

- ARAŞTIRMA MAKALESİ -

İŞLETMELERİN YEŞİL BİLİŞİM STRATEJİLERİNİN AHP YÖNTEMİ İLE ÖNCELİKLENDİRİLMESİ: BİLİŞİM İŞLETMELERİ ÖRNEĞİ*

Cemalettin Öcal FİDANBOY¹

Öz

Yoğun teknoloji kullanan işletmelerin ve çalışanların çevreye verdikleri zararlar, bilişim teknolojilerindeki gelişmelerle birlikte inanılmaz boyutlara ulaşmıştır. Yeşil bilişim; işletmelerin kullandığı bilişim teknolojilerinin, bilişim kaynaklarının, tasarım ve üretim süreçlerinin, bilgisayar ve diğer teknolojik ürünlerin çevreye ve doğal kaynaklara en az zarar vermesini sağlayan bir teknoloji bilincidir. Bir diğer ifadeyle bu kavram; bilgisayar, yazıcı, monitör, depolama araçları gibi bilişim ürünlerinin çevreye en az tahribat yapacak biçimde daha etkili ve verimli olarak kullanılmasını ifade etmektedir. Dijital çağın işletmelerinin ve çalışanlarının çevreye verdikleri bu tip zararların azaltulabilmesi için, işletme içinde yeşil bilişim bilincinin yerleşmesine imkân sağlayacak yönetim stratejilerine ve bu stratejilerin örgüt politikaları çerçevesinde önceliklendirilerek sistematik bir şekilde yaygınlaştırılmasına ihtiyaç vardır. Özellikle yoğun teknoloji kullanan işletmelerin gelecek öngörülerini yeşil bilişim stratejileri doğrultusunda yapması artık bir zorunluluk haline gelmiş olup, işletmelerin bu stratejileri örgüt bünyesinde uygulaması ve yeşil kalkınmaya yönelik sürdürülebilir politikaları oluşturması gerekmektedir. Araştırmanın temel amacı; günümüz dünyasında bir zorunluluk haline gelen yeşil bilişim kavramına dikkat çekerek, işletmelerin yeşil bilişim stratejilerini nasıl geliştirebileceklerine ve hangi yöntemlerle önceliklendirebileceklerine yönelik örnek bir bakış açısı oluşturmaktır. Bu amaç doğrultusunda yeşil bilim kavramıyla ilgili araştırmalar incelenmiş ve işletmeler için en uygun yeşil bilişim stratejisini Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP) yöntemiyle belirlemeye yönelik bir model oluşturulmuştur. Modeldeki 4 ana kriter; yazılım, donanım, derleyiciler ve veri merkezi olarak belirlenmiştir. Ana kriterler ve her bir ana kriter içindeki alt kriterler temelinde önerilen 5 yönetim stratejisi, çalışan ve akademisyen görüşleriyle önceliklendirilerek, işletmeler için örnek oluşturabilecek bazı bulgulara ulaşılmıştır. Araştırma sonuçlarının ve ortaya koyulan önerilerin; işletmelerin yeşil bilişim stratejileri oluşturmasına, uygulamasına ve yeşil bilişim bilincine katkı sağlayabileceği düşünülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Yeşil Bilişim, AHP, Yönetim Stratejisi, Yeşil Kalkınma.

JEL Kodları: L20, M10, M15.

Başvuru: 01.08.2022

Kabul: 18.09.2022

* Bu makale, 4-5 Temmuz 2022 tarihleri arasında Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi tarafından düzenlenen II. Uluslararası Sosyal Bilimler Konferansı'nda sunulan bildirinin gözden geçirilmiş ve genişletilmiş halidir.

¹ Dr. Öğretim Üyesi, OSTİM Teknik Üniversitesi, İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi., ocal.fidanboy@ostimteknik.edu.tr, Ankara, Türkiye, ORCID No: 0000-0001-8963-0778

PRIORITIZATION OF GREEN COMPUTING STRATEGIES OF BUSINESSES USING AHP METHOD: THE CASE OF IT ENTERPRISES²

Abstract

The damage caused to the environment by enterprises and employees using intensive technology has reached incredible dimensions with the developments in information technologies. Green computing is a technology awareness that ensures that the information technologies, information resources, design and production processes, computers and other technological products used by businesses cause the least harm to the environment and natural resources. In other words, this concept refers to the more effective and efficient use of information products such as computers, printers, monitors, and storage devices in a way that causes minimal damage to the environment. To reduce this type of damage caused by the businesses and employees of the digital age to the environment, there is a need for management strategies that will allow the establishment of green computing awareness within the business and these strategies should be prioritized within the framework of organizational policies and systematically disseminated. It has become a necessity for businesses that use technology intensively to make their future predictions in line with green computing strategies, and businesses need to implement these strategies within the organization and create sustainable policies for green development. The main purpose of the research is to draw attention to the concept of green computing, which has become a necessity in today's world, and to create an exemplary perspective on how businesses can develop their green computing strategies and by what methods they can prioritize. For this purpose, research on the concept of green computing has been examined and a model has been created to determine the most appropriate green computing strategy for businesses with the Analytical Hierarchy Process (AHP) method. The 4 main criteria in the model were determined as software, hardware, compilers, and data center. The 5 management strategies proposed based on the main criteria and the sub-criteria within each main criterion were prioritized with the opinions of employees and academicians, and some findings that could set an example for businesses were reached. It is thought that the results of the research and the suggestions made can contribute to the green computing awareness and the implementation of the green computing strategies of the enterprises.

Keywords: Green Computing, AHP, Management Strategy, Green Development.

JEL Codes: L20, M10, M15.

“Bu çalışma Araştırma ve Yayın Etiğine uygun olarak hazırlanmıştır.”

² The Extended English Summary is located the end of the Article

1. GİRİŞ

İnsanoğlu; hayatını daha konforlu bir hale getirmek amacıyla gerçekleştirdiği endüstriyel devrimler ve teknolojik gelişmeler ile, yaşamak için ihtiyaç duyduğu doğal çevreye büyük zararlar vermiştir. Telafisi oldukça zor olan bu zararlar; küresel ısınma, iklimlerin değişmesi, atmosferin incelmeye, ozonun delinmesi, su kaynaklarının azalması, yangınların artarak ormanların azalması gibi küresel problemlere neden olmuştur. Tüm bu olumsuz etkilerin en aza indirilmesi, ancak bireysel ve toplumsal bilinçlenmeyi sağlamakla ve iş yaşamında çevreye yönelik etkili yönetim stratejileri geliştirmekle mümkündür. Çevresel sorunların öncelikli olarak iklim değişikliği ve küresel ısınmayla ilişkili olduğu dikkate alındığında; bu olumsuz etkilerin azaltılması için özellikle endüstrideki sera gazı salınımlarının kontrol altında tutulması, bu doğrultuda bireysel ve toplumsal önlemlerin alınması, çevre bilincine yönelik eğitimlerin verilmesi, çevre yönetimi standartlarının uygulanması ve karbon ayak izinin izlenmesine yönelik bireysel, sektörel ve toplumsal çalışmaların artırılması gereklidir.

Günümüz iş dünyasında aktif üretim yapan sektörler çevresel sorunlara yeteri kadar hassasiyet göstermemektedir. Bilişim sektörü de yönetim stratejilerinde çevresel duyarlılık açısından önemli iyileştirmeler yapması gereken sektörlerin başında gelmektedir. Bilişim sektöründeki işletmelerin çevre yönetimine yönelik stratejilerini doğru ve yönetsel bir şekilde belirleyememesi, sektör çalışanlarının çevreye karşı duyarsız tutumları ve bilişim teknolojileri kaynaklarının yanlış kullanımı gibi nedenlerle ortaya çıkan sera gazı salınımı sorunu, bu sektörün küresel ısınma tehdidinde olumsuz yönde ve çok yoğun bir şekilde etkide bulunduğunu göstermektedir. Bu hususların ülkemiz için büyük bir tehdit oluşturduğu bilindiği halde, yerel literatürde yeşil bilişim alanında yapılan çalışmaların çok kısıtlı sayıda olması dikkat çekicidir (Önaçan, 2020: 347). Bilişim sektöründe faaliyet gösteren işletmelerin yeryüzündeki toplam karbon ayak izinin çok büyük bir bölümünü oluşturduğu ve bu tehlikenin günümüz dünyasında olağanüstü boyutlara ulaştığı ön plana alındığında; bilişim sektörünü esas alan yeşil bilişim stratejileri bağlamındaki akademik ve uygulamalı çalışmaların artırılmasının gerektiği görülmektedir.

