve şirketlerin çoğu enerji verimliliğinin göstergesi olan yazıcı, televizyon, buzdolabı, klima vb. elektronik ürünler için enerji yıldızı başlatmıştır (Podder ve Samanta, 2022).

Dar vd., (2015) yeşil bilişimi tamamen geri dönüştürülebilen, çevre dostu ve çevreye uyum sağlayan ikame teknolojiler olarak tanımlamaktadır. Bilgisayarların, sunucuların, monitör, yazıcı, yedekleme araçları, network ve iletişim sistemlerinin çevreye minimum ya da hiç etkisi olmadan tasarlanması, üretilmesi, kullanılması ve elden çıkarılmasını (Murugesan, 2008), bilgisayar teknolojisinin çevre üzerindeki etkisini azaltma olasılıklarının incelenmesini (Fürjes, 2022) ek olarak sürdürülebilirliği korurken çevresel kaynaklarda ve parametrelerde minimum bozulmayla enerjiyi akıllıca ve verimli kullanma disiplini ifade etmektedir (Agarwal vd., 2022; Rahman, 2022; Hernandez, 2019). Bilgi işlem kaynaklarının karbon ayak izinin %2'sine katkıda bulunduğu gerçeğinden yola çıkarak yeşil bilişim, çevre üzerinde minimum etki ile bilgisayarların ilgili sistemleriyle birlikte verimli ve etkili tasarımı, geliştirilmesi, kullanımı ve elden çıkarılmasına odaklanırken, kapsamı tehlikesiz sistemlerin kullanımına kadar enerji verimliliğidir (Mohabuth, 2022b). Muniswamaiah vd. (2020)'e göre yeşil bilişim stratejileri teknolojik cihazların performanslarını etkilemeden cihazların enerji tüketimini azaltmaktadır. Yeşil bilişimin hedefleri, tehlikeli maddelerin kullanımını azaltmak, ürünün kullanım ömrü boyunca enerji verimliliğini en üst düzeye çıkarmak ve kullanılmayan ürünlerin ve fabrika atıklarının geri dönüştürülebilirliğini veya biyolojik olarak

parçalanabilirliğini teşvik etmektir (Jacob ve Pretha, 2012; Reddy ve Suma, 2022). Bu yaklaşım, enerji verimliliği, karbon izleme ve e-atık azaltma üzerindeki olumsuz çevresel etkiyi ve genel maliyetleri düşürürken, şirketlerin ve kullanıcıların yeşil bilişimin tüm faydalarını uygulamalarına izin veren bir açıklamayı karakterize etmekte firmaları ekolojik olarak daha güçlü kılacak uygulamalar ve performanslar günlük olarak oluşturulmakta veya düzenlenmektedir (Sharma ve Singh, 2020). Uygun güç yönetimi, sunucu sanallaştırması, veri merkezleri tasarımı, geri dönüşüm yöntemleri, eko-etiketleme, çevre sürdürülebilirliği tasarımı ve enerji açısından verimli kaynaklar dahil olmak üzere çeşitli alanlarla entegre edilmiştir (Vale vd., 2022).

Murugesan (2008) ve Nandyala ve Kim (2016)'e göre bilgi teknolojilerinin kullanımının çevre üzerindeki etkilerini kapsamlı bir şekilde ele alabilmek için dört adımlı bütünsel bir yaklaşıma ihtiyaç duyulmaktadır.

**Yeşil Kullanım:** Bilgisayarların ve diğer bilgi sistemlerinin enerji tüketiminin azaltılması ve çevreye duyarlı bir şekilde kullanılmasıdır. Bilimsel ve mühendislik uygulamaları için yüksek performanslı çözümler sağlamasına karşın büyük miktarda enerji tüketimi gerçekleştiren üst düzey bilgi işlem sistemleri için güç tüketimini azaltmak kritik bir konu haline gelmiştir (Wang vd., 2013). Bilgi teknolojilerinde enerji verimli çözümlere atıfta bulunmak için yeşil bilişim kavramı kullanılmaktadır (Murtazaev ve Oh, 2011). Patanaik ve Sahoo (2011)'a göre 15 dakika veya daha az süre kullanılmayan monitörlerin otomatik olarak uyku moduna geçmesi, yine 15 dakika veya daha az süre kullanılmayan harddisklerin otomatik uykuya geçmesi ve 30 dakika ya da daha az kullanılmayan bilgisayarın uyku veya bekleme moduna geçmesi buna örnek olarak gösterilmektedir.

**Yeşil İmha:** Eski bilgisayarların yenilenmesi ve yeniden kullanılması ve istenmeyen bilgisayarların ve diğer elektronik ekipmanların geri dönüştürülmesidir. E-atıklar evsel ya da endüstriyel atıklardan kimyasal ve fiziksel olarak farklı olması nedeniyle çevre kirliliği ve insan sağlığı üzerindeki zararlı etkileri önlemek için özel işlem ve geri dönüşüm yöntemleri gerektiren hem değerli hem de tehlikeleri maddeler içermektedir (Robinson, 2009). E-atıkların içerdikleri demir, bakır, alüminyum, altın ve diğer değerli materyal oranı %60'ın üzerindedir (Widmer vd., 2005). E- atıkların düzensiz işlenmesi genellikle yakma, eritme, asit kimyasal banyosu gibi basit teknikler kullanılarak gerçekleştirilmektedir ki bu faaliyetler su ve karasal ekosistemlerinde hatta atmosferde yüksek toksik ağır materyallerin ortaya çıkmasına neden olmaktadır (Fu vd., 2008). E-atıkların etkili geri dönüşümünün imalatta işlenmemiş kaynak kullanımının azalmasına olanak sağlayarak çevre kirliliğinin azalmasına katkıda bulunması ön görülmektedir (Cucchiella vd., 2015). Etkili bir e-atık yönetimi 17 SKA (Birleşmiş Milletler Sürdürülebilir Kalkınma Amaçları) üzerinden 10 tanesi ile doğrudan ilişkilidir. Söz konusu ilişki Şekil 1'de renklendirilmiş olarak gösterilmektedir.



Şekil 1. E-atık Yönetiminin İlişkili Sürdürülebilir Kalkınma Amaçları

Kaynak: Rec (2020)

E-atıkların küresel ölçekte hızla artmasıyla ortaya çıkan etkiler ekonomik, çevresel ve sosyal boyutlarıyla SKA'lara ulaşmada önemli engeller teşkil etmektedir. Başta insan sağlığı ve çevre ile ilgili olan SKA'lara ulaşmada e-atık yönetiminin büyük bir rol oynadığı gerçeği karşımıza çıkmaktadır.

