

## Bulut Bilişim Sanal Sunucu Ürün Seçiminde Çok Kriterli Bir Karar Destek Modeli

**Onur KOŞAR**\*<sup>1</sup> ORCID 0000-0003-4716-374X

**Mehmet ATAĞ**<sup>2</sup> ORCID 0000-0002-4373-5192

<sup>1</sup>Gazi Üniversitesi, Bilişim Enstitüsü, Yönetim Bilişim Sistemleri Bölümü, Ankara

<sup>2</sup>Gazi Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Ankara

Geliş tarihi: 16.08.2023

Kabul tarihi: 25.12.2023

*Atıf şekli/ How to cite: KOŞAR, O., ATAĞ, M., (2023). Bulut Bilişim Sanal Sunucu Ürün Seçiminde Çok Kriterli Bir Karar Destek Modeli. Çukurova Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Dergisi, 38(4), 939-953.*

### Öz

Bulut bilişim sunduğu servislerin yönetim kolaylığı ile sıklıkla tercih edilen bir seçenek haline gelmiştir. Bulut Bilişim’de sunulan sanal sunucular müşterilerin ihtiyacına göre belirlenebilmektedir. Sanal sunucu seçenekleri arasından hedeflenen ürünün seçimi, seçenek sayısının fazlalığı ve bir arada değerlendirilmesi gereken kriterlerin çokluğu sebebi ile çok kriterli karar verme problemine dönüşmektedir. Bu çalışmada karar vericilerin sanal sunucu seçiminde kriter ağırlıklarının Entropi yöntemi ile belirlendiği ve seçeneklerin VIKOR yöntemi ile sıralandığı bir model önerilmiştir. Modelin etkinliği kriter ağırlıklarının uzman görüşü alınarak Analitik Hiyerarşi Süreci ile hesaplandığı durum ile karşılaştırılmıştır. Geliştirilen test ortamında Amazon EC2 ürün konfigürasyon sınırları arasında rastgele oluşturulan farklı müşteri talebi senaryoları uygulanmıştır. Önerilen yöntem ve kriterlerin uzman görüşü alınarak AHS ile hesaplandığı ve VIKOR ile sıralandığı yöntemlerin sonuçları karşılaştırılmış ve %81.21 oranında aynı ürünün önerildiği gözlemlenmiştir. Bulut bilişime geç problemi kapsamında modelin yeterli teknik bilgiye sahip olmayan yönetim kademesindeki karar vericiler için alternatif bir seçenek olarak değerlendirilebileceği önerilmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Bulut bilişim, Karar teorisi, Çok kriterli karar verme

### A Multi-Criteria Decision Support Model for Cloud Computing Virtual Server Product Selection

#### Abstract

Cloud computing has become a preferred option due to the ease of management of the services it offers. Virtual servers offered in Cloud Computing can be configured according to the needs of the customers. The selection of the targeted product among the virtual servers turns into a multi-criteria decision making problem due to the large number of options and the large number of criteria that need to be evaluated together. In this study, a model is proposed in which the criteria weights are determined by Entropy method and the options are ranked by VIKOR method. The effectiveness of the model is compared with the case where the criteria weights are calculated by Analytic Hierarchy Process with expert opinion. In the

---

\*Sorumlu yazar (Corresponding Author): Onur KOŞAR, [onur.kosar@gazi.edu.tr](mailto:onur.kosar@gazi.edu.tr)

developed test environment, different customer demand scenarios randomly generated within Amazon EC2 product configuration boundaries were applied. The results of the methods where the proposed method and criteria were calculated with AHS and ranked with VIKOR by taking expert opinion were compared and it was observed that the same product was recommended 81.21% of the time. It is suggested that the model can be considered as an alternative option for decision makers at the management level who do not have sufficient technical knowledge within the scope of the cloud computing migration problem.

**Keywords:** Cloud computing, Decision theory, Multi criteria decision making

## 1. GİRİŞ

Bulut Bilişim, bilgisayar ağları üzerinden birbirine bağlı yüksek kapasiteli bilişim servislerinin kullanıcılara düşük maliyetle sunulduğu bir hizmettir [1]. Kişiler ve kuruluşlara talepleri halinde kullandıkları kadar ödeyebilecekleri ve istedikleri yerden erişebilecekleri bilişim kaynakları sunan bulut bilişim, ana yatırım bütçesi olmadan ve altyapı işletim masrafı yapılmadan yüksek kapasiteli bilişim kaynaklarına erişim sağlamaktadır [2]. Müşterilerin farklı ihtiyaçlarına göre özelleşmiş olarak sunulan servis olarak yazılım, servis olarak platform ve servis olarak altyapı ürün modelleri olan bulut bilişimde yazılım uygulamaları, geliştirme platformları ve sanal sunucu altyapıları kiralanarak kullanılabilir [3].