Bu çalışmada; öncelikli olarak literatürde çevre ve bilişim ilişkisini ele alan çalışmalar incelenmiş olup, bilişim sektörünün çevreyle ilişkisi ve enerji tüketimindeki etkileri araştırılmıştır. Ardından literatürde yeşil bilişim (*green computing*) olarak adlandırılan kavram detaylı olarak incelenmiştir. Araştırma kapsamında gerçekleştirilen literatür araştırmaları ve belirlenen kavramsal çerçeve temelinde oluşturulan araştırma modeli esas alınarak bazı yeşil bilişim yönetimi stratejileri (*S1: enerji kullanımını azaltma, S2: altyapı güçlendirme, S3: ürün iyileştirme, S4: bulut bilişim kullanma ve S5: sanallaştırma stratejileri*) önerilmiştir. Bu örnek stratejiler bilişim sektörü çalışanları ve akademisyenlerden oluşan bir grubun görüş ve önerileri doğrultusunda ve Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP) yöntemiyle belirlenen ana kriterlere (*K1: yazılım, K2: donanım, K3: derleyiciler, K4: veri merkezi*) ve alt kriterlere göre önceliklendirilerek analiz edilmiş, elde edilen

bulgular incelenmiş ve bilişim sektöründe yeşil bilişim stratejileri oluşturmaya ve bu stratejileri uygulamaya yönelik tartışmalar yapılmıştır.

1.1. Çevre ve Bilişim Sektörü

Toplum 5.0'a geçişin oldukça yaklaştığı günümüz dünyası için çözüm bekleyen en önemli sorunların başında ekolojik (*çevrebilimsel*) sorunlar gelmektedir. Bu sorunlar aniden ortaya çıkmamış olup, yüzyıllar süren birikimler sonucunda kendisini yoğun bir şekilde hissettirmeye başlamıştır. Genellikle insan faktörü nedeniyle meydana gelen bu sorunların, doğanın kendi kendini yenileme yeteneği sebebiyle önceleri çok fark edilememiş olması ve endüstri devrimlerinin sonuçlarıyla birlikte daha belirgin bir şekilde gündeme gelmesi hiç de şaşırtıcı değildir. Endüstri 4.0 devrimi sonucunda bilişim teknolojileriyle bütünleşik bir şekilde genişleyen sanayileşme, günümüz dünyasını yoğun bir şekilde tehdit eden küresel ısınma ve iklim değişikliği problemlerinin baş aktörü durumundadır. Endüstri 4.0 ile olağanüstü gelişmelere vesile olan bilişim teknolojileri ve bu teknolojiler temelinde yükselen bir endüstri olan bilişim sektörünün etkileriyle, günümüzdeki çevresel problemlerin artık insan yaşamı için çok yüksek bir tehdit haline geldiği rahatlıkla söylenebilmektedir.

Küresel ısınma ve iklim değişikliği, günümüz dünyasının savaşmak zorunda olduğu en önemli çevresel problemlerdendir. Bu iki kavramı gündeme getiren sera gazı salınımı; günümüz iş dünyasında endüstriyel işletmelerin sayısının günden güne artması ve endüstri süreçlerinin çok yaygın olarak kullanılması nedeniyle, normal sınırlarının çok üzerine çıkmıştır (Güngör vd., 2010: 17). Küresel ısınma olayı, sera gazı olarak isimlendirilen gazların insan etkisiyle hızlı bir şekilde yükselmesine bağlı olarak yeryüzünde ve atmosferin alt katmanlarında meydana getirdiği sıcaklık artışı olarak tanımlanmaktadır (Cesur 2014: 18). Karbondioksit, sera gazları arasında sıcaklık artışına en fazla etkisi olan gazdır. Günümüzde sera gazı limitleri fazlasıyla aşılmış olup, bu gazların etkisi artık dünyamız için tehdit edici boyutlara ulaşmıştır.

Dijital çağın en hızlı ilerleyen sektörlerinden birisi olan bilişim sektöründeki sürekli yükseliş eğilimi ve bilişim teknolojilerinin günlük hayatımızın hemen hemen her alanına girmiş olması, bu teknolojilerin çevre için yarattığı tehditleri de kaçınılmaz bir şekilde arttırmaktadır. Bilişim teknolojileri hem enerji tüketimi açısından hem de tüm sektörlerde üretilen enerjinin doğru bir şekilde yönetilmesi açısından oldukça önemli bir yere sahiptir (Önaçan, 2020: 347). Her bir bilişim işletmesi aktif üretimini gerçekleştirirken çok fazla miktarda sera gazı yaymaktadır. Aynı şekilde, evlerimizde veya iş yerlerimizde kullandığımız teknolojilerin birçoğu da yüksek düzeyde sera gazı oluşturmaktan sorumludur.

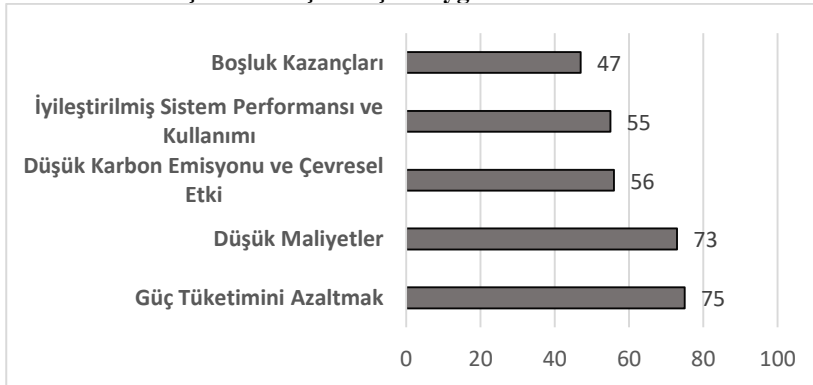
Çevre ve bilişim birbirine sıkı sıkıya bağlı iki konudur. Bilişim sektöründe gerçekleşen olağanüstü gelişmeler; insanlığın birçok problemini gidererek kolaylıklar sağlamakla birlikte, aynı zamanda çevreye yaptığı tahribatlar nedeniyle dünyamızı daha sıkıntılı bir yöne doğru sürüklemektedir. İnsanoğlu, bu sıkıntılı durumdan en az hasarla kurtulabilmek için etkili yeşil bilişim yönetim stratejileri geliştirmek ve geliştirdiği bu stratejileri en kısa zamanda uygulamaya koymak zorundadır.

1.2. Yeşil Bilişim

Bilişim sektöründe üretim yapan işletmeler, dünyamızın geleceği için çok kritik bir önem taşıyan çevresel problemlere çözüm bulma arayışı içerisinde. Bilişim sektöründe *yeşil bilişim* olarak adlandırılan bu yaklaşımla; işletmelerde daha az enerji harcamaya yönelik yöntemler bulmak ve daha az karbondioksit üreten ürünler üreten sistemler tasarlamaya yönelik faaliyetler gerçekleştirilmek amaçlanmaktadır. Yeşil bilişim; bilişim teknolojileri tasarımında, üretiminde ve kullanımında veri merkezlerindeki enerji tüketiminin azaltılması, veri enerji tasarrufu sağlayan döngülerin tasarlanması, merkezi tasarımında yenilenebilir enerji kullanımı ve elektronik atıkların en aza indirilmesi gibi uygulamalarla bilişim teknolojilerinin çevreye verdiği tahribatı en aza indirmek için gerçekleştirilen çabaların toplamıdır (Asadi ve Dahlan, 2017: 1192).

Endüstri 4.0 devrimiyle birlikte gündeme gelen yapay zekâ, bulut bilişim, otonom robotlar, artırılmış gerçeklik, simülasyon, nesnelerin interneti, katmanlı imalat, büyük veri, sanal gerçeklik gibi kavramların yükselişi ile, yeşil bilişim uygulamalarının çok daha önemli bir hale geleceği düşünülmektedir. Yeşil bilişim hareketi; bilişim teknolojilerinden kaynaklanan anahtar çevresel etkinin ne olduğunu, bu anlamda en büyük çevresel konuların nelerden oluştuğunu, bilişim firmalarının teknolojik altyapılarını, ürün, hizmet, operasyon ve uygulamalarını daha az enerji tüketmek amacıyla nasıl düzenlemeleri gerektiğini, çevre yönetimi ile standartlara nasıl uyum sağlanacağını ve çevresel sürekliliği sağlamak için bireylerin ve toplumun ne şekilde hareket etmesi gerektiğini araştıran küresel düzeyde etkili bir harekettir (Murugesan, 2008: 25). Yeşil bilişim uygulamalarının; güç tüketimini azaltmak, düşük maliyetler sağlamak, düşük karbon emisyonu ile düşük çevresel etkiye ulaşmak, iyileştirilmiş sistem performansına sahip olmak ve sistemsel boşluk kazançları sağlamak açısından önemli yararları vardır (Murugesan, 2008: 26). Aşağıdaki şekilde firmaların yeşil bilişim uygulamaları yapmalarının nedenleri ve faydaları verilmiştir:

Şekil 1. Yeşil Bilişim Uygulamalarının Yararları



Kaynak: Murugesan (2008: 26) tarafından yapılan araştırmadan uyarlanmıştır.