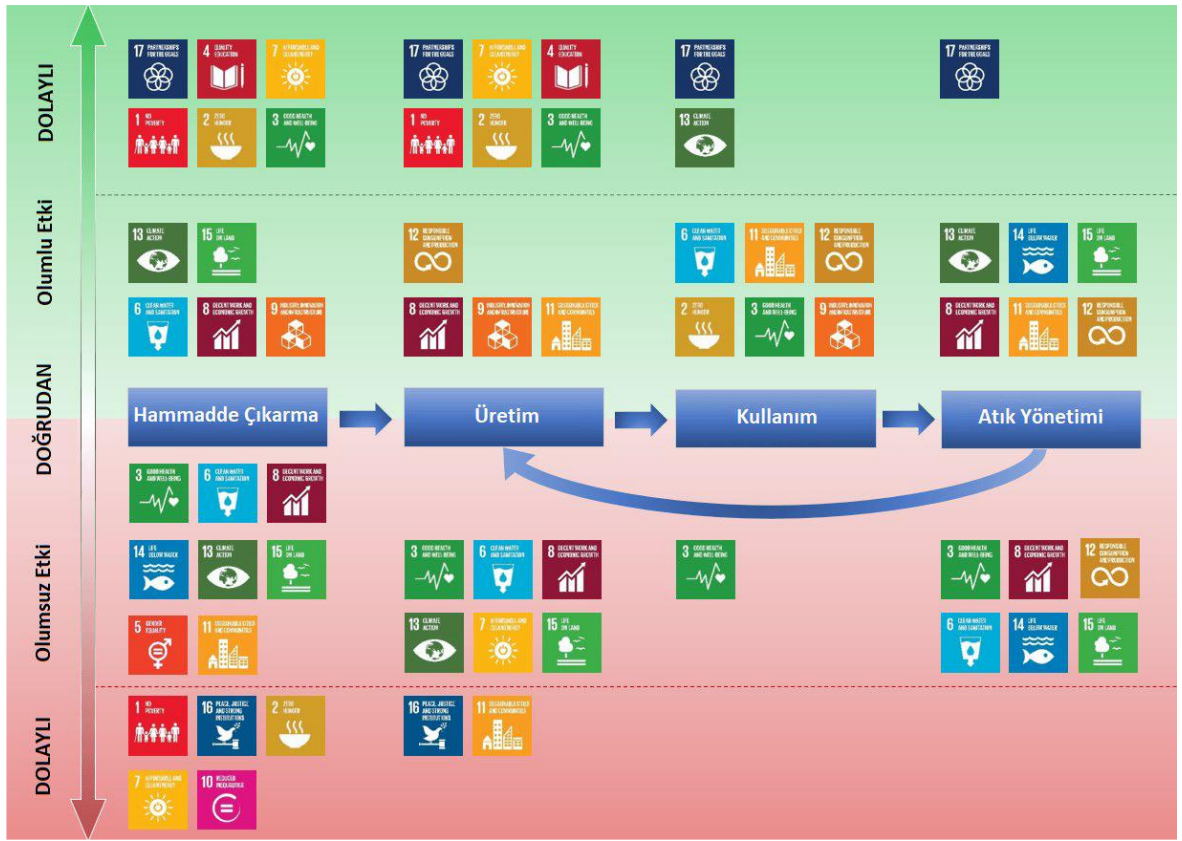
**Yeşil Tasarım:** Bilgisayarlar, sunucular ve soğutma ekipmanlarının yanı sıra enerji verimli ve çevreye duyarlı bileşenler tasarlamaktır. Elektrikli ve elektronik cihazların üretiminden önce tasarım aşamasında yeşil bilişime duyarlı olacak şekilde biçimlendirilmesi sorunun kaynağında çözümü noktasında önemli bir adım olacaktır. Buna karşın elektronik ve elektrikli cihazların sosyal ya da organizasyonel boyutta kullanılmadan önce kullanım amacı ve fonksiyonelliğine göre tasarlanması da yeşil bilişim odaklı bir davranış olarak değerlendirilebilir. Özellikle büyük organizasyonların sunucu kullanım tercihlerinin enerji verimli ve çevreye duyarlı olacak şekilde organize edilmesi sürece olumlu katkılar sağlayacaktır. Sanallaştırma teknolojisi herhangi bir platform için geliştirilen çeşitli yazılımları sanallaştırmanın sağladığı donanım şeffaflığından yararlanmakla birlikte bir veri merkezinin altyapısını daha az ekipman üzerinde birleştirmek ve sonuç olarak enerji tüketimini azaltmak için de tercih edilmektedir (Mukherjee vd., 2009). Sanallaştırma teknolojisinin gelişmesiyle tek bir fiziksel ana bilgisayar aynı anda birden fazla sanal makineyi çalıştırmaktadır. Sanallaştırma teknolojisi yeşil bilişim için önemli fırsatlar sunmaktadır (Chen vd., 2015). Çetin ve Akgün (2015)'e sanallaştırma göre konsolidasyon sayesinde daha çevreci bir veri merkezi ve sunucu ortamı sunmaktadır. Aile ve Sosyal Hizmetler Bakanlığı bünyesinde Sosyal Yardımlaşma Genel Müdürlüğü sanallaştırma projesinin çıktılarını bakıldığında sanallaştırma öncesi ve sonrasında toplam enerji kullanımı dikkat çekici bir oranda azalmıştır. Buna ek olarak kullanılan sunucular, kablolar gibi fiziksel çıktılar olan bilgi teknolojileri ürünlerinin kullanımında da benzer oranda bir düşüş görülmektedir. Projenin öncesi ve sonrası durumu Tablo 1'de görülmektedir.

**Tablo 1.** Sosyal Yardımlaşma Genel Müdürlüğü Sanallaştırma Projesi

	Sanallaştırma Öncesi	Sanallaştırma Sonrası
<b>Kabin Sayısı</b>	10	2
<b>Fiziksel Sunucu Sayısı</b>	40	8
<b>Toplam Network Kablo Sayısı</b>	120	8
<b>Toplam Enerji Kablo Sayısı</b>	20	4
<b>Toplam Enerji Kullanımı</b>	43 KW	13 KW
<b>İşletim Sistemi Kurma Süresi</b>	1-2 Saat	10-15 Dakika

**Kaynak:** Çetin ve Akgün, (2015)

**Yeşil Üretim:** Elektronik bileşenlerin, bilgisayarların ve diğer ilgili alt sistemlerin çevreye en az etkisi olan veya hiçbir etkisi olmayan üretimdir. Akıllı telefonlarla ilişkili sera gazlarının %84'ü üretim sürecinde salınmaktadır (Switzer vd., 2022). Bir elektrikli ve elektronik eşyanın yaşam döngüsü göz önüne alındığında hammadde ediniminden üretime kullanımdan atık yönetimine 17 Birleşmiş Milletler Sürdürülebilir Kalkınma Amaçları üzerinde direkt ve dolaylı olumlu-olumsuz etkiye sahip olduğu görülmektedir (JRC, 2019). Şekil 2'ye göre bir ürünün yaşam döngüsü üretim düğümüne bakıldığında üretim sürecinin sağlıklı ve kaliteli yaşam, temiz su kaynakları, karasal yaşam gibi hayati öneme sahip SKA'lar üzerinde dolaylı ya da doğrudan olumsuz etkilere sahip olduğu gerçeğinden yola çıkarak elektrikli ve elektronikli aletlerin üretiminde yeşil üretim yaklaşımına uygun üretim yapılması SKA'lar üzerinde ortaya çıkan bu etkilerin olumluya evrilmesi noktasında üreticilere bir rehber görevi görecektir.



Şekil 2. Ürün Değer Zinciri Boyunca Sürdürülebilir Kalkınma Amaçlarına Potansiyel Etkiler

Kaynak: JRC (2019)

Ayrıca Karmankar ve Tadse (2021) yeşil bilişimin faydalarını şu şekilde gibi sıralamaktadır:

**Azaltılmış Enerji Kullanımı:** Yeşil bilişim azaltılmış enerji kullanımı ile daha az karbondioksit salınımına yardımcı olmayı amaçlamaktadır.

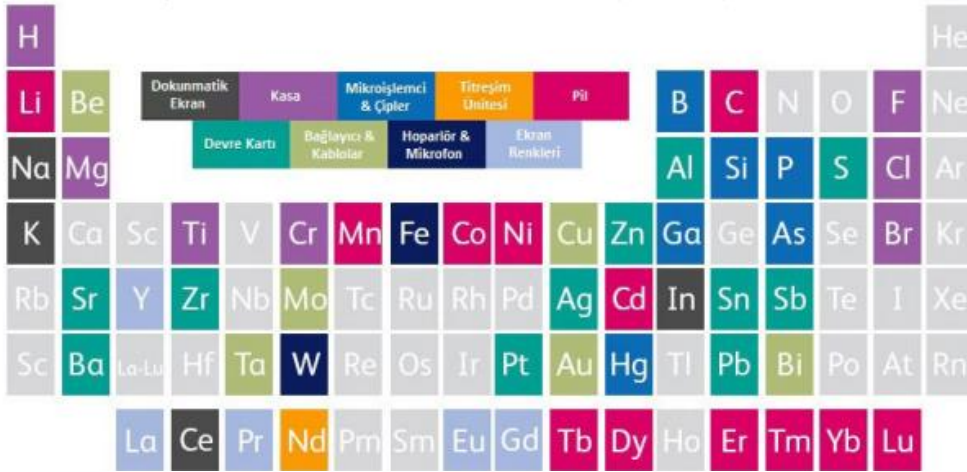
**Kaynakların Daha Verimli Kullanılması:** Isı, ışık, güç gibi enerji kaynaklarının çevre dostu bir şekilde kullanımında yeşil bilişim etkili bir yöntemdir. Bu yöntemle hem yüksek performans hem de enerji tasarrufu sağlayarak yüksek tüketim sorunu hafifletilmeye çalışılmakta buna ek olarak toplam sistem verimliliğini etkin bir şekilde en üst düzeye çıkarılması amaçlanmaktadır (von Laszewki vd., 2009).

**Maliyet Tasarrufu:** Yeşil bilişim ürünlerini kullanmak işletme maliyetlerini düşürmeye yardımcı olmaktadır. Yeşil bilişim ürünlerini kullanarak elektrik tasarrufu yapılabilmektedir. Hızla artan enerji tüketiminin neden olduğu çevresel etkiyi ve enerji krizini azaltmak için Google, Microsoft, Yahoo! ve Apple veri merkezlerini yenilenebilir enerji ile çalışacak şekilde yenilemiştir (Lei vd., 2016).

**Geri Dönüşümü Teşvik Etmek:** Yeşil bilişim özel ve kamu sektörünü e-atıkları geri dönüştürmek ve çevre üzerinde minimum etkisi olan ya da hiç olmadığından emin olunan enerji kaynaklarını kullanmayı teşvik etmektedir.

**Kurumsal ve Sosyal İmajı Destekleme:** İşletmeler yeşil bilişim yaklaşımı ile kuruluş amaçlarını ve sosyal imajlarını desteklemektedir.