Bulut bilişimin sağladığı ölçeklenebilirlik, kullandığın kadar ödeme, aracısız olarak bilişim kaynaklarına erişim, güvenlik, sürdürülebilirlik özellikleri ve bilişim servislerine yapılması planlanan yatırımların öngörülebilirliği sebebi ile gün geçtikçe daha çok kuruluş kaynaklarını bulut bilişime taşımaya değerlendirmektedir [4,5]. Bilişim yöneticileri, bulut altyapılarına geçiş sonrasında geleneksel iş süreçlerinde güncelleme yapılması zorunluluğuna ve operasyonlarının ağ kesintilerinden etkilenme olasılığına rağmen bulut bilişimin piyasa koşullarına hızlı adapte olmayı düşük maliyet ile sağlaması sebebiyle altyapılarını bulut bilişime aktarma konusunda isteklidirler [6,7]. Bulut bilişimin servis olarak yazılım hizmetinde müşteriler bilgisayar ağları üzerinden ihtiyaç duydukları yazılımları kiralarak kullanabilmektedirler. Servis olarak platform hizmetinde çeşitli uygulama geliştirme araçları ve yazılımları sunulurken bulut hizmet seviyesinin altında yer alan servis olarak altyapı hizmetinde

kullanıcıların ihtiyaç duyduğu bilişim altyapıları sanallaştırılmış olarak sunulmaktadır [8-10]. Servis Olarak Altyapı (SOA) hizmeti; sanal sunucu, sanal veri depolama alanı ve sunucuların bilgisayar ağı kaynaklarını müşterilerin yerel kaynakları gibi kullanmalarına olanak sağlayan bir servis modelidir [11]. Bulut bilişim SOA servisinin temel ürünü olan sanal sunucu ürünleri arasında ihtiyaca uygun olan yapılandırmanın karar verici kriterleri değerlendirilerek önerilebilmesi, çok sayıda servis sağlayıcı olması, her servis sağlayıcının farklı sanal işlemci, bellek, disk, bant genişliği ve fiyat kombinasyonlarına sahip çok sayıda ürün seçeneği sunması sebebi ile çok kriterli karar problemine dönüşmekte ve yöneticiler için karar desteğine ihtiyaç duyulmaktadır [12,13].

Bu çalışmada sanal sunucu seçim problemi hakkında yeterli teknik bilgiye sahip olmayan yönetim seviyesindeki karar vericiler için kriter ağırlıklarının seçenekler arasındaki farklılaşma seviyesini temel alan Entropi [14] yöntemi ile hesaplandığı ve alternatiflerin VIKOR [15] yöntemi ile sıralanarak karar verici taleplerine en uygun ürünlerin bulunmasını amaçlayan bir model önerilmiştir. Modelin etkinliğinin test edilmesi için alan uzmanı en az 3 yıl tecrübeli 28 sistem ve ağ yöneticisi personelin uzman görüşüne başvurulmuştur. Alan uzmanlarının sanal işlemci, bellek, disk alanı ve bant genişliği kriterlerinin birbirine göre baskınlıklarını değerlendirmeleri amacı ile AHS[16] yönetiminde kullanılan ikili karşılaştırma matrisi kullanılmış ve uzman görüşü ile birlikte kriter ağırlıkları hesaplanmıştır.

Matlab [17] geliştirme ortamında oluşturulan test düzeneğinde Amazon EC2 [18] ürün listesinden Amazon komut satırı arayüzü servisi kullanılarak elde edilen 3339 satırlık veri setindeki her bir kriterin alt ve üst sınırları arasında rastgele

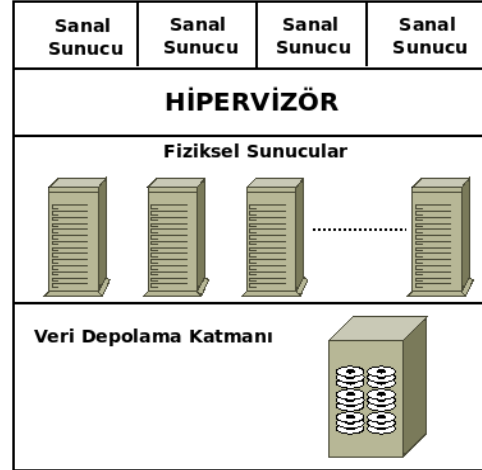
oluşturulan toplamda 161118 farklı ürün sorgusu, kriter ağırlıklarının Entropi ve AHS yöntemleri ile hesaplandığı iki modele gönderilmiş ve her iki model toplamda %81.21 benzer ürün öneriminde bulunmuştur. Elde edilen bulgular Entropi yöntemi ile kriterlerin otomatik ağırlıklandırıldığı ve VIKOR ile sıralandığı modelin sanal sunucu seçimi problemi hakkında yeterli teknik bilgiye sahip olmayan yönetim kademesindeki karar vericiler için güçlü bir alternatif olarak değerlendirilebileceğini göstermektedir.

### 1.1. Sunucu Sanallaştırma ve Servis Olarak Altyapı

Bilişim uygulamalarının kullanıcılara sunulması için yazılımların barındırılacağı bilgisayar sistemlerine ihtiyaç duyulmaktadır. Sunucu bilgisayarlar olarak adlandırılan bu donanımlar günümüzde yüksek işlemci ve bellek kapasitesine ulaşmıştır. Sunucu bilgisayarların tek bir işletim sistemi üzerinde tüm işlemci çekirdekleri ve bellek kapasitesini kullanacak şekilde yapılandırılması kaynakların verimsiz kullanımına yol açmakta, çoğunlukla da sunucunun teknik özelliklerine kıyasla istenilen performansın alınamamasına neden olmaktadır. Kaynakların verimli kullanılabilmesi adına bir sunucu bilgisayarın birden çok birbirinden izole işletim sistemi çalıştırabilmesine ve donanım kaynaklarının bu işletim sistemlerine paylaşılmasına olanak sağlayan sunucu sanallaştırma teknolojisi geliştirilmiştir [19-21]. Bu teknolojiye fiziksel sunucu bilgisayar kaynakları hipervizör [22] adı verilen sanallaştırma yazılımı ile farklı işletim sistemleri arasında paylaşılmakta ve sunucu bilgisayar üzerinde birden çok işletim sistemine sahip farklı sanal sunucu çalıştırılabilmektedir [23,24].