Uluslararası literatür incelendiğinde, çevreye ve ekolojik sürdürülebilirliğe olumsuz etkiler yapan bilişim teknolojisi araçlarının üretimi, kullanımı ve elden çıkarılmasına yönelik araştırmaların yapıldığı bilinmektedir. Bu kapsamda gerçekleştirilen yeşil bilişim araştırmaları, genelde teknik iyileştirme faaliyetlerine odaklanmıştır. Örneğin Usvub ve arkadaşları (2017) bulut bilişimde daha az enerji tüketimini sağlayabilecek yeni bir teknik önermişlerdir. Han ve arkadaşları (2018), canlı geçiş yapan sanal makinelerin sayısının azaltılmasının sağladığı enerji tasarrufunu incelemiştir. Kharchenko ve Illiashenko (2017), yeşil bilişim kavramlarını uygulama, sınıflama ve prensipler açısından ele alınmıştır. Sofia ve Kumar (2017), önerdikleri yeşil görev zamanlaması algoritması ile bulut bilişim kaynaklarını en düşük düzeyde çalıştırmayı hedeflemişlerdir. Pahlevan ve arkadaşları (2017), çoklu düzey enerji azaltma tekniklerini kullanarak yeşil veri merkezlerinin yönetimine yönelik uygulama önerileri geliştirmişlerdir. Belkhir ve Elmeligi (2018: 458) tarafından yapılan bir araştırmada bilişim teknolojilerinin küresel karbon ayak izi emisyonlarına etkileri değerlendirilmiş ve 2040 yılına doğru giden süreç için bir değerlendirme yapılmıştır. Bu değerlendirmenin oldukça şaşırtıcı olan sonuçları; 2010 ve 2020 yılları arasında masaüstü ve dizüstü bilgisayarların karbon ayak izine etkileri daha normal bir yükseliş gösterirken, günümüzde çok yoğun olarak kullandığımız akıllı cep telefonlarının etkilerinin olağanüstü seviyelerde arttığını göstermiştir. Bu sonuç; günümüzdeki akıllı cep telefonu üretimi ve kullanım artışı dikkate alındığında, insanlığı gelecekte ne kadar büyük bir problemin beklediğini açık bir şekilde göstermektedir.

Literatürde yeşil bilişimle ilgili teknik çalışmalar çok fazla olduğu halde, bir işletmede yeşil bilişim yönetim stratejilerinin nasıl oluşturulması ve uygulanması gerektiği konusunda çok az çalışma bulunmaktadır. Raja (2021: 1172), bilişim sektöründe yeşil bilişim ve karbon ayak izi yönetiminin hangi stratejilere göre yapılmasına yönelik olarak gerçekleştirdiği araştırmasında yeşil bilişimin sadece çevresel stratejilerle kısıtlanamayacağını, aynı zamanda bu stratejilerin insanların ve toplumun bütüncül olarak gelişimiyle alakalı olduğunu savunmuştur. Reimsbach-Kounatze'a (2009:13) göre işletmeleri yeşil bilişime yönlendirmek hükümetlerin temel işidir ve birçok hükümet bu işi başarıyla sürdürmektedir. Anthony ve Majid (2016: 10); işletmelerin sürdürülebilir yeşil bilişim stratejisi olarak kullanabilecekleri yeşil bilişim modelinin, işletme içinde gerçekleştirilecek çevresel sürdürülebilirlik faaliyetlerini sistematikleştireceğini ve bu modelin bilişim uzmanları tarafından izlenecek yeşil süreçler aracılığıyla işletmeye önemli faydalar sağlayabileceğini göstermiştir.

Enerji tüketiminde küresel düzeyde gerçekleşen artış, ülkeleri yeni enerji kaynakları aramaya veya mevcut enerji tüketimini azaltmaya yönelik yönetim stratejileri geliştirmeye yöneltmektedir. Küresel ısınmanın ortaya çıkmasının en önemli nedeni, enerji kaynaklarının yanlış bir şekilde kullanılması ve enerji tüketimini dengeleyecek tasarruf ve uygulama stratejilerinin belirgin bir şekilde ortaya koyulamamasıdır. Bilişim sektörü, enerji tüketiminin en fazla gerçekleştiği sektörlerden birisi olması nedeniyle, enerji tüketimini azaltmaya yönelik stratejilere en fazla ihtiyaç duyan sektörlerden birisidir. Bu araştırmadaki temel amaç,

işletmelerin yeşil bilişim stratejilerinin belirlenmesi için işletmelere örnek teşkil edebilecek yönetsel ve uygulamaya yönelik bir strateji çerçevesi sunmaktır.

2. YÖNTEM

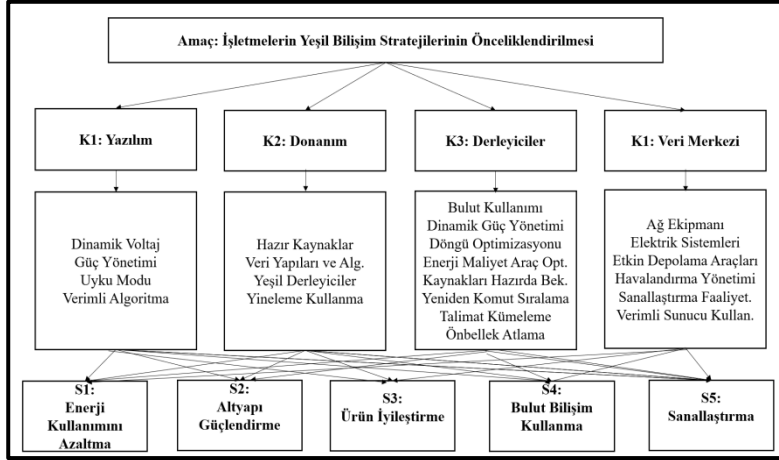
Araştırmada yeşil bilişim stratejilerinin ikili matrisler doğrultusunda önceliklendirilmesi amacıyla AHP yöntemi kullanılmıştır. Araştırma kapsamında 4 ana kriter ve bu kriterlere bağlı 22 alt kriter esas alınmıştır. Ana ve alt kriterler, detaylı literatür araştırmaları sonucunda belirlenmiştir. Bu yöntemle gerçekleştirilen analizlerde bilişim sektöründen ve akademisyenlerden görüş ve öneriler alınmıştır. AHP yöntemi, bilimsel araştırmalarda çok kriterli karar vermeyi sistematik şekilde gerçekleştirebilmek için yaygın bir şekilde kullanılan bir araştırma yöntemidir. Bu yöntemin temel prensipleri; birçok alternatif içinden en uygun seçimin yapılabilmesi amacıyla, karar verici konumundaki uzmanların görüş ve önerileriyle elde edilen verilerin sistematik şekilde oluşturulan ikili süper matrislerle değerlendirilmesi ve temel alınan hedefe ulaşabilmek için değerlendirmeler sırasındaki nicel ve nitel kriterlerin analiz edilmesi üzerine kurgulanmıştır (Saaty ve Vargas, 2001). AHP yöntemiyle gerçekleştirilen analizler; model oluşturma (1), ikili süper matrislerin oluşturulması (2), kriter ağırlığının ve alternatif puanların belirlenmesi (3), tutarlılığın hesaplanması ve kontrol edilmesi (4) ve önceliklendirme sonuçlarının analiz edilmesi (5) aşamalarının uygulanmasıyla gerçekleştirilmiştir. Araştırma kapsamında *Super Decisions* programının 2.10 versiyonu kullanılmıştır. AHP yöntemi ile gerçekleştirilen bu araştırmanın yönetsel detayları ve uygulanan her bir araştırma adımı aşağıda açıklanmıştır.

1. Aşama (Model Oluşturma):

Araştırma kapsamında belirlenen amaç doğrultusunda, AHP programı kullanılarak bir model oluşturulmuştur. Araştırmanın temel amacı, bilişim işletmelerinde yeşil bilişim uygulamalarının en iyi şekilde yapılabilmesi için en uygun stratejinin belirlenmesidir.

Bu amaç doğrultusunda AHP programı ile oluşturulan model aşağıda verilmiştir:

Şekil 2. Araştırmada Uygulanan AHP Modeli



Şekil 2'de görüldüğü gibi, bilişim işletmeleri için en uygun yönetim stratejisinin tanımlanmasına yönelik olarak gerçekleştirilen literatür araştırmaları sonucunda 5 adet yeşil bilişim yönetimi stratejisi belirlenmiştir.

Araştırma kapsamında önerilen stratejiler:

- S1: Enerji Kullanımını Azaltma Stratejisi,
- S2: Altyapı Güçlendirme Stratejisi,
- S3: Ürün (Yazılım/Donanım) İyileştirme Stratejisi,
- S4: Bulut Bilişim Kullanma Stratejisi ve
- S5: Sanallaştırma Stratejisi'dir.

Her bir strateji; dört ana kriter (*K1: Yazılım, K2: Donanım, K3: Derleyiciler, K4: Veri Merkezi Tasarımı*) altında detaylandırılarak, ikili süper matrisler halinde analiz edilebilecek bağlantılar vasıtasıyla alt kriterlerle ilişkilendirilmiştir.

Şekil 2'de verildiği şekilde; *Yazılım* ana kriteri esas alınarak belirlenen alt kriterler; dinamik montaj, güç yönetimi, uyku modu ve verimli algoritma kullanımı alt kriterleridir. *Donanım* ana kriteri için alt kriterler; yeşil derleyiciler kullanma, hazır kaynak kullanımı, veri yapıları ve algoritmaların iyileştirilmesi ve yineleme kullanımı şeklinde tanımlanmıştır.