Güç tüketimi, karbon üretimi ve enerji verimliliğinin yanı sıra yeşil bilişim, kullanıcıları eğiterek kaynakların bilinçli ve geri dönüştürülebilir kullanımıyla birlikte (Liao vd., 2020). e-atıkların güvenli ve eksiksiz geri dönüşümünü sağlamayı da amaçlamaktadır (Bagla, Trivedi ve Baga, 2022). Elektronik atıklar büyük çevresel sorunlara yol açmaktadır (Kumar, 2022). Elektronik atık (e-atık); bilgisayar, yazıcı, fotokopi makinesi, televizyon, mobil telefonlar ve oyuncakların üretildiği plastik, metal ve diğer materyallerdir (Wong vd., 2007). 2016 yılında 44.7 milyon metrik ton e-atık üretilmiştir ki bu üretim yaklaşık 4500 Eyfel Kulesi'ne karşılık gelmektedir (Baldé vd., 2017). 2019 yılında e-atık üretimi 53,6 milyon metrik ton civarında olup, bunun sadece %17,4'ü uygun şekilde toplanıp geri dönüştürülmüştür. Küresel e-atık tahmininin 2030 yılına kadar 74,7 milyon metrik ton olması beklenmektedir (Rajesh vd., 2022). Küresel e-atık yılda yaklaşık 40 milyon ton büyümektedir. Elektrikli ve elektronik ekipmanların toksik maddeler içermesi nedeniyle e-atık ciddi bir endişe kaynağıdır. Düzensiz depolama veya yakma gibi e-atıkların uygun olmayan şekilde işlenmesi çevreyi kirletmekte ve insan sağlığına zarar vermektedir (Hanne, 2011). Örneğin Rec (2020)'e göre cep telefonlarının farklı parçalarının üretiminde kullanılan 50'den fazla element periyodik cetvel üzerinde Şekil 3'te işaretlenmiştir. Tablo üzerinde işaretlenen elementlerin etkili bir e-atık yönetimi haricinde cihazın kullanım ömrü sonunda geri dönüştürülememesi doğaya karışması kaçınılmaz olacak ve insan sağlığı üzerinde olumsuz etkilere yol açacaktır.



Şekil 3. Cep Telefonunda Kullanılan Elementler

Kaynak: Rec (2020)

Monika ve Kishore (2010) etkin e-atık yönetimiyle dönüştürülemeyen e-atıkların insan sağlığı üzerindeki etkilerini Tablo 2'de göstermiştir.

**Tablo 2.** E-Atıkların İnsan Sağlığı Üzerindeki Etkileri

E-atık kaynakları	Bileşenler	Sağlık üzerinde etkileri
Bilgisayar monitörlerinde baskılı devre kartlarında, cam panellerde ve contalarda lehim	Kurşun	Merkezi ve periferik sinir sistemlerinde, kan sistemlerinde ve böbrek hasarında hasar Çocukların beyin gelişimi üzerindeki olumsuz etkiler; dolaşım sistemine ve böbreklere zarar verir
Çip dirençleri ve yarı iletkenler	Kadmiyum	İnsan sağlığı üzerinde geri dönüşü olmayan toksik etkiler Böbrek ve karaciğerde birikir Sinir hasarına neden olur
Röleler ve anahtarlar ve baskılı devre kartları	Cıva	Beyne kronik hasar Balıklarda biyobirikim nedeniyle solunum ve cilt bozuklukları
Çelik gövde için galvanizli çelik levhalar ve dekoratör veya sertleştirici	Krom	Bronşite neden olur
Kablolama ve bilgisayar muhafazası	Plastik ve PVC	Yanma, üreme ve gelişim sorunlarına neden olan dioksin üretir.
Elektronik ekipman ve devre kartları	Bromlu alev geciktiriciler	Endokrin sistem fonksiyonlarını bozar
CRT'lerin ön panelleri	Baryum, fosfor ve ağır metaller	Kas güçsüzlüğüne ve kalbe, karaciğere ve dalağa zarar verir
Bakır teller, Baskılı devre kartı hatları	Bakır	Mide krampları, mide bulantısı, karaciğer hasarı veya Wilson hastalığı
Nikel-kadmiyum şarj edilebilir piller	Nikel	Cildin nikel alerjisi dermatite, akciğerin nikel alerjisi ise astıma neden olur.
Lityum iyon batarya	Lityum	Lityum anne sütüne geçebilir ve emzirilen bebeğe zarar verebilir Maddenin solunması akciğer ödemeine neden olabilir
Anakart	Berilyum	Kanserojen (akciğer kanseri) Duman ve tozun solunması kronik berilyum hastalığına veya berillikoze neden olur

**Kaynak:** Monika ve Kishore, (2010)

## 1. YEŞİL BİLİŞİMİN GELİŞİMİNE DESTEK OLAN KURULUŞLAR

Yeşil bilişime olan ilgi enerji tasarrufundan yola çıkarak artsa da bugün bütün dünya “yeşil” kavramı üzerinde durmaktadır. Bu kavram bilişim kaynaklarını uluslararası standartlara uygun olarak (Energy Star, ROHS (Restriction of Hazardous Substances) daha çevreci, daha çevre dostu, enerji tasarruflu ve verimli kullanmayı amaçlamaktadır (Pruthviraj ve Kumar, 2022). Bilgisayar montajında ve ekipmanında kullanılan zehirli kimyasallar gıda zincirinde ve suda olumsuz etkiler bırakmaktadır. Ayrıca bilgi teknolojilerinde ortaya çıkan enerji talebi genel enerji talebinden 12 kat daha hızlı büyümektedir. Bu nedenle birçok kuruluş kavramın tanıtılmasında, kullanımının standartlaştırılmasında ve endüstrinin yeşil bilişime yaklaştırılmasında öncülük etmektedir. Bu kuruluşlardan bazıları aşağıda sıralanmaktadır (Ogala vd., 2022):

**Green Grid:** Green Grid çok uluslu bir IT şirketi ve uzmanları grubu olup bütün dünyadaki veri merkezlerinde ve bilişim ekosistemlerinde enerji verimliliğini arttırmaya çalışmaktadır. APC, HP, Microsoft, Dell, IBM, AMD, EMC, Intel, Oracle, NetApp, Google



(Chou vd., 2012), bu grubun üyeleri arasında yer almaktadır. Veri merkezlerinde ve iş ekosistemlerinde enerji verimliliğini arttırmak için şirketler, devlet ve eğitim kurumlarından oluşan küresel bir konsorsiyumdur. Bu konsorsiyum satıcıya özel ürünler veya çözümler yerine genel veri merkezi enerji verimliliğini arttıracak en iyi uygulamalar, ölçümler ve teknolojiler hakkında endüstri çapında çözüm önerileri sunmaktadır (Ray, 2010). 2010 yılında Green Grid tarafından yapılan araştırmada çoğunluğunun Amerika Birleşik Devletleri'nde yer aldığı 188 veri merkezinde sunucuların ortalama %10'unun hiç kullanılmadığı ve bunun da oluşturduğu enerji israfı ortaya konulmuştur (Orgerie, 2016). Bu nedenle organizasyonun temel amacı, veri merkezi gücünün verimliliğini ölçecek farklı standartların veya metriklerin benimsenmesini teşvik etmek ve oluşturmak için farklı BT sektörlerine yardım etmektir. Bu konsorsiyumun mevcut yönetim kurulu AMD, Dell, APC, HP, IBM, Microsoft, Intel, SprayCool, Rackable Systems, VMware ve Sun Microsystems'dir. Ayrıca 3M, Texas Instrument, Novell, Sungrad ve Platform Computing gibi başka üyeler de bulunmaktadır (Patanaik ve Sahoo, 2011). Green Grid veri merkezlerinde enerji verimliliğine katkı sağlayan standartlar, ölçüm yöntemi, süreçler ve yeni teknolojiler geliştirmeyi ve onaylamayı amaç edinen bir konsorsiyumdur (Taruna vd., 2014). Gil vd, (2012)'ne göre Green Grid konsorsiyumu veri merkezlerine; veri merkezinin operasyonel verimliliğini artırma fırsatlarını, veri merkezinin rakip veri merkezleriyle karşılaştırılmasını, veri merkezlerinin zaman içerisinde tasarımlarını ve süreçlerini iyileştirmesini, ek bilgi teknolojileri ekipmanlarını için enerjiyi yeniden kullanma fırsatları sunması açısından önemlidir.

**US EPA (U.S. Environmental Protection Agency):** Bu ajans insan sağlığını ve doğal çevreyi korumak misyonuna sahip bir devlet kurumudur. Bu kurum ayrıca Energy Star programını oluşturmak için ABD Enerji Bakanlığı ve ABD Çevre Koruma Ajansı ile iş birliği yapmaktadır. Ajans 1992'de gönüllü bir etiketleme programı olan Energy Star'ı başlatmıştır. Monitörlerde, iklim kontrol ekipmanlarında ve diğer teknolojilerde enerji verimliliğini tanıtmak ve teşvik etmek için tasarlanmıştır. Bu yaklaşım kapsamında tüketici elektroniği arasında uyku modunun benimsenmesine öncülük etmiştir. Energy Star gibi programlar 1990'ların başından beri var olsa da küresel iklim değişikliği ve enerji krizi ile ilgili son zamanlardaki endişeler yeşil bilişime olan ilginin yeniden artmasına neden olmuştur.