Veri depolama donanımları, sunucu bilgisayarlar, hipervizör ve sanal sunuculardan oluşan sanallaştırma altyapısında veri depolama için fiziksel sunucuların disk alanları ya da veri iletim ağları üzerinden erişim sağlanacak şekilde veri depolama donanımları kullanılabilir (Şekil 1). Sanallaştırma ile kullanıcılara; maliyet verimliliği, iş yükünde azalma, enerji verimliliği, uygulamaların hızlı işleme alınması ve felaket

kurtarma senaryolarının uygulanması konularında kolaylık sağlanmaktadır [27,28].



Şekil 1. Sunucu sanallaştırma katmanları [25,26]

Bulut bilişim SOA servisleri müşterilere kapasite ihtiyacı değişikliklerinde kolaylıkla ölçeklenebilecek ve kullanıldığı süre boyunca faturalandırılacak donanım ve sanal altyapılar sunmaktadır [29,30]. SOA servisinde hazır sanal sunucu çözümleri müşteriler tarafından sıklıkla tercih edilen ürünlerdir.

#### Çizelge 1. Örnek SOA sanal sunucu ürünleri

Üretici	Ürün	vCPU	Bellek (GB)	Disk (GB)	B.Genişliği (Gbps)
Amazon	C6id.large	2	4	118	12,5
Google	c3-highcpu-22	22	44	256	23
Alibaba	Hfg7.2xlarge	8	32	40	6

Amazon EC2, Google Cloud CE, Alibaba Cloud ECS gibi önde gelen birçok bulut servis sağlayıcı, sanal sunucu ürünleri için farklı bellek, depolama alanı ve bant genişliği özellikleri olan hazır konfigürasyonları müşterilerine sunmaktadır (Çizelge 1). Bulut servis sağlayıcıların fazlalığı, sanal sunucu ürünleri kapasite çeşitliliği, servis verilecek veri merkezi lokasyonlarının farklılığı gibi birçok kriterin seçim aşamasında bir arada değerlendirilmesi gerektiğinden seçim problemi birçok kriterli karar verme problemine dönüşmektedir [31,32]. Bulut servis sağlayıcıların birbirlerine yakın teknik özelliklere sahip olan ürünlerini farklı işletim sistemi, farklı işlemci

mimarisi ve farklı disk tiplerini ürün çeşitliliğinde kullanmaları sebebi ile sanal sunucu seçim problemi daha da karmaşık bir hal almaktadır.

## 1.2. Bulut Bilişim Ürün Seçiminde Karar Desteği

Bulut bilişim sanal sunucu kiralama hizmeti kullanmak isteyen ya da mevcut sanal sunucularını bulut bilişime taşımak isteyen firmalar çok sayıda servis sağlayıcı ve bu servis sağlayıcıların farklı fiyatlandırma politikaları ile işletilen farklı kapasite ve donanım mimarisi üzerinde çalıştırılan hazır sanal sunucu ürünleri arasından kendilerine uygun ürünü seçmeleri gerekmektedir. Bulut bilişime taşıyacak sanal sunucu adedi ve konfigürasyon çeşitliliğinin fazla olduğu durumlarda seçim probleminde karar desteğine ihtiyaç duyulmaktadır.

Literatürde bulut bilişim servis sağlayıcı ve ürün seçimi ile ilgili karar vericileri desteklemek amacı yapılan çalışmalar öne çıkmaktadır. SOA servis sağlayıcı ve ürün seçiminde bellek, işlemci, yazma okuma hızı gibi sanal sunucu servis seviyesi performans verisinin veya hizmet kalitesi seviyesi kriterlerinin değerlendirildiği, talebe uygun ürün ve servis sağlayıcının belirlendiği çok kriterli karar verme tekniklerinin uygulandığı çalışmalar [33-44] olduğu gibi SOA ürünlerinin teknik özelliklerinin seçim kriteri olarak belirlendiği, kullanıcı talebine en uygun ürünün öneri olarak sunulduğu öneri sistemleri [45-49] de bulunmaktadır. Servis sağlayıcı seçiminde hizmet kalitesi kriterlerinden olan, müşteri memnuniyeti, kesinti süresi, sorun bildirimlerine dönüş hızı, ölçeklenebilirlik, servislerin performans seviyesi, hizmet seviyesi anlaşması ihlal oranları temel karşılaştırma kriterleri olarak önce çıkmaktadır.

Çok kriterli karar verme metodları dışında SOA katmanında sunulan fiziksel sunucu ve sanal sunucu bileşenlerinin servis sağlayıcının kendi ürün listesinde ya da farklı servis sağlayıcılar arasındaki performanslarının karşılaştırıldığı çalışmalarda [50-56], sunucuların işlem hızı, veri iletim hızı ve yazma/okuma hızı gibi performansa etki eden kriterler test edilmekte ve karar vericilerin hizmet performansının karşılaştırmalarına olanak tanınmaktadır.

Bu çalışmada sanal sunucu ürünü seçiminde nesnel kriter ağırlıklandırma metodlarından olan Entropi yöntemi çok kriterli karar verme yöntemlerinden olan VIKOR yöntemine ile beraber kullanılarak teknik bilgiye sahip olmayan karar vericilerin de bulut bilişime göç problemi karşısında alternatif ürün seçimi önerisi alabilmesi ve bulut bilişime göç senaryolarını test edebilecekleri karar desteğinin sağlanması amaçlanmıştır.