Derleyiciler ana kriteri kapsamındaki alt kriterler; enerji maliyet araçlarının optimizasyonu, dinamik güç yönetimi, yeniden komut sıralama, döngü optimizasyonu, bulut kullanımı, ön bellek atlama, talimat kümeleme, kaynakları hazırda bekletme olarak tanımlanmıştır. *Veri Merkezi Tasarımı* ana kriteri kapsamında belirlenen alt kriterler ise; ağ ekipmanları, elektrik sistemleri, etkin depolama araçları, havalandırma yönetimi, sanallaştırma faaliyetleri ve verimli sunucu kullanımı alt kriterleridir (John, 2014: 715-717; Harmon ve Auseklis, 2009).

1. Aşama (İkili Süper Matrisler Oluşturma)

Şekil 1’de verilen model oluşturulduktan sonra, AHP programı aracılığıyla ikili süper matris ilişkileri kurulmuştur. Bu matris ilişkileri sırasında; amaç, dört ana kriterle (K1: Yazılım, K2: Donanım, K3: Derleyiciler, K4: Veri Merkezi Tasarımı) ilişkilendirilmiştir. Ardından her bir kriter kendisiyle ilişkili alt kriterlerle ilişkilendirilmiştir. Son olarak ise, her bir ana kriterin ve alt kriterin 5 ayrı yönetim stratejisiyle (S1, S2, S3, S4, S5) süper matris ilişkileri oluşturulmuştur. Bu aşamanın sonunda, oluşturulan modelin uzmanlar tarafından kriter ağırlıkları verilerek incelenmesi için bir temel sağlanmıştır.

Şekil 3’te, bahsedilen bu ilişkileri gösteren bir AHP süper matris uygulama örneği görülmektedir:

Şekil 3. Araştırma Kapsamındaki AHP Süper Matris Örneği

| 1. Choose | 2. Node comparisons with respect to S1:Enerji Kullanımın~ | 3. Results |
|------------------------|--|-----------------------|
| Node Cluster | Graphical Verbal Matrix Questionnaire Direct | Normal Hybrid |
| Choose Node | Comparisons wrt "S1:Enerji Kullanımını Azaltma" node in "Alternatifler" cluster | Inconsistency 0.00000 |
| S1:Enerji Kull- | S1:Enerji Kullanımını Azaltma is equally as important as S2: Altyapı Güçlendirme | S1:Enerji- 0.2000 |
| Cluster: Alternatifler | 1. S1:Enerji Kulla~ >=9.5 9 8 7 6 5 4 3 2 1 2 3 4 5 6 7 8 9 >=9.5 | S2: Altya- 0.2000 |
| Choose Cluster | 2. S1:Enerji Kulla~ >=9.5 9 8 7 6 5 4 3 2 1 2 3 4 5 6 7 8 9 >=9.5 | S3:Ürün (-) 0.2000 |
| Alternatifler | 3. S1:Enerji Kulla~ >=9.5 9 8 7 6 5 4 3 2 1 2 3 4 5 6 7 8 9 >=9.5 | S4: Bulut- 0.2000 |
| | 4. S1:Enerji Kulla~ >=9.5 9 8 7 6 5 4 3 2 1 2 3 4 5 6 7 8 9 >=9.5 | S5: Sanal- 0.2000 |
| | 5. S2: Altyapı Güç~ >=9.5 9 8 7 6 5 4 3 2 1 2 3 4 5 6 7 8 9 >=9.5 | |
| | 6. S2: Altyapı Güç~ >=9.5 9 8 7 6 5 4 3 2 1 2 3 4 5 6 7 8 9 >=9.5 | |
| | 7. S2: Altyapı Güç~ >=9.5 9 8 7 6 5 4 3 2 1 2 3 4 5 6 7 8 9 >=9.5 | |
| | 8. S3:Ürün (H/S) - >=9.5 9 8 7 6 5 4 3 2 1 2 3 4 5 6 7 8 9 >=9.5 | |
| | 9. S3:Ürün (H/S) - >=9.5 9 8 7 6 5 4 3 2 1 2 3 4 5 6 7 8 9 >=9.5 | |
| | 10. S4: Bulut Bilis~ >=9.5 9 8 7 6 5 4 3 2 1 2 3 4 5 6 7 8 9 >=9.5 | |

1. Aşama (Kriter ağırlıklarının ve Alternatif Puanlarının Belirlenmesi)

Araştırmanın üçüncü aşamasında; uzman görüşleri esas alınarak, ikinci aşamada hazırlanan ikili süper matrisler AHP skalasına uygun olarak değerlendirmeye tabi tutulmuştur. Bu aşamada öncelikli olarak her bir ana kriterin kendi aralarında karşılaştırması yapılmıştır. Daha sonra her bir kriter, kendi alt kriterleriyle karşılaştırılmıştır. En sonunda, önerilen her bir strateji temelinde ana ve alt kriterlerin karşılaştırılması sağlanmıştır. Tablo 1’de, karşılaştırma sırasında kullanılan ikili önem derecesi tablosu verilmiştir:

Tablo 1. Kıyaslamalı Önem Derecesi Tablosu

| Derece | Önem Değeri | Açıklama |
|---------|-------------|---|
| 1 | Eşit | Amaca eşit katkı var |
| 3 | Orta | Diğeri biraz daha fazla tercih edilebilir |
| 5 | Güçlü | Diğeri çok daha fazla tercih edilebilir |
| 6 | Çok Güçlü | Diğeri çok güçlü bir şekilde tercih edilebilir |
| 9 | Son Derece | Diğeri son derece güçlü bir şekilde tercih edilebilir |
| 2,4,6,8 | Ara Değer | Uzlaşmayla karar verilir |

Kaynak: Saaty, 1982

1. Aşama (Tutarlılık Hesaplama ve Kontrol Etme)

AHP yöntemiyle gerçekleştirilen bu araştırmada, her bir ikili karşılaştırma sırasında oluşan tutarlılık değerinin kontrol altında tutulmasına ($<0,1$) özellikle dikkat edilmiştir. Tutarlılık değerinin $>0,1$ olduğu durumlarda, tekrar değerlendirme yapılarak bu değer 0,1 değerinin altına çekilmesi sağlanmıştır.

2. Aşama (Önceliklendirme Bulgularının Analizi)

AHP programı ile gerçekleştirilen önceliklendirme ve en uygun yönetim stratejisini belirlemek için yapılan analizler sonucu elde edilen bulgular, araştırmanın üçüncü maddesinde detaylı olarak açıklanmıştır.

3. BULGULAR

Karşılaştırmalı süper matrisler aracılığıyla yapılan analizler sonucunda, araştırma amacı doğrultusunda önerilen her bir strateji için bazı örnek bulgular elde edilmiştir. Araştırma kapsamında önerilen birinci strateji (*enerji kullanımını azaltma*) için elde edilen bulgular Tablo 2’de verilmiştir:

Tablo 2. Enerji Kullanımını Azaltma Stratejisi (S1) İçin Bulgular

| STRATEJİ 1: ENERJİ KULLANIMINI AZALTMA | Öncelik Değeri | Sıralama | Tutarlılık |
|---|----------------|----------|----------------|
| K1: Yazılım | 0,07898 | 4 | 0,00925 |
| <i>Dinamik Voltaj</i> | <i>0,1205</i> | <i>4</i> | <i>0,0266</i> |
| <i>Güç Yönetimi</i> | <i>0,41816</i> | <i>1</i> | <i>0,0266</i> |
| <i>Uyku Modu</i> | <i>0,27071</i> | <i>2</i> | <i>0,0266</i> |
| <i>Verimli Algoritma Kullanımı</i> | <i>0,19063</i> | <i>3</i> | <i>0,0266</i> |
| K2: Donanım | 0,25305 | 2 | 0,0925 |
| <i>Hazır Kaynak Kullanma</i> | <i>0,47167</i> | <i>1</i> | <i>0,01716</i> |
| <i>Veri Yapıları Algoritmalar</i> | <i>0,10776</i> | <i>4</i> | <i>0,01716</i> |

| | | | |
|--|----------------|----------|---------------|
| <i>Yeşil Derleyiciler</i> | 0,16443 | 3 | 0,01716 |
| <i>Yineleme Kullanma</i> | 0,25615 | 2 | 0,01716 |
| K3: Derleyiciler | 0,12965 | 3 | 0,0925 |
| <i>Bulut Kullanımı</i> | 0,2074 | 2 | 0,07886 |
| <i>Dinamik Güç Yönetimi</i> | 0,09273 | 4 | 0,07886 |
| <i>Döngü Optimizasyonu</i> | 0,07972 | 5 | 0,07886 |
| <i>Enerji Maliyet Araç Optimizasyonu</i> | 0,12344 | 3 | 0,07886 |
| <i>Kaynakları Hazırda Bekletme</i> | 0,22201 | 1 | 0,07886 |
| <i>Talimat Kümeleme</i> | 0,06678 | 8 | 0,07886 |
| <i>Yeniden Komut Sıralama</i> | 0,06604 | 9 | 0,07886 |
| <i>Önbellek Atlama</i> | 0,06923 | 7 | 0,07886 |
| <i>Özyinelemeyi Önleme</i> | 0,07266 | 6 | 0,07886 |
| K4: Veri Merkezi | , | 1 | 0,0925 |
| <i>Ağ Ekipmanı</i> | 0,07714 | 6 | 0,02665 |
| <i>Elektrik Sistemleri</i> | 0,27907 | 1 | 0,02665 |
| <i>Etkin Depolama Araçları</i> | 0,13328 | 5 | 0,02665 |
| <i>Havalandırma Yönetimi</i> | 0,23143 | 2 | 0,02665 |
| <i>Sanallaştırma Faaliyetleri</i> | 0,14579 | 3 | 0,02665 |
| <i>Verimli Sunucu Kullanımı</i> | 0,13328 | 4 | 0,02665 |