**RoHS (The Restriction of Hazardous Substances):** İnsan sağlığını ve çevreyi korumayı amaçlayan direktif elektrikli ve elektronik ekipman üreticileri, satıcıları, distribütör ve geri dönüşümcüleri üzerinde önemli bir etkiye sahiptir (Stevens ve Goosey, 2009). 13 Şubat 2003 tarihinden itibaren yürürlükte olan direktif elektrikli ve elektronik cihazlarda kurşun, cıva, kadmiyum, altı değerlikli krom, polibromlu bifeniller ve poli bromlu difenil eterler olmak üzere altı toksik maddenin kullanımını sınırlandırmıştır (Taruna vd., 2014). Atık elektronik ve elektrikli ekipmanların yok edilmesi ve geri dönüştürülmesi sırasında çevre sorunlarına neden olan maddeler için bir ikame gerekliliği getirmektedir. RoHS direktiflerine göre; tehlikeli maddelerle ilgili sağlık ve çevreye yönelik risklerin önemli ölçüde azaltılmasını sağlamanın en etkili yolu, elektrikli ve elektronik ekipmanlardaki bu maddelerin güvenli veya daha güvenli malzemelerle değiştirilmesidir. Bu tehlikeli maddelerin kullanımının kısıtlanması, atık elektronik ve elektrikli ekipmanların geri dönüşümünün olanaklarını ve ekonomik karlılığını artırması muhtemeldir (Gutierrez vd., 2008). Bu direktif kurşun, cıva ve kadmiyum gibi insan sağlığına ve çevreye zararlı maddelerin kullanımını kısıtlamaktadır (Yong vd., 2019). RoHS direktifi elektronik ürünlerdeki belirli tehlikeli maddelerin kabul edilebilir değerlerini belirlemektedir (Shrivastava vd., 2005). Üretilen elektrikli ve elektronik ekipman kabul edilebilir seviyelerin üzerinde daha fazla kurşun, kadyum, cıva, gibi

materyaller içermesi durumunda söz konusu cihazların Avrupa Birliği pazarına sunulmasına onay verilmemektedir. Bu oran kurşun, cıva, krom, polibromlu bifeniller, pentabromodifenil eter ve oktabromodifenil eter için %0,1 iken kadyum için %0,01'dir (Murugesan, 2008). TCO Development, CRT tabanlı bilgisayar ekranlarından düşük manyetik ve elektrik emisyonlarını teşvik etmek için TCO Sertifikasyon (The Swedish Confederation of Professional Employees) programını başlatmış; bu program daha sonra enerji tüketimi, ergonomi ve inşaatta tehlikeli madde kullanımı için de genişletilmiştir (Visalakshi vd., 2013).

**The Directive on waste electrical and electronic equipment (WEEE):** Avrupa Parlamentosu 13 Şubat 2003 tarihinde RoHS ile birlikte WEEE'yi de kabul etmiştir. WEEE geri dönüşümü yalnızca atık arıtma açısından değil aynı zamanda değerli malzemelerin de geri kazanımı açısından önemli bir konudur (Gramatyka vd., 2007). Elektrikli ve elektronik ekipman atık direktifi elektrikli ve elektronik ekipmanların israfını önlemeyi amaçlamaktadır. Ayrıca bu tür atıkların yeniden kullanım, geri dönüşüm ve israfını üreticiler, distribütör ve tüketiciler gibi elektrikli ve elektronik ekipmanların yaşam döngüsünde yer alan tüm aktörlerin çevresel performansını iyileştirmeyi öncelemektedir. WEEE direktifleri elektrikli ve elektronik ekipmanları on kategoriye ayırarak amaçlarına ulaşmak için üretici sorumluluğu, hanelerden elektronik ve elektrikli atıkların toplanması, işlenmesi ve tüketicilerin bilgilendirilmesi konularında geniş kapsamlı bilgi taleplerinde bulunmaktadır (Ylä-Mella vd., 2004): Büyük ev aletleri (örneğin buzdolapları), küçük ev aletleri (örneğin kahve makineleri), bilgi teknolojileri ve telekomünikasyon ekipmanı (örneğin bilgisayarlar), tüketici ekipmanı (örneğin radyo ve televizyon setleri), aydınlatma ekipmanı (ör. floresan lambalar), büyük ölçekli sabit endüstriyel aletler hariç elektrikli ve elektronik aletler (örneğin matkaplar ve testereleler), oyuncaklar, eğlence ve spor malzemeleri (ör. video oyunları), tüm implante edilmiş ve enfekte olmuş ürünler (örn. radyoterapi ekipmanı), izleme ve kontrol aletleri (örn. duman dedektörleri), otomatik dağıtıcılar (örneğin sıcak içecekler veya paralar için).

**EPEAT (Electronic Product Environmental Assessment Tool):** EPEAT programı 2000'lerin başında elektronik, sürdürülebilirlik ve hükümetin yeşil tedariki konularına odaklanmak için oluşturulmuştur. Yeşil Elektronik Konseyi (Green Electronics Council) tarafından yönetilen "yeşil" elektronikler için bir çevresel kayıt ve derecelendirme sistemidir. Program, alıcıların, özellikle devlet kurumlarının, EPEAT programındaki derecelendirmesi ve statüsü nedeniyle çevresel olarak tercih edilebilir (veya "daha yeşil") olduğu belirlenen bilgi teknolojisi ekipmanını kolayca bulmasına olanak tanımaktadır (Horn, 2015). 2002 yılında, Çevre Koruma Ajansı (EPA), üst düzey çevre ve enerji yönetimi gereksinimlerine göre üretilmiş ürünler arayan alıcılara rehberlik etmek için EPEAT'i başlatmıştır (Wheeler, 2022). EPEAT (Elektronik Ürün Çevresel Değerlendirme Aracı), üretici ve alıcıların paydaş mutabakatı çerçevesinde kamu ve özel sektördeki kurumsal alıcıların masaüstü bilgisayarları, dizüstü bilgisayarları ve monitörleri çevresel özelliklerine göre değerlendirmesine, karşılaştırmasına ve seçmesine yardımcı olmak için tasarlanmış bir çevresel satın alma aracıdır. Çok paydaşlı bir süreçle tasarlanmış ve geliştirilmiş, yaşam döngüleri boyunca elektronik ürünlerin çevresel performansını değerlendirmek için bir araçtır. Süreç, büyük kurumsal alıcıların daha yeşil ürünler satın alma konusundaki büyük ve artan talebini karşılamak için başlatılmıştır (Omelchuck vd., 2006).

Son kullanıcı bilişimi, sera gazı emisyonlarının %1'ini oluşturması nedeniyle çevre kirliliğine, küresel ısınmaya ve nihai olarak iklim değişikliğine etki etmektedir (Parker, 2022).

Son yıllarda kamu ve özel sektör alıcıları tarafından satın alınan elektronik ürünlerin çevresel etkileri ve bu etkileri azaltmaya yönelik tasarlanmış ürünlere talep artmaktadır. Talep edilen elektronik ürünlerin çevreye yönelik ne tür koruyucu tedbirler olarak üretildiği ve bunun ayrımının nasıl yapılacağı bir sorun oluşturmaktadır. Bir ürünün hangi çevresel yönlerinin değerlendirilmesi gerektiği, nasıl ağırlıklandırılması gerektiği ve bu yönlerin satın alma sürecine nasıl dahil edilebileceği konusunda mevcut eko etiketler ya iyi bilinmemekte ya da sertifikalı ürün yelpazesi büyük alıcılar için çok sınırlı kalmaktadır. Kamu alıcıları ayrıca karmaşık çevresel sorunları değerlendirmek için çevresel uzmanlığa sahip değildir. EPEAT, kurumsal alıcıların çevresel olarak tercih edilebilir elektronik ürünleri belirlemesi ve değerlendirmesi için yeni bir yaklaşımdır (Katz vd., 2005). Üreticilerin beyanlarının doğrulanması sistemin güvenilirliğinin anahtarı olarak değerlendirilmektedir. EPEAT bu yaklaşımı “güven ama doğrula” olarak adlandırmaktadır. EPEAT'in çalışmasının çok güçlü bir yönü, temelde sınırsız olmasıdır. Üreticiler herhangi bir yerdeki ürünlerini kaydedebilmekte ve herhangi bir yerdeki alıcılar web tabanlı kayıttan yararlanabilmektedir. Ayrıca, küresel alıcının EPEAT kullanımı için “giriş engeli” temelde sıfırdır. EPEAT, dünyanın her yerindeki alıcılara ücretsiz olarak sunulmaktadır (Omelchuck vd., 2006).

EPEAT Geliştirme Ekibi “kamu ve özel sektördeki kurumsal alıcıların, çevresel özelliklerine göre masaüstü bilgisayarları, dizüstü bilgisayarları ve monitörleri değerlendirmelerine, karşılaştırmalarına ve seçmelerine yardımcı olmak için tasarlanmış bir çevresel satın alma aracı geliştirmek” misyonuyla hareket ederken söz konusu satın alma aracının; yeniliği boğmadan ve teşvik ederken çevresel performansta sürekli iyileştirmeyi teşvik etmesi; tasarım, tedarik, kullanım ve kullanım ömrü sonu dahil ancak bunlarla sınırlı olmamak üzere elektronik ürünlerin yaşam döngüsünü ele alması; elektronik ürünlerin çevresel özellikleriyle ilgili olarak kurumsal alıcıların satın alma kararlarını bildirmesi; gelişmiş çevresel performansla ulaşan ürün ve hizmetler sağlayan şirketler için pazar avantajı sağlaması; düşük maliyetli, kullanıcı dostu olması ve pazara sunma süresinde minimum gecikmeye neden olması; ilgili paydaşlar tarafından kabul edilen güvenilir, doğrulanabilir sonuçlar üretmesi; kendini sürdürmek için piyasada yeterli değeri sağlamasını amaçlamıştır.