## 2. YÖNTEM

Bulut Bilişim sanal sunucu ürün seçimi karar desteği sağlanmasında Amazon EC2 ürün konfigürasyonlarını içeren ve çevrimiçi komut satırı arayüzü servisi kullanılarak internet üzerinden anlık olarak elde edilebilen 65 farklı veri merkezi lokasyonunda, 275 farklı ürün tipinde, 1497 farklı fiyat bilgisine sahip toplam 3339 farklı sanal sunucu konfigürasyonunun yer aldığı ürün verisi kullanılmıştır. Elde edilen veri, veri ön işlemeden geçilerek veri içerisinde yer alan ve tüzel müşterilere sunulmayan kamu bulutu çözümleri, disk kapasitesinin ağ tabanlı servisler ile sunulduğu konfigürasyonlar ve fiyat bilgisinin belirtilmediği satırlar veriden ayıklanmıştır. Ürün verisinde yer alan sanal işlemci adedi, bellek miktarı, disk kapasitesi, bant genişliği ve fiyat kriterleri problemin seçim kriteri olarak belirlenmiştir. Veri setinin özet görünümü Çizelge 2’de, veri setindeki kriterlerin alt-üst sınırları ve her bir kriter için kaç farklı adette veri olduğu Çizelge 3’de verilmiştir.

Çizelge 2. EC2 ürün veri seti özet görünüm

Ürün	vCpu (Adet)	Bellek (GB)	Disk (GB)	Fiyat (\$)
c5ad.large	2	4	75	62.82
c5ad.xlarge	4	8	150	125.6
c6id.xlarge	4	8	237	147.2
c6id.metal	128	256	7600	4712

Çizelge 3. EC2 ürün veri seti sınırları

	vCpu (Adet)	Bellek (GB)	Disk (GB)	BW	Fiyat (\$)
Min.	1	2	4	1	17.89
Maks.	192	4096	336000	400	37999
Tip	15	41	81	16	1497

Önerilen model ile yeterli teknik bilgiye sahip olmayan yöneticiler için seçim kriter ağırlıkları Entropi yöntemi ile hesaplanmakta ve ürünler VIKOR çok kriterli karar verme yöntemi ile sıralanmaktadır. Yöntemin gerçek hayat koşullarındaki performansının belirlenebilmesi adına alanında uzman profesyonellerden seçim kriterlerini, sanal sunucu üzerinde çalıştırılacak herhangi bir iş yükü bilgisine sahip olmadan ağırlıklandırılması talep edilmiştir. AHS yöntemi kullanılarak oluşturulan ikili karşılaştırma matrisini doldurularak istenilen, sunucu yönetim tecrübesine sahip, sistem yöneticisi ve ağ yöneticisi pozisyonlarında en az 3 yıl tecrübe ile çalışmakta olan 28 uzmanın girdilerinin AHS yöntemi ile işlenmesi sonucunda elde edilen kriter ağırlıkları VIKOR yöntemine girdi olarak kullanılmıştır. Entropi yöntemi ile yapılan kriter ağırlıklandırma ve AHS yönteminde uzman görüşü alınarak elde edilen kriter ağırlıklarının VIKOR yönteminde kullanılması sonrasında elde edilen ürün sıralamalarının benzerliği karşılaştırılmıştır.

### 2.1. Entropi Yöntemi Kriter Ağırlıklandırma

Rudolf Clausius tarafından termodinamikte düzensizliğin bir ölçüsü olarak tanımlanan entropi [57] Shannon'un enformasyon teorisinde [58] kesikli olasılık dağılımı ile açıklanmış ve belirsizliğin ölçüsü olarak ele alınmıştır.

Entropi kriter ağırlıklandırma teorisinin temelinde bir arada değerlendirilen seçeneklerde aynı kriter özelinde kriter değerleri arasındaki farklılık ne kadar fazla ise o kriterin seçim problemindeki önemi o kadar yüksektir fikri yatmaktadır. Bir başka deyişle bir kriterin sahip olduğu bilgi miktarı ne kadar fazla ise seçim problemindeki önemi o ölçüde fazladır [59,60]. Bununla birlikte entropi metodu, çok kriterli karar verme probleminde kullanılacak veri setindeki kriterler hakkındaki yargıların kısmi olması ya da hiç olmaması durumunda kriter ağırlıklarının belirlenmesinde objektif bir yöntem olarak kullanılabilir [61]. Yöntem herhangi bir subjektif değerlendirmeye ihtiyaç duymaması ve kriter ağırlıklarının hesaplanmasında karar matrisinin

oluşturulmasının yeterli olması sebebi ile farklı çok kriterli karar verme problemlerine uygulanabilmektedir [62].

Entropi yöntemi ile kriter ağırlıklarının hesaplanması dört aşamalı bir süreci kapsamaktadır [63,64].

**Aşama 1,2:** Karar matrisi düzenlenerek normalize edilir.  $i$  değeri alternatifleri,  $j$  değeri kriterleri ifade etmek üzere eşitlikte yer alan  $[x_{ij}]$   $i$ . alternatifin  $j$ . kriteri özelindeki performans değeridir.

$$K = [x_{ij}]_{m \times n} \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_{m1} & x_{m2} & \dots & x_{mn} \end{bmatrix} \quad (1)$$

$$r_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sum_{p=1}^n x_{pj}}, i = 1, 2, \dots, m, j = 1, 2, \dots, n \quad (2)$$