Tablo 2’de listelenen bulgular incelendiğinde; enerji kullanımını azaltma stratejisinin (S1), öncelikli olarak veri merkezleri için (K4 için öncelik değeri: 0,53832) uygun olabileceği görülmektedir. Gerçekten de bir işletmedeki veri merkezinin enerji kullanımı açısından çok fazla enerji tüketimine neden olabileceği düşünüldüğünde, bu sonucun birçok işletme için uygulanabilir olabileceği varsayılmaktadır. Elde edilen bulgular; S1 stratejisinin veri merkezlerinden sonra, sırasıyla donanım (K2 için öncelik değeri: 0,25305), derleyiciler (K3 için öncelik değeri: 0,12965) ve son olarak da yazılım (K1 için öncelik değeri 0,07898) için uygun olabileceğini göstermiştir. Ana kriterler için tanımlanan alt kriterler incelendiğinde ise; S1 stratejisi kapsamında veri merkezi için en öncelikli alt kriterin elektrik sistemleri (öncelik değeri: 0,27907), donanım için hazır kaynak kullanma (öncelik değeri: 0,47167), derleyiciler için kaynakları hazırda bekletme (öncelik değeri: 0,22201) ve yazılım için ise güç yönetimi (0,41816) olduğu görülmüştür.

Araştırma kapsamında önerilen ikinci strateji (altyapı güçlendirme) için elde edilen bulgular Tablo 3’te verilmiştir:

Tablo 3. Altyapı Güçlendirme Stratejisi (S2) İçin Bulgular

| STRATEJİ 2: ALTYAPI GÜÇLENDİRME | Öncelik Değeri | Sıralama | Tutarlılık |
|--|-----------------------|-----------------|-------------------|
| K1: Yazılım | 0,10963 | 4 | 0,02271 |
| <i>Dinamik Voltaj</i> | 0,23726 | 2 | 0,07355 |
| <i>Güç Yönetimi</i> | 0,5114 | 1 | 0,07355 |
| <i>Uyku Modu</i> | 0,17395 | 3 | 0,07355 |
| <i>Verimli Algoritma Kullanımı</i> | 0,07738 | 4 | 0,07355 |
| K2: Donanım | 0,26522 | 2 | 0,02271 |
| <i>Hazır Kaynak Kullanma</i> | 0,41002 | 1 | 0,05361 |
| <i>Veri Yapıları Algoritmaları</i> | 0,10876 | 4 | 0,05361 |
| <i>Yeşil Derleyiciler</i> | 0,2119 | 3 | 0,05361 |
| <i>Yineleme Kullanma</i> | 0,26929 | 2 | 0,05361 |
| K3: Derleyiciler | 0,18661 | 3 | 0,02271 |
| <i>Bulut Kullanımı</i> | 0,05359 | 9 | 0,05235 |
| <i>Dinamik Güç Yönetimi</i> | 0,23832 | 1 | 0,05235 |
| <i>Döngü Optimizasyonu</i> | 0,05551 | 8 | 0,05235 |
| <i>Enerji Maliyet Araç Optimizasyonu</i> | 0,18911 | 2 | 0,05235 |
| <i>Kaynakları Hazırda Bekletme</i> | 0,13197 | 3 | 0,05235 |
| <i>Talimat Kümeleme</i> | 0,09529 | 5 | 0,05235 |
| <i>Yeniden Komut Sıralama</i> | 0,08075 | 6 | 0,05235 |
| <i>Önbellek Atlama</i> | 0,09823 | 4 | 0,05235 |
| <i>Özyinelemeyi Önleme</i> | 0,05722 | 7 | 0,05235 |
| K4: Veri Merkezi | 0,43853 | 1 | 0,02271 |
| <i>Ağ Ekipmanı</i> | 0,08998 | 6 | 0,07505 |
| <i>Elektrik Sistemleri</i> | 0,28495 | 1 | 0,07505 |
| <i>Etkin Depolama Araçları</i> | 0,09842 | 5 | 0,07505 |
| <i>Havalandırma Yönetimi</i> | 0,24167 | 2 | 0,07505 |
| <i>Sanallaştırma Faaliyetleri</i> | 0,10343 | 4 | 0,07505 |
| <i>Verimli Sunucu Kullanımı</i> | 0,18155 | 3 | 0,07505 |

Tablo 3'te sunulan bulgular incelendiğinde; altyapı güçlendirme stratejisinin (S2), öncelikli olarak yine işletmelerin veri merkezleri için (K4 için öncelik değeri: 0,43853) uygun olabileceği dikkat çekmektedir. Bulgular; S2 stratejisinin veri merkezlerinden sonra, sırasıyla donanım (K2 için öncelik değeri: 0,26522), derleyiciler (K3 için öncelik değeri: 0,18661) ve yine son olarak yazılım (K1 için öncelik değeri 0,10963) için uygun olabileceğini göstermiştir. Ana kriterler için tanımlanan alt kriterler incelendiğinde ise; S2 stratejisi kapsamında veri merkezi için en öncelikli alt kriterin yine elektrik sistemleri (öncelik değeri: 0,28495), donanım için hazır kaynak kullanma (öncelik değeri: 0,41002), derleyiciler için bir önceki stratejiden farklı olarak dinamik güç yönetimi (öncelik değeri: 0,23832) ve yazılım için ise yine güç yönetimi (0,5114) olduğu görülmüştür.

Araştırma kapsamında önerilen üçüncü strateji (*ürün iyileştirme*) için elde edilen bulgular Tablo 4'te verilmiştir:

Tablo 4. Ürün İyileştirme Stratejisi (S3) İçin Bulgular

| STRATEJİ 3: ÜRÜN İYİLEŞTİRME | Öncelik Değeri | Sıralama | Tutarlılık |
|--|-----------------------|-----------------|-------------------|
| K1: Yazılım | 0,41053 | 1 | 0,09585 |
| <i>Dinamik Voltaj</i> | <i>0,16336</i> | <i>3</i> | <i>0,02271</i> |
| <i>Güç Yönetimi</i> | <i>0,16336</i> | <i>4</i> | <i>0,02271</i> |
| <i>Uyku Modu</i> | <i>0,39521</i> | <i>1</i> | <i>0,02271</i> |
| <i>Verimli Algoritma Kullanımı</i> | <i>0,27807</i> | <i>2</i> | <i>0,02271</i> |
| K2: Donanım | 0,15772 | 3 | 0,09585 |
| <i>Hazır Kaynak Kullanma</i> | <i>0,28734</i> | <i>2</i> | <i>0,06948</i> |
| <i>Veri Yapıları Algoritmalar</i> | <i>0,23703</i> | <i>3</i> | <i>0,06948</i> |
| <i>Yeşil Derleyiciler</i> | <i>0,13567</i> | <i>4</i> | <i>0,06948</i> |
| <i>Yineleme Kullanma</i> | <i>0,33998</i> | <i>1</i> | <i>0,06948</i> |
| K3: Derleyiciler | 0,32455 | 2 | 0,09585 |
| <i>Bulut Kullanımı</i> | <i>0,04938</i> | <i>9</i> | <i>0,05195</i> |
| <i>Dinamik Güç Yönetimi</i> | <i>0,05525</i> | <i>8</i> | <i>0,05195</i> |
| <i>Döngü Optimizasyonu</i> | <i>0,0664</i> | <i>7</i> | <i>0,05195</i> |
| <i>Enerji Maliyet Araç Optimizasyonu</i> | <i>0,12566</i> | <i>4</i> | <i>0,05195</i> |
| <i>Kaynakları Hazırda Bekletme</i> | <i>0,07575</i> | <i>6</i> | <i>0,05195</i> |
| <i>Talimat Kümeleme</i> | <i>0,17152</i> | <i>2</i> | <i>0,05195</i> |
| <i>Yeniden Komut Sıralama</i> | <i>0,16316</i> | <i>3</i> | <i>0,05195</i> |
| <i>Önbellek Atlama</i> | <i>0,2044</i> | <i>1</i> | <i>0,05195</i> |
| <i>Özyinelemeyi Önleme</i> | <i>0,09138</i> | <i>5</i> | <i>0,05195</i> |
| K4: Veri Merkezi | 0,1072 | 4 | 0,09585 |
| <i>Ağ Ekipmanı</i> | <i>0,16301</i> | <i>4</i> | <i>0,02154</i> |
| <i>Elektrik Sistemleri</i> | <i>0,11599</i> | <i>6</i> | <i>0,02154</i> |
| <i>Etkin Depolama Araçları</i> | <i>0,1441</i> | <i>5</i> | <i>0,02154</i> |
| <i>Havalandırma Yönetimi</i> | <i>0,16301</i> | <i>3</i> | <i>0,02154</i> |
| <i>Sanallaştırma Faaliyetleri</i> | <i>0,18192</i> | <i>2</i> | <i>0,02154</i> |
| <i>Verimli Sunucu Kullanımı</i> | <i>0,23198</i> | <i>1</i> | <i>0,02154</i> |

Tablo 4'teki bulgular incelendiğinde; ürün iyileştirme stratejisinin (S3), öncelikli olarak işletmelerin yazılım projeleri için (K1 için öncelik değeri: 0,41053) uygun olabileceği dikkat çekmektedir. Bulgular; S3 stratejisinin yazılım projelerinden sonra, sırasıyla derleyiciler (K3 için öncelik değeri: 0,32455), donanım (K2 için öncelik değeri: 0,15772) ve son olarak ise veri merkezi (K4 için öncelik değeri 0,1072) için uygun olabileceğini göstermiştir. Ana kriterler için tanımlanan alt kriterler incelendiğinde ise; S3 stratejisi kapsamında yazılım projeleri için en öncelikli alt kriterin uyku modu (öncelik değeri: 0,39521), derleyiciler için ön bellek atlama (öncelik değeri: 0,2044), donanımlar için yineleme kullanma (öncelik değeri: 0,33998) ve işletmelerin veri merkezileri için ise verimli sunucu kullanımı (öncelik değeri: 0,23198) olduğu görülmüştür.