EPEAT, bilgi teknolojileri üreticilerinin çeşitli çevresel performans kriterlerini karşılayan ürünlerinin Yeşil Elektronik Konseyi (Green Electronics Council) tarafından sertifikalandırılmasını sağlayan, dünya çapında tanınan bir eko etiket ve standarttır. Değerlendirme kriterleri;

- 1) madde yönetimi,
- 2) malzeme seçimi,
- 3) kullanım ömrü sonu için tasarım,
- 4) ürün ömrü/yaşam döngüsünün uzatılması,
- 5) enerji tasarrufu,
- 6) kullanım ömrü sonu yönetimi,
- 7) paketleme,
- 8) yaşam döngüsü değerlendirmesi

9) karbon ayak izi olarak sıralanmaktadır. 2018'de 181 milyar EPEAT tescilli bilgi teknolojileri ürününün 68.413 metrik ton tehlikeli atığın bertaraf edilmesini engellediği

tahmin edilmektedir. Ayrıca, aynı yıl EPEAT sertifikalı ürünler daha az enerji tüketerek 38 milyar kWh elektrik tasarrufu sağlarken bu tür BT ürünlerine güç sağlamak için üretilen elektriğin azaltılması da dahil olmak üzere sera gazı emisyonları 19,5 milyon metrik ton azalmıştır (Yeow ve Loo, 2022a). Buna ek olarak EPEAT'e kayıtlı olan bütün bilgisayarlar enerji verimliliği, yükseltme ve geri dönüşüm kolaylığı, kadmiyum, kurşun ve cıva gibi tehlikeli metallerin azaltılmış seviyeleri açısından daha çevrecidir (Yeow vd., 2022b).

Bilgi teknolojileri sektöründe geçerli uluslararası eko etiket olan EPEAT alıcılara, üreticilere, satıcılara çevre dostu elektronik ürünler satın alma ve satma konusunda yardımcı olmaktadır. ABD Çevre Koruma Ajansı'ndan alınan bir hibe kullanılarak kurulan EPEAT Küresel Elektronik Konseyi tarafından yönetilmektedir. Bilgisayarlar ve ekranlar, görüntüleme ekipmanları, cep telefonları, network ekipmanları, fotovoltaik modüller ve inverterler, sunucular ve televizyonlar EPEAT kapsamındaki ürünlerdir ve EPEAT tarafından tescil edilen elektronik ürünler, malzeme seçimi, tedarik zinciri sera gazı (GHG) emisyonlarının azaltılması, döngüsellik için ürün tasarımı, ürün ömrü, enerji tasarrufu ve kullanım ömrü sonu yönetimini içeren çevresel performans kriterlerini karşılamalıdır. EPEAT eko etiketi, teknoloji sektöründen ürün ve hizmetleri kapsayan lider küresel bir eko etikettir. Diğer karşılaştırılabilir eko etiketlerden daha geniş bir üretici yelpazesinden daha fazla ürünü tanımlamaktadır. EPEAT eko etiketi, "Sürekli İzleme" olarak bilinen sürekli bir gözetim süreci aracılığıyla EPEAT tescilli ürünlerin doğruluğunu sağlar. "Sürekli İzleme" faaliyetleri yıl boyunca gerçekleşir ve "Katılımcı Üreticilerin" EPEAT kriterlerine uygunluğu sürekli olarak kanıtlama yeteneklerini test eder. Tüm ürün kategorilerindeki tüm EPEAT tescilli ürünler ve tüm "Katılımcı Üreticiler" "Sürekli İzleme"ye tabidir. Üreticiler, cihazların tasarım ve üretim, enerji kullanımı, geri dönüşüm ve tamir edilebilirlik dahil olmak üzere tüm ürün yaşam döngüsü boyunca etkileri ele alan gerekli ve isteğe bağlı EPEAT kriterlerini karşılama becerisine dayalı olarak ürünleri EPEAT kapsamında kaydetmektedir. Bronz dereceli ürünler, EPEAT'in gerektirdiği tüm kriterleri karşılamaktadır. Gümüş dereceli ürünler EPEAT gerekli kriterlerinin tümünü ve isteğe bağlı kriterlerin en az %50'sini karşılarken, Altın dereceli ürünler gerekli tüm kriterleri ve isteğe bağlı kriterlerin en az %75'ini karşılamaktadır. Tüm EPEAT bilgisayar ve ekran ürünleri, asgari olarak aşağıdaki gerekli kriterleri karşılamalıdır ki bilgisayarlar ve ekranlar kategorisi gerekli kriterler şu şekilde sıralanmaktadır (EPEAT, 2022):

- Avrupa Birliği ROHS Direktifi madde kısıtlamalarına uygunluk,
- Işık kaynaklarına kasıtlı olarak eklenen cıvanın ortadan kaldırılması,
- 25 gramdan büyük plastik parçalarda brom ve klor içeriğinin azaltılması,
- AB Pil Direktifi hükümlerine uygunluk,
- Minimum tüketici sonrası geri dönüştürülmüş plastik,
- ITE'den türetilen tüketici sonrası geri dönüştürülmüş plastik veya biyo-bazlı plastik içeriği,
- Seçici işlem gerektiren malzemelerin ve bileşenlerin tanımlanması,
- Geri dönüşüme uygun plastik parçalar,
- Geri dönüşüm için ayrılabilir plastik parçalar,
- Servis desteği, Harici muhafazanın çıkarılması,
- Yedek parça,

- Pil değiştirme ve bilgi,
- Mevcut Energy Star program gereksinimlerine uygunluk,
- En düşük güç modu sınırı,
- Ürün geri alma hizmetlerinin sağlanması,
- Çıkarılabilir bir şarj edilebilir pil geri alma programının sağlanması,
- Ömür sonu işleme,
- Ambalajda kasıtlı olarak eklenen ağır metallerin ortadan kaldırılması,
- Ambalaj malzemesinde ağartma maddesi olarak elementel klorun eliminasyonu,
- Ayrılabilir ambalaj malzemesi,
- Ambalaj malzemelerinde işaretlenen plastikler,
- Ahşap bazlı fiber ambalajlarda geri dönüştürülmüş içerik,
- Tasarım ve üretim organizasyonları için üçüncü taraf sertifikalı çevre yönetim sistemi,
- Üretici tarafından kurumsal çevresel performans raporlaması,
- Ürünlerdeki ihtilafli minerallere ilişkin kamuyu aydınlatma.

Şirketler ayrıca genel karbon ayak izlerini azaltmak, karbon emisyonu analizlerini açıklamak veya kendileri ve tedarikçileri için yenilenebilir enerji taahhüt etmek için isteğe bağlı puanlar kazanabilirler. Bunlara ek olarak EPEAT alıcıların ve üreticilerin davranış şekillerini etkileyerek EPEAT aracılığıyla satın alınan sürdürülebilir ürünler kapsamında 1.5 Milyar ürün hareketi gerçekleşirken, enerji tasarrufunda 398 milyar megawat/saat tasarruf edilmiş, sera gazı salınımı 220 Milyar metrik ton azalırken, maliyet tasarruflarında 13,1 milyar USD gibi bir rakam ortaya çıkmıştır. EPEAT'in web sitesinde EPEAT üzerine kayıtlı, alınan eko-sertifika ve ürün detaylarının yer aldığı bir panel üzerinde kategorisel olarak ürünler ve detaylarına ulaşılmaktadır.

Dünya'da yeşil bilişimin gelişmesi için atılan bu adımların yanı sıra ülkemizde de yeşil bilişim teknolojilerinin yaygınlaştırılmasının önemi tartışılmaktadır. 1992 yılında iklim değişikliği sorununa karşı küresel bir tepki oluşturmak amacıyla kabul edilen ve 21 Mart 1994 yılında yürürlüğe giren Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesine 24 Mayıs 2004 yılında 189'uncu taraf ülke olarak imza atmıştır. Bu sözleşmenin amacı atmosferde yer alan sera gazı birikimleriyle birlikte iklim üzerinde insan kaynaklı tehlikeleri önleyici düzeyde tedbirler almaktır.

Türkiye'de yeşil bilişim çalışmaları kapsamında değerlendirilecek bir başka gelişme ise 5 Şubat 2009 yılında dahil olunan Kyoto Protokolü'dür. Bu protokol Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi ile aynı amacı taşımaktadır. Türkiye 24 Mayıs 2004 yılında taraf olduğu Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve sözleşmesinden önce 2001 yılında dönemin Başbakanlık genelgesiyle İklim Değişikliği Koordinasyon Kurulu'nu hayata geçirmiştir. Bu kurul iklim değişikliğinin zararlı etkilerinin önlenmesi adına gerekli tedbirlerin alınması, kamu ve özel sektör kurum ve kuruluşları arasında bir koordinasyon ve görev dağılımı sağlayarak yapılacak çalışmaların verimli olabilmesiyle birlikte ülke şartları paralelinde iç ve dış politikalar oluşturulması çalışmaları yürüten ve iklim değişikliği konusuna karar alma yetkisine sahip üst düzey bir mercidir.