**Aşama 3:** Her bir kriterin entropi değeri olan  $e_j$  hesaplanır (Eşitlik 3).

$$e_j = -\ln(n)^{-1} \cdot \sum_{i=1}^m r_{ij} \ln(r_{ij}) \quad (3)$$

**Aşama 4:** Entropi değerleri bulunan kriterlerin kriter ağırlıkları hesaplanır (Eşitlik 4).

$$w_j = \frac{1 - e_j}{\sum_{j=1}^n 1 - e_j} \quad (4)$$

### 2.2. Analitik Hiyerarşi Süreci (AHS) Kriter Ağırlıklandırma

Saaty tarafından 1990 yılında önerilen analitik hiyerarşi süreci [65], çok kriterli karar verme problemlerinde kompleks karar kriterlerinin analiz edilmesine, önceliklendirilmesine ve problemin hiyerarşiler sistemine bölünmesine olanak sağlayan çok kriterli bir karar verme yöntemidir [66]. Problemin hiyerarşik yapısının tanımlanmasını temel alması ile karar vericilere kriter ve alt kriterlerin önem derecesi belirlenmesi aşamasında seçim kriterlerine odaklanılmasına olanak sağlar [67]. AHS karar vericilere birbiriyle ilişkili ve çoğunlukla birbiri ile çelişen kriterler arasında

önem derecesi belirlenmesine imkân tanıyarak karar vericinin yargısına uygun alternatiflerin belirlenmesine yardımcı olur [68,69].

Yöntem, problemin parçalara ayrılmasını ve bu parçalar arasındaki hiyerarşinin kurulmasını ilk adım olarak ele alır. Problem hiyerarşisinde en üst seviye, ulaşılmak istenen amaç, ikinci seviye kararı etkileyebilecek kriterler ve en alt seviye ise seçim alternatifleridir [70]. Karar vericilerin probleme özgü kriterleri ikili karşılaştırmaları sonucuna göre kriter ağırlıkları belirlenir. Kriter ağırlık değeri ne kadar yüksekse kriterin önemi o ölçüde yüksektir ve kriter değerlerinin ağırlıkları arasında bir baskınlık sıralaması yapılması mümkündür [71].

Yöntemin aşamaları aşağıda belirtildiği gibi özetlenebilir [72].

- Problemin tanımlanması ve hedef belirlenmesi
- Kriterlerin ve alternatiflerin belirlenmesi
- Hiyerarşik karar diyagramının oluşturulması
- Karşılaştırma matrislerinin oluşturulması
- Kriter ağırlıklarının hesaplanması
- Tutarlılık kontrolünün yapılması
- Kararın verilmesi

Kriter ağırlıklarının belirlenebilmesi için karar vericilerden kriterleri ikili olarak karşılaştırmaları istenir. Kriterlerin önem düzeyi belirlenirken Saaty'nin geliştirdiği ölçek kullanılmaktadır [73]. Önem düzeyi ölçeği Çizelge 4'de ve "K" kriter, "w" kriter ağırlığı olmak üzere örnek ikili karşılaştırma matrisi Çizelge 5'de verilmiştir.

**Çizelge 4.** AHS önem düzeyleri çizelgesi

Puan	Değer
1	Eşit önem düzeyi
3	Kısmen önemli
5	Önemli
7	Çok önemli
9	Aşırı önemli
2, 4, 6, 8	Ara değerler

**Çizelge 5.** AHS örnek ikili karşılaştırma matrisi

	K 1	K 2	...	K n
K 1	1	w1/w2	...	w1/wn
K 2	w2/w1	1	...	w2/wn
...			...	
K n	wn/w1	wn/w2	...	1

Karar vericiden ya da alan uzmanından elde edilen subjektif değerlendirmelere dayanarak karşılaştırma matrisi oluşturulur (Eşitlik 5).

$$K_{n \times n} = [k_{ij}]; \quad i, j \in \{1, 2, \dots, n\} \quad (5)$$

Kriter sayısı "n" olmak üzere "n×n" boyutundaki kare karşılaştırma matrisinde i=j olduğu hücreler 1 değerini alırken, diğer hücreler karar verici tarafından belirlenen önem düzeylerine göre puanlanır. Matristeki simetrik hücrelerde Eşitlik 6'daki dönüşüm uygulanmaktadır.

$$k_{ji} = \frac{1}{k_{ij}} \quad (6)$$

Karşılaştırma matrisinin her bir hücresi kendi sütun toplamına bölünerek, normalize edilir (Eşitlik 7).

$$b_{ij} = \frac{k_{ij}}{\sum k_j} \quad (7)$$

Normalize edilen kriter matrislerinin satır ortalamaları alınarak öncelik (ağırlık) matrisi elde edilir (Eşitlik 8).

$$W_i = \frac{\sum b_{ij}}{n} \quad (8)$$

Karar verici tarafından yapılan ikili karşılaştırmaların tutarlı olup olmadığı tutarlılık oranı (CR) hesaplanarak test edilir. CR değerinin elde edilebilmesi için bir dizi hesaplama yapılır. Karşılaştırma matrisi ve kriter ağırlık matrisi çarpımından  $\lambda$  öz vektörü elde edilir (Eşitlik 9).  $\lambda_{\max}$  ise  $\lambda$  öz vektöründeki en yüksek değerdir. CI tutarlılık indeksi ve CR tutarlılık oranı hesaplanır (Eşitlik 11,12). Rastgele gösterge değerleri (RI) Çizelge 6'da verilmiştir. Elde edilen tutarlılık oranının sıfır ya da sıfıra yakın olması karar vericilerin ikili karşılaştırma işlemlerinde tutarlı davrandıklarının bir göstergesidir. 0,10'a kadar tutarsızlık değeri kabul edilir. Bu değerden yüksek elde edilen tutarsızlık oranlarında karar vericiler karar yargılarını yeniden gözden geçirmelidir [74].