Araştırma kapsamında önerilen dördüncü strateji (bulut bilişim kullanma) için elde edilen bulgular Tablo 5'te verilmiştir:

Tablo 5. Bulut Bilişim Kullanma Stratejisi (S4) İçin Bulgular

| STRATEJİ 4: BULUT BİLİŞİM KULLANMA | Öncelik Değeri | Sıralama | Tutarlılık |
|---|-----------------------|-----------------|-------------------|
| K1: Yazılım | 0,1205 | 4 | 0,0266 |
| <i>Dinamik Voltaj</i> | 0,33 | 1 | 0,02271 |
| <i>Güç Yönetimi</i> | 0,14042 | 4 | 0,02271 |
| <i>Uyku Modu</i> | 0,19958 | 3 | 0,02271 |
| <i>Verimli Algoritma Kullanımı</i> | 0,33 | 2 | 0,02271 |
| K2: Donanım | 0,27071 | 2 | 0,0266 |
| <i>Hazır Kaynak Kullanma</i> | 0,43358 | 1 | 0,0772 |
| <i>Veri Yapıları Algoritmaları</i> | 0,17683 | 4 | 0,0772 |
| <i>Yeşil Derleyiciler</i> | 0,1948 | 2 | 0,0772 |
| <i>Yineleme Kullanma</i> | 0,1948 | 3 | 0,0772 |
| K3: Derleyiciler | 0,19063 | 3 | 0,0266 |
| <i>Bulut Kullanımı</i> | 0,24663 | 1 | 0,02968 |
| <i>Dinamik Güç Yönetimi</i> | 0,17204 | 2 | 0,02968 |
| <i>Döngü Optimizasyonu</i> | 0,06926 | 9 | 0,02968 |
| <i>Enerji Maliyet Araç Optimizasyonu</i> | 0,15357 | 3 | 0,02968 |
| <i>Kaynakları Hazırda Bekletme</i> | 0,06893 | 8 | 0,02968 |
| <i>Talimat Kümeleme</i> | 0,07366 | 4 | 0,02968 |
| <i>Yeniden Komut Sıralama</i> | 0,06893 | 5 | 0,02968 |
| <i>Önbellek Atlama</i> | 0,07366 | 6 | 0,02968 |
| <i>Özyinelemeyi Önleme</i> | 0,07333 | 7 | 0,02968 |
| K4: Veri Merkezi | 0,41816 | 1 | 0,0266 |
| <i>Ağ Ekipmanı</i> | 0,12971 | 3 | 0,08046 |
| <i>Elektrik Sistemleri</i> | 0,31305 | 1 | 0,08046 |
| <i>Etkin Depolama Araçları</i> | 0,23725 | 2 | 0,08046 |
| <i>Havalandırma Yönetimi</i> | 0,1117 | 4 | 0,08046 |
| <i>Sanallaştırma Faaliyetleri</i> | 0,1115 | 5 | 0,08046 |
| <i>Verimli Sunucu Kullanımı</i> | 0,0968 | 6 | 0,08046 |

Tablo 5'teki bulgular incelendiğinde; bulut bilişim kullanma stratejisinin (S4), öncelikli olarak işletmelerin veri merkezleri için (K4 için öncelik değeri: 0,41816) uygun olabileceği dikkat çekmektedir. Bulgular; S4 stratejisinin veri merkezlerinden sonra, sırasıyla donanımlar (K2 için öncelik değeri: 0,27071), derleyiciler (K3 için öncelik değeri: 0,19063) ve son olarak ise yazılımlar (K1 için öncelik değeri 0,1205) için uygun olabileceğini göstermiştir. Ana kriterler için tanımlanan alt kriterler incelendiğinde ise; S4 stratejisi kapsamında veri merkezi için en öncelikli alt kriterin elektrik sistemleri (öncelik değeri: 0,31305), donanımlar için hazır kaynak kullanma (öncelik değeri: 0,43358), derleyiciler için bulut kullanımı (öncelik değeri:

0,24663) ve işletmedeki yazılımlar için ise dinamik voltaj (öncelik değeri: 0,33) olduğu görülmüştür.

Araştırma kapsamında önerilen beşinci ve son strateji (*sanallaştırma*) için elde edilen bulgular Tablo 6’da verilmiştir:

Tablo 6. Sanallaştırma Stratejisi (S5) İçin Bulgular

| STRATEJİ 5: SANALLAŞTIRMA | Öncelik Değeri | Sıralama | Tutarlılık |
|--|-----------------------|-----------------|-------------------|
| K1: Yazılım | 0,45086 | 1 | 0,08062 |
| <i>Dinamik Voltaj</i> | 0,27807 | 2 | 0,02271 |
| <i>Güç Yönetimi</i> | 0,39521 | 1 | 0,02271 |
| <i>Uyku Modu</i> | 0,16336 | 3 | 0,02271 |
| <i>Verimli Algoritma Kullanımı</i> | 0,16336 | 4 | 0,02271 |
| K2: Donanım | 0,25742 | 2 | 0,08062 |
| <i>Hazır Kaynak Kullanma</i> | 0,2036 | 3 | 0,02271 |
| <i>Veri Yapıları Algoritmalar</i> | 0,2036 | 4 | 0,02271 |
| <i>Yeşil Derleyiciler</i> | 0,34654 | 1 | 0,02271 |
| <i>Yineleme Kullanma</i> | 0,24627 | 2 | 0,02271 |
| K3: Derleyiciler | 0,19779 | 3 | 0,08062 |
| <i>Bulut Kullanımı</i> | 0,0532 | 9 | 0,09877 |
| <i>Dinamik Güç Yönetimi</i> | 0,17172 | 1 | 0,09877 |
| <i>Döngü Optimizasyonu</i> | 0,08354 | 7 | 0,09877 |
| <i>Enerji Maliyet Araç Optimizasyonu</i> | 0,10387 | 5 | 0,09877 |
| <i>Kaynakları Hazırda Bekletme</i> | 0,14182 | 3 | 0,09877 |
| <i>Talimat Kümeleme</i> | 0,13241 | 4 | 0,09877 |
| <i>Yeniden Komut Sıralama</i> | 0,14445 | 2 | 0,09877 |
| <i>Önbellek Atlama</i> | 0,09051 | 6 | 0,09877 |
| <i>Özyinelemeyi Önleme</i> | 0,07849 | 8 | 0,09877 |
| K4: Veri Merkezi | 0,09393 | 4 | 0,08062 |
| <i>Ağ Ekipmanı</i> | 0,11119 | 6 | 0,08698 |
| <i>Elektrik Sistemleri</i> | 0,17627 | 3 | 0,08698 |
| <i>Etkin Depolama Araçları</i> | 0,11484 | 5 | 0,08698 |
| <i>Havalandırma Yönetimi</i> | 0,14518 | 4 | 0,08698 |
| <i>Sanallaştırma Faaliyetleri</i> | 0,24297 | 1 | 0,08698 |
| <i>Verimli Sunucu Kullanımı</i> | 0,20955 | 2 | 0,08698 |

Tablo 6’daki bulgular incelendiğinde; sanallaştırma stratejisinin (S5), öncelikli olarak işletmedeki yazılımlar için (K1 için öncelik değeri: 0,45086) uygun olabileceği dikkat çekmektedir. Bulgular; S5 stratejisinin yazılımlardan sonra sırasıyla donanımlar (K2 için öncelik değeri: 0,25742), derleyiciler (K3 için öncelik değeri: 0,19779) ve son olarak ise veri merkezleri (K4 için öncelik değeri 0,09393) için uygun olabileceğini göstermiştir. Ana kriterler için tanımlanan alt kriterler

incelendiğinde ise; S5 stratejisi kapsamında yazılımlar için en öncelikli alt kriterin güç yönetimi (öncelik değeri: 0,39521), donanımlar için yeşil derleyiciler (öncelik değeri: 0,34654), derleyiciler için dinamik güç yönetimi (öncelik değeri: 0,17172) ve işletmedeki veri merkezleri için ise sanallaştırma faaliyetleri (öncelik değeri: 0,24297) olduğu görülmüştür.