12/11/2008 tarihli resmî gazetede yayımlanarak yürürlüğe giren Ozon Tabakasını İncelten Maddelerin Azaltılmasına İlişkin Yönetmelik ozon tabakasına zararlı maddelerin kullanımının kısıtlanması bazılarının da bir takvim çerçevesinden kullanımının azaltılarak nihai noktada kullanımının ortadan kaldırılmasını amaçlamaktadır. Sera Gazı Emisyonlarının Takibi Hakkında Yönetmelik 17/05/2014 tarihinde yürürlüğe girmiştir ve sera gazı emisyonlarının izlenmesini, raporlanmasını ve doğrulanması için gerekli usul ve esasları düzenlemektedir. Ulusal Geri Dönüşüm Stratejisi ve Eylem Planı 2014-2017 Bilim, Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı koordinasyonunda kamu, özel sektör ve sivil toplum kuruluşlarının katılımları ile hazırlanmıştır. Geri dönüşüm kapsamında; geri dönüşüm bilincini oluşturmak, mevzuatların geri dönüşüme uyumlu hale getirilmesi, atıkların etkin geri dönüşümü için altyapı oluşturulması, geri dönüşüm bağlamında finansal destek sağlamak ve atık üretiminin kayıt altına alınarak etkin bir denetim sistemi kurulması odak noktalarında gerekli düzenlemeleri ve tavsiyeleri içermektedir.

Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı tarafından hazırlanan Ulusal Atık Yönetimi ve Eylem Planı (2016-2023) doğal kaynakların ve ekosistemlerin korunup geliştirilmesi ile mevcut ve gelecek nesiller için sağlıklı ve yaşanabilir bir çevre oluşturulmasını sağlamak üzere; sürdürülebilirlik ilkesi çerçevesinde, uluslararası normlar ve ulusal öncelikler gözetilerek, strateji ve mevzuat geliştirme, atıkların kaynağında en aza indirilmesi, sınıflara ayrılması, toplanması, taşınması, geçici depolanması, geri kazanılması, bertaraf edilmesi, yeniden kullanılması, arıtılması, enerjiye dönüştürülmesi ve nihai depolanması konularında politika ve strateji belirleme sorumluluğu üstlenmektedir.

## SONUÇ VE TARTIŞMA

Hayatı kolaylaştıran teknolojik yenilikler daha önce hiç “tanıdık” olmayan sorunları da beraberinde getirmiştir. Bu sorunlar e-atıklar gibi fiziksel özellikler taşıırken karbon ayak izi, küresel ısınma gibi soyut kavramlar olarak karşımıza çıkmaktadır. Adı geçen soyut ve somut kavramların küresel olarak yaşanan çevreyi etkilemekle birlikte insan sağlığı üzerinde de dolaylı ve direkt etkileri bulunmaktadır. Gerekli prosedürlere uymadan üretilen elektronik cihazlar üretim esnasında kullandıkları kimyasallar vb üretim teknikleriyle çeşitli atıklar ortaya çıkarmakta ve bu atıklar da toprağa, suya kısacası doğaya karışmaktadır. Üretimi esnasında çevreyi etkileyen bu cihazlar kullanımları ve kullanım ömrü sonlarında da söz konusu olumsuz etkilerini devam ettirmektedir. Kullanım süreleri boyunca daha hızlı işlemler için daha fazla enerji tüketimleri, ortaya çıkardıkları karbon ayak izi, yaydıkları ışık ve ışınlarla muhataplarına hayatlarını kolaylaştırdıkları kadar zarar da vermektedir. Yazıcılardan yayılan toner tozlarına sürekli maruz kalanlarda akciğer kanseri tespitleri örnek olarak verilebilir. Yine kullanım ömrü sonunda bir geri dönüşüm ve imha planı olmadan doğaya bırakılan her türlü elektronik atığın (e-atık) çevre üzerindeki etkileri de her geçen yıl daha da vahim bir hal almaktadır.

Küresel ısınmanın hızla arttığı, buzulların eridiği, dünyanın dengesinin bozulmaya başladığı, mevsimlerin dahi farklılaştığı bir dünyada insan eliyle ortaya çıkan bu bozulmanın yine insan eliyle düzeltilmesi kaçınılmazdır. Paris Anlaşması 2100 yılına kadar küresel sıcaklıktaki artışı "2°C'nin çok altında" mottosuyla sınırlarken devletleri 1,5°C ulaşmak için teşvik etmektedir. Bu iddialı hedefe ulaşmak için de “ormanlar gibi karbon yutaklarının bir rol oynamasını sağlamak için insan kaynaklı emisyonlar ile dünyanın doğal emme kapasitesi arasında bir denge” çağrısında bulunmaktadır. Bu çağrının gerçekleşmesi için yani küresel ısınmayı 1,5°C'nin altında tutmak için yarım yüzyıl gibi bir sürede sera gazı emisyonlarının

%70-80 oranında azaltılması gerekmekte ve böylece sıfır emisyon hedefine ulaşmanın 2100 yılında mümkün olması planlanmaktadır. Bilgi teknolojilerinin kullanımı son kullanıcı olarak nitelenen kişisel kullanımın yanı sıra, iş hayatında; kamu ve özel sektörde hızla artarak devam etmektedir. “Maddi olmayan” olarak kabul edilen bu teknolojilerin ekoloji üzerindeki etkileri uzun süre göz ardı edilse de son yıllarda “bilgi ve iletişim teknolojileri”nin tasarım ve kullanımı yoluyla çevreye zararının tamamen ortadan kaldırıldığı ya da en aza indirildiği “yeşil bilişim”, “ekolojik bilgi işlem teknolojileri” ortaya çıkmıştır. Bu kavram bir elektronik aygıtın tasarımından başlayarak üretilmesi, pazarlanması, kullanılması ve nihayetinde kullanım ömrü sonu planlamasıyla yeniden dönüştürülmesi, dönüştürülemez halde olanların ise imha edilmesini amaçlamaktadır. Kişisel işlemlerde ve iş hayatında yoğun olarak kullanılan bu aygıtların belirli prosedürler ışığında üretilmesi ve kullanıma sunulması ve uzun vadede karbon ayak izinin ya da diğer bir ifadeyle karbon salınımının kademeli azaltılarak çevre üzerindeki etkilerinin ortadan kaldırılması temelde insan hayatı ve gelecek nesillerin konforu için elzem görünse de bazı çalışmalar haricinde pratikte ne yazık ki “romantik” bir ütopya olarak algılanmaya devam etmekte ve durumun ciddiyeti yeteri kadar kavranmamaktadır. Bu noktada kamu gücünün üreticiler üzerinde denetleme mekanizmasını işleterek yeşil patentli ürünlerin üretilmesini teşvik etmesi, öncelikle kamu kurum ve kuruluşlarında kullanılacak elektronik cihazların satın alınımının söz konusu patentli cihazlar arasından yapılması süreci biraz da kamu gücüyle işletilmesini gerekli kılmaktadır. Yeşil etiketli ürünlerin üretilmesi üreticiler için maliyet kalemlerini arttıran bir süreçtir. Bu noktada da yine kamu gücünün işletmeleri çeşitli avantajlarla desteklemesi motive edici bir politika olacaktır. Düzenli bir atık ve geri dönüşüm sisteminin kurulması, atıl halde olan geri dönüşüm malzemelerinin yeniden ekonomiye kazandırılarak hem ekonomik göstergelerin iyileşmesine yardımcı olacak hem de bu atıkların gelişi güzel çevreye atılması engellenecektir. Kişisel kullanımlar için yeşil etiketli elektronik ürünlerin kullanımı ve geri dönüşümü de teşvik edilmelidir. Yeşil etiketli cihaz satın alımlarında uygulanacak indirimler ya da tamamlayıcı ürünlerin uygun koşullarda sunulması gibi teşvikler örnek olarak verilebilir. Buna ek olarak son kullanıcılar para ödeyerek aldıkları cihazları bedelsiz olarak -her ne kadar kullanılmayacak durumda olsa da- vermek istemeyeceklerdir. Atıl duran bu atıkların geri dönüşüme kazandırılması için kamu ve özel sektör işbirliği ile bir kampanya düzenlenebilir, çeşitli festivallerde bu konunun önemi anlatılarak Finlandiya’da düzenlenen “Cep Telefonu Fırlatma Yarışması” gibi bir etkinlikle renkli hale getirilebilir. 2000 yılından beri bu etkinliğe Sääminki Belediyesi ev sahipliği yapmakta katılımcılar model ve marka fark etmeksizin 200 ile 400 gram ağırlığındaki cep telefonunu en uzağa atmaya çalışmaktadır. Kazananın yeni bir cep telefonu ile ödüllendirildiği bu etkinlikte toplanan telefonlar ise yerel geri dönüşüm tesislerine gönderilmektedir.