$$\lambda = W \times K \quad (9)$$

$$\lambda_{\max} = \max \lambda_i \quad (10)$$

$$CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} \quad (11)$$

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (12)$$

**Çizelge 6.** Rastgele gösterge değerleri (RI)

n	RI	N	RI
1	0,00	6	1,24
2	0,00	7	1,32
3	0,58	8	1,41
4	0,90	9	1,45
5	1,12	10	1,49

AHS yönteminde kriter ve alternatiflerin ağırlıklarının belirlenmesi sürecinde, karar vericilerin özel yargıları etkindir [75]. Bu çalışmada AHS'nin kriter ağırlıklarının belirlenmesi aşamasına kadar olan adımları uygulanmış ve karar vericilerin kriterlerin ikili karşılaştırmalarındaki tutarlılıkları test edilmiştir. Elde edilen ağırlıklar VIKOR modeline girdi olarak kullanılmıştır.

### 2.3. VIKOR Yöntemi ile Bulut Bilişim Ürün Seçimi

VIKOR, karar problemlerinde ideal sonuca en yakın alternatifi belirlemeyi hedefleyen ve farklı kriterlerin bir arada değerlendirilmesine imkân tanıyan birçok kriterli karar verme yöntemidir [76]. Birbiri ile çelişen kriterlere sahip alternatiflerin sıralanmasında uzlaşık bir çözüm bulmayı hedefler. Uzlaşık çözüm çoğunluğun en yüksek grup fayda değerini ifade ederken karşıt görüşlülerin de en az pişmanlığı sağlanır. Uzlaşık çözüm değeri ideal çözüme en yakın olan çözümdür. Seçim problemindeki her alternatifin her bir kriteri için değerlendirildiği modelde alternatifler ideal alternatife uzaklıklarına göre sıralanır [77].

Yöntemin aşamaları aşağıdaki şekilde sıralanabilir [78];

**Aşama 1:**  $i$  kriterler ve  $j$  alternatifler olmak üzere. Her bir kriter için en iyi  $f_j^+$  ve en kötü  $f_j^-$  değerleri hesaplanır (Eşitlik 13,14).

$$i = 1, 2, \dots, n, \quad j = 1, 2, \dots, m$$

$j$  kriteri süreçte fayda olarak ele alınmışsa;

$$f_j^+ = \max_i x_{ij}, \quad f_j^- = \min_i x_{ij} \quad (13)$$

$j$  kriteri süreçte maliyet olarak ele alınmışsa;

$$f_j^+ = \min_i x_{ij}, \quad f_j^- = \max_i x_{ij} \quad (14)$$

olarak hesaplanır.

**Aşama 2:** Karar matrisi elde edilen  $f_j^+$  ve  $f_j^-$  değerleri ile normalize edilerek ve  $r_{ij}$  matrisi elde edilir (Eşitlik 15). Normalize edilen karar matrisi  $w_j$  kriter ağırlıkları ile çarğılarak ağırlıklandırılmış karar matrisine dönüştürülür (Eşitlik 16).

$$r_{ij} = \frac{f_j^+ - x_{ij}}{f_j^+ - f_j^-} \quad (15)$$

$$v_{ij} = r_{ij} w_j \quad (16)$$

Aşama 3:  $S_j, R_j, Q_j$ , değerleri;  $S_j$  ortalama grup değerini,  $S_j$  en kötü grup değerini,  $Q_j$  maksimum grup faydasını ifade etmek üzere hesaplanır (Eşitlik 17,18,19).

$$S_j = \sum_{i=1}^n v_{ij} \quad (17)$$

$$R_j = \max v_{ij} \quad (18)$$

$$Q_j = q \cdot \frac{S_j - S^*}{S^- - S^*} + (1 - q) \cdot \frac{R_j - R^*}{R^- - R^*} \quad (19)$$

$f_j^+$  minimum  $S_j$  değerini,  $S^-$  maksimum  $S_j$  değerini,  $R^*$  minimum  $R_j$  değerini, ifade etmek üzere  $q$  değeri maksimum grup faydasını  $1 - q$  değeri ise minimum karşıt görüş pişmanlığını ifade etmektedir. Maksimum grup faydasında  $q > 0.5$  olması çoğunluğun olumlu tutumunu,  $q = 0.5$  uyuşmayı,  $q < 0.5$  ise reddetmeyi ifade etmektedir [79].

Elde edilen  $S_j, R_j, Q_j$ , değerleri küçükten büyüğe sıralanarak alternatifler arasındaki sıralama bulunur. Sonucun geçerliliğinin test edilebilmesi için kabul edilebilir avantaj ve kabul edilebilir istikrar koşulları test edilir. Kabul edilebilir avantaj

koşulu sıralamada en iyi ilk iki sırayı paylaşan seçenekler arasında belirgin bir fark olmasını kabul eder.  $m$  değerlendirilen alternatif sayısını göstermek üzere, ikinci ve birinci alternatif arasındaki fark (Eşitlik 20) deki eşitsizliği sağlamalıdır.

$$Q(A_2) - Q(A_1) \geq \frac{1}{1-m} \quad (20)$$

Kabul edilebilir istikrar koşulunda ise;  $Q$  değeri sıralamada en iyi olan alternatifin  $S$  ve  $R$  değerlerinin en az birisinde de sıralamada en iyi değerde olması aranır.