4. TARTIŞMA

Çalışma kapsamında önerilen her bir stratejinin literatürdeki karşılıkları incelenmiş ve önerilen stratejilerin büyük bir kısmının görgül çalışmaların sonuçlarıyla önemli düzeyde tutarlılık gösterdiği görülmüştür. Araştırmadan elde edilen bulgulara bakıldığında; enerji kullanımını azaltma stratejisinin (S1) veri merkezleri için uygun olduğuna yönelik bulgu, literatürde yer alan önceki çalışmaları doğrulamaktadır. Örneğin Rong ve arkadaşlarının (2016: 689) veri merkezleri için enerji tüketimini optimize etmeyi araştıran makalesine göre; veri merkezleri için kullanılabilen enerji tasarrufu teknolojileri, veri merkezlerine enerji tasarrufu açısından önemli üstünlükler sağlamaktadır. Aynı şekilde Uchchukwu ve arkadaşlarının (2014) bulut bilişim veri merkezleri üzerinde yaptıkları araştırmanın sonuçları da bu araştırma kapsamında elde edilen bulgularla uyum göstermektedir. Agrawal ve arkadaşları (2012) tarafından yapılan çalışma, bir kurumdaki bilgisayarların ve bilişim teknolojileri altyapısının hassas bir şekilde kullanılmasının, örgüt içinde önemli enerji avantajlarına neden olacağını göstermiştir. Bu çalışma, araştırma kapsamında önerilen ikinci strateji (S2) olan altyapı güçlendirmesinin yeşil bilişim kapsamında sağlayabileceği üstünlükleri teyit etmektedir.

Yazılım ve donanım ürünlerinin iyileştirilmesi stratejisiyle (S3) yeşil bilişime sağlanabilecek katkıları ortaya koyan araştırmalar incelendiğinde, Kazandjieva ve arkadaşları (2014) tarafından yapılan araştırma dikkat çekmektedir. Bu araştırmada yazarlar, yazılım geliştirme ve donanım üretimi sırasındaki faaliyetler için yeşil bilişime yoğunlaşmış, bu konuda güç yönetimi yazılımlarının önemini ve bilgisayarların donanımsal bileşenlerinin enerji tüketimindeki etkisini ortaya koymuşlardır. Jain ve arkadaşları (2013: 978) tarafından yapılan ve bulut bilişim stratejisinin (S4) yeşil bilişime etkilerini araştıran başka bir çalışmada da yeşil-bulut bilişim kavramı gündeme getirilmiştir. Aynı zamanda, yeşil bilişim için önemli bir stratejik değeri olan (S5) sanallaştırma kavramını yazılım programlarıyla ilişkilendiren çalışmaların mevcut olduğu görülmektedir (Soomro ve Sarwar, 2012; 327; Dhaini vd., 2021; Agrawal vd., 2014; Anwar vd., 2018). Bu araştırma kapsamında önerilen yeşil bilişim stratejileri ve kriterler temel alınarak uzman görüş ve önerileriyle ortaya konulan bulgular, gelecekte yapılacak stratejik çalışmalar için sadece temel bir örnek temsil etmektedir. Araştırmadaki görüş ve önerilerin yüksek düzeyde öznellik taşınması nedeniyle, önerilen stratejilerin kriterlerle ilişkilerinin gelecek çalışmalarda bilişim teknolojileri araçlarından toplanabilecek uygulama verileriyle desteklenmesi gereklidir.

SONUÇ

Dijital çağa geçiş; insanlık için kolaylıklar ve imkânlar sunmakla birlikte, insanoğlunun yeryüzündeki geleceği için birçok potansiyel tehdidi de içinde barındırmaktadır. Bireyler, toplumlar ve işletmeler; küresel ısınma ve iklim değişikliği gibi küresel tehditlere karşı önlemler almalı ve bu sorunları en aza indireyecek yönetim stratejileri geliştirmelidir. Ürün ve hizmetlerinde yoğun teknoloji kullanan tüm örgütlerin ve bu örgütlerdeki çalışanların çevreye verdikleri tahribat, günümüz dünyasındaki ileri teknolojilerle birlikte olağanüstü seviyelere ulaşmıştır. Bununla birlikte küresel düzeyde etkili olan yeşil bilişim hareketi, insanoğlunun çevreye ve doğal kaynaklara en az zarar vermesini sağlayan bir teknoloji bilinci olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu çalışmada, dijital çağ için artık bir mecburiyet haline gelen yeşil bilişim olgusuna dikkat çekilmiş ve işletme yöneticilerinin önem vermek zorunda olduğu yeşil bilişim stratejilerine vurgu yapılarak örnek bir stratejik bakış açısı oluşturulmuştur.

Araştırmanın en önemli sınırlılığı, AHP yöntemiyle gerçekleştirilen ikili karşılaştırmaların uygulamalı teknik analizler içermemesi ve bu karşılaştırmaların belirlenmesinde sadece bilişim sektöründen çalışanların ve akademisyenlerin görüş ve önerilerine başvurulmasıdır. Bu nedenle, araştırmadan elde edilen bulguların tam olarak teknik bir karşılığı olmayıp, uygulayıcıların bu bulguları gelecekte yapabilecekleri teknik analizler için ön bir yaklaşım olarak kabul etmeleri ve stratejik analizler için örnek bir stratejik yol haritası olarak değerlendirmeleri önerilmektedir. Araştırmanın diğer bir sınırlılığı ise, görüşlerine başvurulmuş uzman sayısının az sayıda olmasıdır. Çalışma oldukça geniş bir kavramsal çerçevede oluşturulduğundan, bu kapsamda gelecekte yapılacak araştırmalar için farklı teknik alanlardan daha fazla uzman ve akademisyenden görüş alınması uygun olacaktır. Bununla birlikte gelecekte yapılabilecek çalışmalarda; her bir stratejinin teknik çalışmalar sonucu toplanacak veriler ile nesnel biçimde test edilmesi önerilmektedir. Örnekleme alınacak işletmelerin kullandığı bilişim teknolojileri aracılığıyla toplanacak veriler, araştırmada önerilen stratejilerin doğruluğu ve uygulanabilirliği konusunda daha belirgin bir fikir verebilecektir.

İnsanoğlunun bu dünyadaki geleceği ve yaşam kalitesi için; bilişim sektöründe görev yapan işletme yöneticilerinin örgütlerindeki yeşil bilişim bilincinin yerleşmesine katkı sağlamalarına, bu konuda yeni ve çağdaş yönetim stratejileri geliştirmelerine ve bu stratejileri örgüt politikaları çerçevesinde yapılandırarak sistematik bir şekilde yaygınlaştırmalarına acil bir şekilde ihtiyaç vardır. Araştırmadan elde edilen sonuçların ve bu kapsamda ortaya koyulan stratejik öngörülerin; yöneticilerinin ve uygulayıcılarının yeşil bilişim stratejilerini sistematik yöntemlerle belirlemesine ve uygulamasına destek olabileceği, aynı zamanda toplumsal bilincin yeşil bilişim bağlamında iyileştirilmesine katkılar sağlayabileceği düşünülmüştür.

PRIORITIZATION OF GREEN COMPUTING STRATEGIES OF BUSINESSES USING AHP METHOD: THE CASE OF IT ENTERPRISES

1. INTRODUCTION

Mankind has caused great damage to the natural environment that it needs to live with industrial revolutions and technological developments to make life more comfortable.

This situation, which is very difficult to compensate, has caused problems at the global level such as global warming, climate change, thinning of the atmosphere, ozone depletion, decrease in water resources, increase in fires, and decrease in forests. Minimizing all these negative effects is only possible by providing individual and social awareness and developing effective management strategies for the environment in business life. In this research, firstly, the studies dealing with the relationship between environment and informatics in the literature were examined and the relationship of the sector with the environment and its effects on energy consumption were investigated. Then, the concept called green computing in the literature is discussed in detail. The green computing management strategies proposed within the framework of the model created on the basis of the conceptual framework determined within the scope of the research were analyzed in line with the opinions and suggestions of a group of informatics sector employees and academicians and prioritized according to the main criteria determined by the Analytical Hierarchy Process (AHP) method, the findings were discussed and the green information in the information sector was discussed. Some suggestions have been developed to create strategies.

2. METHODS

In the research, AHP method was used to prioritize green computing strategies in line with binary matrices. Within the scope of the research, 4 main criteria and 22 sub-criteria were taken as basis. 5 green computing management strategies have been determined because of the literature research carried out to achieve the purpose determined for defining the most appropriate management strategy for informatics enterprises. Each management strategy is detailed under four main criteria (*K1: Software, C2: Hardware, K3: Compilers, C4: Data Center Design*) and associated with sub-criteria through links that can be analyzed in the form of binary super matrices. The main and sub-criteria were determined because of detailed literature research. In the analyzes carried out with this method, opinions and suggestions were received from the informatics sector and academicians. The AHP method is a widely used research method to systematically perform multi-criteria decision making in scientific research.

3. RESULTS

As a result of the analyzes carried out using the AHP program and through the comparative super matrices, some sample findings were obtained for each strategy proposed in line with the research purpose. The findings obtained for the strategies proposed within the scope of the research are given in the Tables 1-6.