Sosyal ya da iş hayatı bağımsız elektrikli ve elektronik cihazlar kullanımlarıyla karbon ayak izi oluşumuna katkıda bulunmakta, karbon salınımı vb gibi çevre üzerinde yıkıcı etkilere neden olmaktadır. Alınacak tedbirler gelecek nesiller için daha yaşanılabilir bir dünyayı inşa etmede kilit rol oynayacaktır. Buradan hareketle sonraki çalışmalara bir fikir oluşturması açısından önerilerde bulunulmuştur. Eğitim sektörünün önemli aktörlerinden öğretmenlerin yeşil bilişim farkındalığı üzerine çalışmalar yapılması nesillerin inşasında önemli rol oynamaları ve öğrenciler üzerinde rol model etkiye sahip olmaları açısından alandaki boşluğa katkıda bulunacağı düşünülmektedir. Çalışma çıktılarına bağlı olarak mesleki gelişimlerine katkıda bulunacak ve olası eksiklikleri tamamlayacak eğitimler düzenlenerek öğretmenlerin öğrencilerine insanlık için hassas bir konu olan yeşil bilişim hakkında nitelikli eğitim vermesi

sağlanması mümkün olacaktır. Çalışma önerisi olarak okul öncesi, ilköğretim ve ortaöğretim kademe öğretmenlerinin araştırma grubu olarak belirlenmesi konu hakkında etkin bir fikir edinilmesi açısından uygun olacaktır. Ayrıca üniversitelerde de bu konu ile ilgili çalışmalar yapılması önerilmektedir. Millî Eğitim Bakanlığı, Yükseköğretim Kurumu, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı başta olmak üzere önemli kurumların çalışmalara öncülük etmesi güçlü veriler elde edilmesi, isabetli tespitlerin yapılması için kolaylık sağlayacaktır. Elektrik elektronik mühendisliği, bilgisayar mühendisliği, makine mühendisliği gibi teknik ve yeşil bilişim üzerinde doğrudan etkiye sahip olan bölümler için ayrı bir parantez açılması ve bu bölümler özelinde elektrikli, elektronik cihazların tasarımından kullanımına ve geri dönüşümüne kadar geçen sürelerin simülasyonlar eşliğinde desteklenmesi olumlu sonuçlar verecektir. Bunlara ek olarak karbon ayak izi, karbon salınımı, kaynakların etkin ve verimli kullanılması noktasında özel sektör ve kamu sektörü çalışanlarının da dahil edildiği geniş kapsamlı bir çalışmayla olası eksikliklerin tespit edilmesi ve giderilmesinin amaçlanması bir başka çalışma boyutu olarak alana katkıda bulunacağı düşünülmektedir. Elektrikli ve elektronik cihaz kullanan bireylere yönelik farkındalık çalışmaları yapılması bir başka öneri olarak düşünülmektedir. Bireylerin farkındalıkları, bilgi eksiklikleri, kararsızlıkları, tereddütleri gibi hususların tespit edilmesi ve çözüm önerileri geliştirilmesi de yapılacak çalışmaların çıktılarından hareketle biçimlendirilmesi uygun olacaktır.

### Kaynakça

- Agarwal, S., Datta, A. & Nath, A. (2022). Determining the impact of green computing in it industry to make eco friendly environment. *Recent Advances in Mathematical Research and Computer Science*, 8(11), 55-62.
- Arya, M.S., Manjare, A., Naik, P. & Sheikh, K.H. (2020). A green computing technique for reducing energy consumption for desktops using proxy downloading. *Information and Communication Technology for Sustainable Development*, 933, 823-831.
- Bagla, K. R., Trivedi, P. & Bagga, T. (2022). Awareness and adoption of green computing in India. *Sustainable Computing: Informatics and System*, 35.
- Baldé, C.P., Forti V., Gray, V., Kuehr, R. & Stegmann, P. (2017). *The Global E-waste Monitor – 2017, Quantities, Flows, and Resources*. Bonn/Geneva/Vienna: United Nations University (UNU). International Telecommunication Union (ITU) & International Solid Waste Association (ISWA) Pub.
- Chen, H., Zhu, X., Guo, H., Zhu, J., Qin, X. & Wu, J. (2015). Towards energy-efficient scheduling for real-time tasks under uncertain cloud computing environment. *Journal of Systems and Software*, 99, 20-35.
- Chou, J., Kim, J. & Rotem, D. (2012). Handbook of energy-aware and green computing. İçinde I. Ahmad & S. Ranka (Eds.), *Energy-saving techniques for disk storage Systems*, (pp. 3-30), New York: Chapman and Hall.
- Cucchiella, F., D'Adamo, I., Koh, S.C.L. & Rosa, P. (2015). Recycling of WEEEs: An economic assessment of present and future e-waste streams. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 51, 263-272.



- Çetin, H. & Akgün, A. (2015). Yeşil bilişim teknolojileri bağlamında sanallaştırılmış ve klasik sistemlerin karşılaştırılması. *Uluslararası Alanya İşletme Fakültesi Dergisi*, 7(2), 131-142.
- Dar, K.S., Asif, S. & Islam, A. (2015). Power management and green computing: an operating system prospective. *Canadian International Journal Social Science Education*, 2,164–183.
- Diouani, S. & Medromi, H. (2018). Green cloud computing: efficient energy-aware and dynamic resources management in data centers. *International Journal of Advanced Computer Science and Applications (IJACSA)*, 9(7), 124–127.
- Epeat (2022). About EPEAT, <https://www.epeat.net/about-epeat> (E.T.: 12.07.2022)
- Fu, J., Zhou, Q., Liu, J., Wang, T., Zhang, Q. & Jiang, G. (2008). High levels of heavy metals in rice (*Oryzasativa L.*) from a typical E-waste recycling area in southeast China and its potential risk to human health. *Chemosphere*, 71(7), 1269-1275.
- Fürjes, L.C. (2022). Performance analysis of low dimensional word embeddings to support green computing. *Production Systems and Information Engineering*, 10(2), 27-36.
- Gil, C.R., Ruiz-Falcó, A. & Martínez, J.M. (2012). Optimization of energy consumption in hpc centers: energy efficiency project of castile and leon supercomputing Center FCSCCL. *In International Conference on Renewable energies and Power Quality*, 28-30 March, Santiago de Compostela (Spain).
- Gramatyka, P., Nowosielski, R. & Sakiewicz, P. (2007). Recycling of waste electrical and electronic equipment. *Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering*, (20), 535-538.
- Barba-Gutierrez, Y., Adenso-Diaz, B. & Hopp, M. (2008). An analysis of some environmental consequences of european electrical and electronic waste regulation. *Resources, Conservation and Recycling*, 52, 481–495.
- Hanne, F.Z. (2011). Green-IT: Why developing countries should care?. *IJCSI International Journal of Computer Science Issues*, 8(4), 424-427.
- Hernandez, A.A. (2019). An empirical investigation on the awareness and practices of higher education students in green information technology: implications for sustainable computing practice, education and policy. *International Journal of Social Ecology and Sustainable Development (IJSESD)* 10(2).
- Horn, D.A. (2015). New EPEAT® standards for computer servers: a review of new green procurement criteria for servers. *2015 IEEE Conference on Technologies for Sustainability (SusTech)*, Ogden, UT, USA
- Jacob, J.S. & Preetha, K.G. (2012). A novel approach for green computing through event-driven power aware pervasive computing. İçinde: Meghanathan, N., Chaki, N.,

- Nagamalai, D. (eds) Lecture Notes of the Institute for Computer Sciences, Social Informatics and Telecommunications Engineering (pp.81-88), Berlin, Heidelberg.
- Jain, R., Chaudhary, S. & Kumar, R. (2017). Green approach for next generation computing: a survey. *International Journal of Advanced Engineering Research and Science (IJAERS)*, 4(1), 78-82.
- JRC, (2019). Mapping the role of raw materials in sustainable development goals, joint researchcenter.  
[https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/bitstream/JRC112892/sustainable\\_development\\_goals\\_report\\_jrc112892.pdf](https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/bitstream/JRC112892/sustainable_development_goals_report_jrc112892.pdf) (E.T.: 31.07.2022)
- Karmankar, P.S. & Tadse, P. (2021). Application of IoT in green computing. *Journal of Emerging Technologies and Innovative Research (JETIR)*, 8(1), 111-114.
- Katz, J., Rifer, W. & Wilson, A.R. (2005). EPEAT: electronic product environmental tool - development of an environmental rating system of electronic products for governmental/institutional procurement. *IEEE International Symposium on Electronics and the Environment*, 2005, New Orleans, LA, USA
- Kumar, S. (2022). Embracing green computing in molecular phylogenetics. *Molecular Biology and Evolution*, 39(3).
- Lei, H., Wang, R., Zhang, T., Liu, Y. & Zha, Y. (2016). A multi-objective co-evolutionary algorithm for energy-efficient scheduling on a green data center. *Computers & Operations Research*, 75, 103-117.
- Liao, Y., Zhang, G. & Chen, H. (2020). Cost-efficient outsourced decryption of attribute-based encryption schemes for both users and cloud server in green cloud computing. *IEEE Access*, 8: 20862-20869.
- Mandal, R., Banerjee, S., Islam, M.B., Chatterjee, P. & Biswas, U. (2022). Intelligent internet of things for healthcare and industry İnde Ghosh. U., Chakraborty, C., Garg, L., Srivastava, G. (eds). QoS and Energy Efficiency Using Green Cloud Computing (pp.287-305), Cham: Springer Pub.
- Mandal, R., Mondal, M.K., Banerjee, S. & Biswas, U. (2020). An approach toward design and development of an energy-aware vm selection policy with improved SLA violation in the domain of green cloud computing. *The Journal of Supercomputing*, 76, 7374-7393.
- Mohabuth, A.Q. (2022a). The practice of green computing for businesses. In: Paul, P.K., Choudhury, A., Biswas, A., Singh, B.K. (eds) Environmental Informatics (pp.31-51). Springer, Singapore.
- Mohabuth, A.Q. (2022b). A framework for the implementation of green computing in universities. *5th International Conference on Energy Conservation and Efficiency (ICECE)*, 16-17 March, Lahore, Pakistan