#### 2.4. Kriter Ağırlıklarının Hesaplanması

Amazon EC2 ürün kataloğundan elde edilen ürün listesinde bulunan özelliklerden temel sanal sunucu niteliklerinden sanal cpu(vcpu), bellek, disk, bant genişliği ve fiyat kriterleri seçim kriterleri olarak belirlenmiştir. Sistem yöneticisi ve ağ yöneticisi olan ve en az 3 yıl çalışma tecrübesine sahip uzman personelden herhangi bir iş yükü bilgisine sahip olmadan bir sanal sunucu ürün seçimi yapmaları istenildiği durumda sanal işlemci, bellek, disk, bant genişliği ve fiyat kriterlerinin birbirlerine baskınlıklarını değerlendirmeleri talep edilmiştir. Bu amaçla hazırlanan ve katılımcılara iletilen çevrim içi web formundaki AHS ikili karşılaştırma matrisindeki girdiler kriter ağırlıklarının hesaplanmasında kullanılmıştır. Toplam 28 uzman katılımcının girdileri ile AHS yöntemi kullanılarak seçim kriterlerinin ağırlıkları hesaplanmıştır. Elde edilen kriter ağırlıkları Çizelge 7’de verilmiştir.

**Çizelge 7.** AHS yöntemi kullanılarak elde edilen kriter ağırlıkları

vCpu	Bellek	Disk	Bant genişliği	Fiyat
0.3560	0.2741	0.1474	0.1113	0.1112

Karar verme sürecinde birden çok ve genellikle birbiri ile çelişen kriterin bir arada değerlendirilmesi gerekliliği karar sürecini zorlaştırmaktadır. Karşılaştırılacak kriter sayısının artması ile birlikte karşılaştırılacak ikili kriter sayısı artmakta ve AHS yönteminde ikili karşılaştırmalar ile baskınlık değerleri hesaplaması sonrasında elde

edilen tutarlılık oranı, yeterli tutarlılık değerini sağlamadığında karar vericinin kriterlerin ikili karşılaştırmalarını tekrar yapması beklenmektedir ve bu süreç kabul edilebilir tutarlılık oranı yakalanana kadar devam etmektedir. Sürecin karar vericilerin hatasına açık olması, karar verme için zaman kısıtının bulunduğu durumlarda kullanılamaması ve karar vericilerin karar kriterleri hakkında yeterli teknik bilgiye sahip olmaması durumunda uygulanamaması sebepleri ile karar verici yargısına gereksinim olmadan kriterlerin ağırlıklarının hesaplanabildiği çeşitli nesnel kriter ağırlıklandırma yöntemleri önerilmiştir. Bu yöntemlerden birisi olan Entropi yöntemi ile kriter ağırlıklandırıldığı yöntem, alternatif olarak SOA ürün seçiminin kriter ağırlıklandırma aşamasında kullanılmıştır.

Önerilen yöntemin performansının değerlendirilmesi amacıyla Matlab programında bir test yazılımı geliştirilmiştir. Test ortamında Amazon EC2 veri setindeki kriterlerin alt ve üst sınırları gözetilerek farklı talep sayılarında rastgele müşteri talepleri oluşturulmuş ve uzman görüşü alınarak kriterlerin ağırlıklandırıldığı model ile Entropi yöntemi ile kriterlerin ağırlıklandırıldığı modellerin bu talepler karşısında Amazon EC2 veri setinden önerdikleri ürünlerin benzerlikleri karşılaştırılmıştır. Rastgele oluşturulan müşteri taleplerinde, istenilen kriterleri minimum düzeyde karşılayan ürün sayıları her bir talep için farklıdır. Örneğin; “vcpu  $\geq$  14, bellek  $\geq$ 210, disk  $\geq$ 6120, bant genişliği  $\geq$ 50 ve fiyat  $\leq$ 25690” olan talep için Amazon EC2 veri setinde bu talebe uygun alternatif ürün sayısı 138 iken “vcpu  $\geq$  37, bellek  $\geq$ 143, disk  $\geq$ 1769, bant genişliği  $\geq$ 5 ve fiyat  $\leq$ 15639” olan talepte sıralama yapılacak alternatif ürün sayısı 941 olmaktadır. Entropi yöntemi ile yapılacak kriter ağırlıklandırmada alternatiflerin bulunduğu veri setinin kendi iç dinamiklerinden faydalandığından her bir talep için ortaya çıkan farklı boyuttaki veri setinin her birisi için ayrıca kriter ağırlık hesaplaması yapılmaktadır. Oluşturulan farklı müşteri talepleri sonrasında hesaplanan Entropi kriter ağırlıklarından örnek veri Çizelge 8’de verilmiştir.



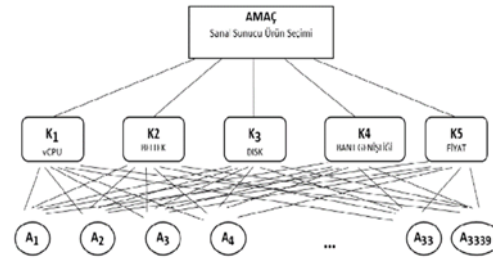
**Çizelge 8.** Entropi yöntemi kullanılarak elde edilen kriter ağırlıkları örneği

vCpu	Bellek	Disk	Bant genişliği	Fiyat
0.0267	0.1621	0.7113	0.0567	0.0429
0.0623	0.1182	0.6251	0.0917	0.1024
0.0172	0.2036	0.5972	0.1085	0.0732