4. DISCUSSION

Within the scope of the study, the equivalents of each proposed strategy in the literature were examined and it was seen that most of the proposed strategies showed significant consistency with the results of empirical studies. When the findings obtained from the research are examined in general, the finding that the energy use reduction strategy (S1) is suitable for data centers confirms the studies in the relevant literature. For example, according to the article of Rong et al. (2016: 689) investigating optimizing energy consumption for data centers, energy saving technologies that can be used for data centers provide data centers with significant advantages in terms of energy savings. Likewise, the results of the research conducted by Uchechukwu et al. (2014) on cloud computing data centers are in general agreement with the findings obtained within the scope of this research. The study by Agrawal et al. (2012) showed that the sensitive use of computers and information technology infrastructure in an institution will result in significant energy advantages within the organization. This study confirms the advantages that infrastructure reinforcement, which is the second strategy (S2) proposed within the scope of the research, can provide within the scope of green computing. When the research on the contributions to green computing through the improvement strategy of software and hardware products (S3) are examined, the research conducted by Kazandjieva et al. (2014) draws attention. In this research, the authors focused on green computing for activities during software development and hardware production, and they revealed the importance of power management software and the effect of hardware components of computers on energy consumption. In another study conducted by Jain et al. (2013: 978) and investigating the effects of cloud computing strategy (S4) on green computing, the concept of green-cloud computing was brought up. At the same time, it is seen that there are studies associating the concept of virtualization (S5), which has an important strategic value for green computing, with software programs (Soomro and Sarwar, 2012; 327; Dhaini et al., 2021; Agrawal et al., 2014; Anwar et al., 2018). However, the findings, which are based on the green computing strategies and criteria proposed within the scope of the research, with qualitative opinions and suggestions represent only an example for future strategic studies. Since the opinions and suggestions within the scope of this research are highly subjective, the relationship between the proposed strategies and the criteria should be supported by objective data in future studies.

CONCLUSION

While the transition to the digital age brings many conveniences and opportunities for humanity, it also includes many potential threats for the future of humanity on earth. Individuals, societies, and businesses should take precautions against global threats such as global warming and climate change and develop management strategies to minimize these problems. To reduce the environmental damage of enterprises and employees in the IT sector, it is necessary to establish green computing awareness within the enterprise, develop new and contemporary management strategies in this regard, and systematically disseminate these strategies by structuring them within the framework of organizational policies. It is thought that the results obtained from the research and the suggestions put forward in this context can contribute to the implementation of the green computing strategies by the business managers and practitioners in the IT sector in a systematic way and to improve the green computing awareness socially.

KAYNAKÇA

- Agrawal, S., Biswas, R., & Nath, A. (2014). Virtual Desktop Infrastructure in Higher Education Institution: Energy Efficiency as an Application of Green Computing. *In 2014 Fourth International Conference on Communication Systems and Network Technologies* (pp. 601-605). IEEE.
- Anthony, B. J., & Majid, M. A. (2016). Development of a Green ICT Model for Sustainable Enterprise Strategy. *Journal of Soft Computing and Decision Support Systems*, 3(3), 1-12.
- Anwar, S., Ghaffar, M., Razzaq, F., & Bibi, B. (2018). E-waste reduction Via Virtualization in Green Computing. *American Academic Scientific Research Journal for Engineering, Technology, and Sciences*, 41(1), 1-11.
- Asadi, S., & Dahlan, H. M. (2017). Organizational Research in the Field of Green IT: A Systematic Literature Review from 2007 to 2016. *Telematics and Informatics*, 34(7), 1191-1249.
- Belkhir, L., & Elmeligi, A. (2018). Assessing ICT Global Emissions Footprint: Trends to 2040 & Recommendations. *Journal of Cleaner Production*, 177, 448-463.
- Cesur, A. (2014). Küresel Isınma ve İklim Değişiklikleri, Erişim Tarihi: 18.07.2022, http://www.mta.gov.tr/v3.0/sayfalar/hizmetler/kutuphane/ekonomi-bultenleri/2014_18/b18_17-21.pdf.
- Dhaini, M., Jaber, M., Fakhereldine, A., Hamdan, S., & Haraty, R. A. (2021). Green Computing Approaches-A Survey. *Informatica*, 45(1).
- Güngör, M., Saygı, N., Bolat, A., Çaycı, A. D., Tekin, A. (2010). Yeşil Bilişim, Bilgi Teknolojileri ve İletişim Kurumu Sektörel Araştırma ve Stratejiler Dairesi Başkanlığı.
- Han, G., Que, W., Jia, G., & Zhang, W. (2018). Resource-Utilization-Aware Energy Efficient Server Consolidation Algorithm for Green Computing in IIOT. *Journal of Network and Computer Applications*, 103, 205-214.
- Harmon, R. R., & Auseklis, N. (2009). Sustainable IT Services: Assessing the Impact of Green Computing Practices. *In PICMET'09-2009 Portland International Conference on Management of Engineering & Technology* (pp. 1707-1717). IEEE.
- Jain, A., Mishra, M., Peddoju, S. K., & Jain, N. (2013). Energy Efficient Computing-Green Cloud Computing. *International Conference on Energy Efficient Technologies for Sustainability* (pp. 978-982). IEEE.
- John, J. (2014). Green Computing Strategies for Improving Energy Efficiency in it Systems. *International Journal of Scientific Engineering and Technology*, 3(6), 715-717.
- Kazandjieva, M., Heller, B., Gnowali, O., Hofer, W., & Kozyrakis, P. L. C. (2011). Software or Hardware: The Future of Green Enterprise Computing. *Computer Science Technical Report CSTR*, 2.
- Kharchenko, V., & Illiashenko, O. (2017). Concepts of Green IT Engineering: Taxonomy, Principles and Implementation. *In Green IT Engineering: Concepts, Models, Complex Systems Architectures* (pp. 3-19). Springer, Cham.

- Murugesan, S. (2008). Harnessing Green IT: Principles and Practices. *IT Professional*, 10(1), 24-33.
- Önaçan, M. B. K. (2020). Türkiye’de Yeşil Bilişim Çalışmaları: Sistematik Literatür Taraması. *Iğdır Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, (21), 345-368.
- Pahlevan, A., Rossi, M., Garcia del Valle, P., Brunelli, D., & Atienza Alonso, D. (2017). Joint Computing and Electric Systems Optimization for Green Datacenters, pp. 1-21. Springer.
- Raja, S. P. (2021). Green Computing and Carbon Footprint Management in the IT Sectors. *IEEE Transactions on Computational Social Systems*, 8(5), 1172-1177.
- Reimsbach-Kounatze, C. (2009). Towards Green ICT Strategies: Assessing Policies and Programmes on ICT and the Environment. *OECD Digital Economy Papers*, No. 155, OECD Publishing.
- Rong, H., Zhang, H., Xiao, S., Li, C., & Hu, C. (2016). Optimizing Energy Consumption for Data Centers. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 58, 674-691.
- Saaty, T. L., *Decision Making for Leaders*, (1982). Lifetime Learning Publications, CA.
- Saaty, T.L. and Vargas, L.G. (2001) *Models, Methods, Concepts and Applications of the Analytic Hierarchy Process*. Kluwer Academic Publishers, Norwell.
- Sofia, A. S., & Kumar, P. G. (2017). Energy Efficient Task Scheduling to Implement Green Cloud. *Asian Journal of Research in Social Sciences and Humanities*, 7(2), 443-458.
- Soomro, T. R., & Sarwar, M. (2012). Green Computing: From Current to Future Trends. *World Academy of Science, Engineering and Technology*, 63, 538-541.
- Uchechukwu, A., Li, K., & Shen, Y. (2014). Energy Consumption in Cloud Computing Data Centers. *International Journal of Cloud Computing and Services Science (IJ-CLOSER)*, 3(3), 31-48.
- Usvub, K., Farooqi, A. M., & Alam, M. A. (2017). Edge up Green Computing in Cloud Data Centers. *International Journal of Advanced Research in Computer Science*, 8(2), 62-67.

| KATKI ORANI / CONTRIBUTION RATE | AÇIKLAMA / EXPLANATION | KATKIDA BULUNANLAR / CONTRIBUTORS |
|---|---|--|
| Fikir veya Kavram / <i>Idea or Notion</i> | Araştırma hipotezini veya fikrini oluşturmak / <i>Form the research hypothesis or idea</i> | Cemalettin Öcal FİDANBOY |
| Tasarım / <i>Design</i> | Yöntemi, ölçeği ve deseni tasarlamak / <i>Designing method, scale and pattern</i> | Cemalettin Öcal FİDANBOY |
| Veri Toplama ve İşleme / <i>Data Collecting and Processing</i> | Verileri toplamak, düzenlenmek ve raporlamak / <i>Collecting, organizing and reporting data</i> | Cemalettin Öcal FİDANBOY |
| Tartışma ve Yorum / <i>Discussion and Interpretation</i> | Bulguların değerlendirilmesinde ve sonuçlandırılmasında sorumluluk almak / <i>Taking responsibility in evaluating and finalizing the findings</i> | Cemalettin Öcal FİDANBOY |
| Literatür Taraması / <i>Literature Review</i> | Çalışma için gerekli literatürü taramak / <i>Review the literature required for the study</i> | Cemalettin Öcal FİDANBOY |