- Monika, G. & Kishore, J. (2010). E-Waste management: as a challenge to public health in India. *Indian Journal of Community Medicine*. 35(3), 382-385.
- Muniswamaiah, M., Agerwala, T. & Tappert, C.C. (2020). Green computing for Internet of Things. *7th IEEE International Conference on Cyber Security and Cloud Computing (CSCloud)*, 01-03 August, New York.
- Mukherjee, T., Banarjee, A., Varsamopoulos, G., Gupta, S.K.S. & Rungta, S. (2009). Spatio-temporal thermal-aware job scheduling to minimize energy consumption in virtualized heterogeneous data centers. *Computer Networks*, 53(17), 2888-2904.
- Murtazaev, A. & Oh, S. (2011). Sercon: server consolidation algorithm using live migration of virtual machines for green computing. *IETE Technical Review*, 28(3), 212-231.
- Murugesan, S. (2008). Harnessing Green IT: Principles and Practices. *IT Professional*, 24-33.
- Nandyala, C.S. & Kim, H. (2016). Green IoT agriculture and healthcare application (GAHA). *International Journal of Smart Home*, 10(4), 289-300.
- Ogala, E., Akoh, R., O., Ashiru, A. & Agbata, B., C. (2022). Green cloud-based computing architecture with integrated green infrastructure. *East African Scholars Journal of Engineering and Computer Sciences*, 5(1).
- Omelchuck, J., Katz, J., Salazar, V., Elwood H. & Rifer, W. (2006). The implementation of epeat: electronic product environmental assessment tool the implementation of an environmental rating system of electronic products for governmental/institutional procurement. *International Symposium on Electronics and the Environment*, 08-11 May, Scottsdale.
- Orgerie, A.C. (2016). Green computing and sustainability. *Energie et radiosciences - Journées scientifiques URSI France*, Mar 2016, Rennes, France
- Parker, J., S. (2022). Is sufficient carbon footprint information available to make sustainability focused computer procurement strategies meaningful?. *Procedia Computer Science*, 203, 280-289.
- Patanaik, S. & Sahoo, S.P. (2011). Green Computing for Sustainable Development. *International Conference on Informatics for Development 2011 (ICID 2011)*, 26 November – 01 December, Yogyakarta.
- Podder, S.K. & Samanta, D. (2022). Green computing practice in ICT-based methods: innovation in web-based learning and teaching technologies. *International Journal of Web-Based Learning and Teaching Technologies*, 17(4).
- Pruthviraj, B.M. & Kumar, M. (2022). A scrutiny on current trends to future trends in green computing. *International Journal of Research in Engineering and Science (IJRES)*, 10(5), 85-91.

- Rahman, N. (2022). Existing green computing techniques: an insight. In: Agarwal, P., Mittal, M., Ahmed, J., Idrees, S.M. (eds) *Smart Technologies for Energy and Environmental Sustainability. Green Energy and Technology*. Cham: Springer Pub.
- Rajesh, R., Kanakadhurga, D. & Prabakaran, N. (2022). Electronic waste: a critical assessment on the unimaginable growing pollutant, legislations and environmental impacts. *Environmental Challenges*, 7.
- Ray, P.P. (2010). The Green Grid Saga - A Green Initiative to Data Centers: A Review. *Indian Journal of Computer Science and Engineering (IJCSE)*, 1(4), 333-339.
- Rec. (2020). “Dünyada ve Türkiye’de Elektronik Atık Mevcut Durumu Araştırma Raporu. <https://rec.org.tr/wp-content/uploads/2020/06/AtiginOtesinde2020.pdf> (E.T.: 12.07.2022)
- Reddy, K.G. & Suma, S. (2022). Green computing in cloud computing. *International Journal of Research in Engineering and Science (IJRES)*, 10(5), 84-87.
- Robinson, B., H. (2009). E-waste: an assessment of global production and environmental impacts. *Science of the Total Environment*, 408(2), 183-191.
- Sarkar, N.I. & Gul, S. (2021). Green computing and internet of things for smart cities: technologies, challenges, and implementation. In: Balusamy, B., Chilamkurti, N., Kadry, S. (eds) *Green Computing in Smart Cities: Simulation and Techniques. Green Energy and Technology*. Springer, Cham.
- Sharma, H. & Singh, J.B. (2020). The effectual real- time processing using green cloud computing: A Brief Review. *9th International Conference System Modeling and Advancement in Research Trends (SMART)*, 4-5 December, Moradabad.
- Sharma, P.K., Kumar, N. & Park, J.H. (2020). Blockchain technology toward green IoT: opportunities and challenges. *IEEE Network*, 34(4), 263-269.
- Shrivastava, P., O’Connell, S. & Whitley, A. (2005). Handheld x-ray fluorescence: practical application as a screening tool to detect the presence of environmentally-sensitive substances in electronic equipment. *International Symposium on Electronics and the Environment*, 16-19 May, New Orleans.
- Stevens, G.C. & Goosey, M. (2009). Electronic waste management. İçinde R.R. Haster & R.M. Harrison (Eds.), *Materials Used in Manufacturing Electrical and Electronic Products, Issues in Environmental Science and Technology* (pp.40-74), London: RSC Pub.
- Switzer, J., Siu, E., Ramesh, S., Hu, R., Zadorian, E. & Kastner, R. (2022). Renée: New Life for Old Phones. *IEEE Embedded Systems Letters*, 14(3), 135-138.

- Taruna, S., Singh, P. & Joshi, S. (2014). Green computing in developed and developing countries. *International Journal in Foundations of Computer Science & Technology (IJFCST)*, 4(3), 97-102.
- Vale, Z., Gomes, L., Ramos, D. & Faria, P. (2022). Green computing: a realistic evaluation of energy consumption for building load forecasting computation. *J Smart Environ Green Comput*, 2, 34-45.
- Visalakshi, P., Paul, S. & Mandal, M. (2013). Green computing. *International Journal of Modern Engineering Research (IJMER)* 63-69.
- von Laszewski, G., Wang, L., Younge, A., J., He, X. (2009). Power-aware scheduling of virtual machines in DVFS-enabled clusters. *IEEE International Conference on Cluster Computing and Workshops* 31 August-4 September 2009. New Orleans.
- Wang, L., Khan, S., U., Chen, D., Koodziej, J., Ranjan, R., Xu, C. & Zomaya, A. (2013). Energy-aware parallel task scheduling in a cluster. *Future Generation Computer Systems*, 29(7), 1661-1670.
- Wheeler, J. (2022). Expanding worker voice and labor rights in global supply chains: standard setting, verification and traceability. *Global Social Policy*, 22(2), 385–391.
- Widmer, R., Oswald-Krap, H., Khetriwal, D., S., Schnellmann, M. & Böni, H. (2005). Global perspectives on e-waste. *Environmental Impact Assessment Review*, 25(5), 436-458.
- Wong, M.H., Wu, S.C., Deng, W.J., Yu, X.Z., Luo, Q., Leung, A.O.W, Wong, C.S.C., Luxemburg, W.J. & Wong, A.S. (2007). Export of toxic chemicals e A review of the case of uncontrolled electronic-waste recycling. *Environmental Pollution* 149, 131-140.
- Yeow, P.H.P. & Loo, W.H. (2022a). Antecedents of green computer purchase behavior among malaysian consumers from the perspective of rational choice and moral norm factors. *Sustainable Production and Consumption* 32, 550–561.
- Yeow, P.H.P., Lee, Y.L. & Yuen, Y.Y. (2022b). Personal and social norms in responsible computer acquisition. *Marketing Intelligence & Planning*, 40(7), 884-897.
- Ylä-Mella J, Pongrácz E & Keiski R.L. (2004). Recovery of waste electrical and electronic equipment (WEEE) in Finland. In: Pongrácz E (eds) *Waste Minimization and Resources Use Optimization*, Oulu: Oulu University Press.
- Yong, Y.S., Lim, Y.A. & Ilankoon, I.M.S.K. (2019). An analysis of electronic waste management strategies and recycling operations in Malaysia: Challenges and Future Prospects. *Journal of Cleaner Production*, 224, 151-166.