$S_E$ ,  $R_E$ ,  $Q_E$  Entropi yöntemi kullanılarak elde edilen kriter ağırlıklarının VIKOR yöntemine girdi sağlanması sonucunda elde edilen sıralamalar,  $S_{AHP}$ ,  $R_{AHP}$ ,  $Q_{AHP}$  AHS yöntemi kullanılarak elde edilen ağırlıkların VIKOR yöntemine girdi sonrasında elde edilen sıralama değerleri olmak üzere rastgele oluşturulan müşteri talepleri ve yöntemlerin sıralama çıktıları örnek olarak Çizelge 9’da verilmiştir. Çizelge 9’da bulunan “Boyut” alanı alt kriterlerin alt ve üst sınırları gözetilerek rastgele oluşturulan değerlerin Amazon EC2 ürün tablosundan sorgulanması sonucunda bu talebe uygun olan ürün adedini göstermektedir.  $Q_E$  değeri  $S_E$  ve  $R_E$  değerlerinden (Eşitlik 19) ile elde edilen uzlaşık çözümdür ve bu çözüm yöntemlerin önerdiği en iyi sanal sunucu alternatifini ürün sırası

olarak ele alınmıştır.  $Q_E$  değeri ile  $Q_{AHP}$  değerleri birbirine eşit olan sonuçlar, her iki yönteminde müşteri talebi karşısında ilk sırada aynı ürünü önerdiğini göstermektedir. Sanal sunucu ürün seçiminde amaç müşteri talebine en yakın ürünü müşteriye önerilmesidir.

Seçim kriterleri  $K_1$  - vCpu,  $K_2$  - Ram,  $K_3$  - Disk,  $K_4$  - Bant Genişliği,  $K_5$  - Fiyat olarak belirlenmiş ve ürün seçimi Amazon EC2 ürün listesinde bulunan 3339 adet farklı alternatif(A) arasından yapılmıştır. Problemin karar hiyerarşisi Şekil 2’de verilmiştir

**Şekil 2.** Karar hiyerarşisi**Çizelge 9.** Yöntemlerin önerdiği ürün sıra karşılaştırması

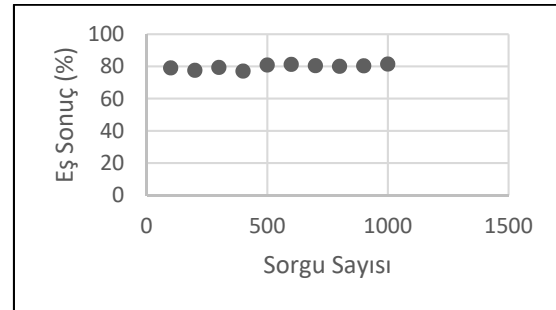
vCpu	Ram	Disk	Bant genişliği	Fiyat	Boyut	$S_E$	$R_E$	$Q_E$	$S_{AHS}$	$R_{AHS}$	$Q_{AHS}$
112	652	1020	34	31265	100	4	1	4	4	4	4
14	210	6120	50	25690	138	1	1	1	4	4	4
31	157	6631	29	37256	168	12	5	12	12	12	12
66	116	2099	49	35800	251	4	4	4	4	4	4
70	253	478	9	27181	413	154	12	154	7	7	7
37	143	1769	5	15639	941	347	347	347	347	38	347

### 3. ARAŞTIRMA BULGULARI

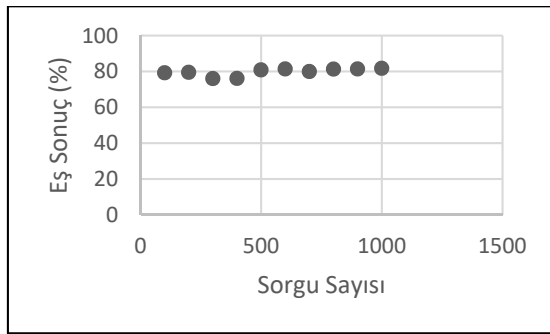
Önerilen yöntemin etkinliğinin ortaya konulabilmesi için Matlab uygulamasında geliştirilen test ortamında farklı talep sayılarında ve farklı tekrarlar da müşteri talepleri oluşturulmuş ve yöntemlerin önerdikleri ürünlerin benzerlikleri karşılaştırılmıştır.

İlk test senaryosunda; ardışık olarak gelen, kesintisiz ve yüzer talep artırılarak çalıştırılan “100, 200, 300 .. 1000 “ adetlik rastgele oluşturulan birbirinden farklı müşteri talepleri karşısında VIKOR + Entropi kriter ağırlıklandırma(Yöntem 1 - önerilen) ve VIKOR + AHS kriter ağırlıklandırma (Yöntem 2) yöntemlerinin önerdikleri ürünlerin

benzerlikleri Şekil 3’de verilmiştir. Senaryo 1’in test sonucunda modeller maksimum %81.4, minimum %79.69, ortalama %77 aynı ürün öneriminde bulunmuştur.

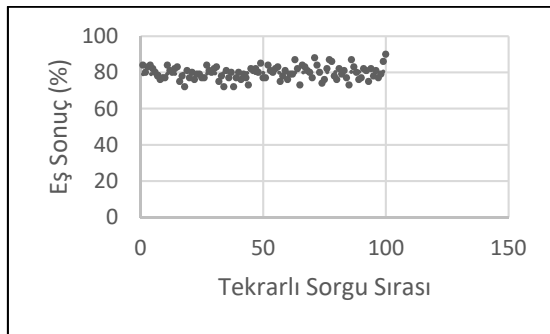
**Şekil 3.** Senaryo 1 sonuç benzerlik oranları (%)

Benzerlik sonuçlarının istikrarının test edilmesi için 100, 200, 300 ..1000 adetlik sorgular barındıran test senaryosunda her bir sorgu grubu tekrarlı şekilde 10 defa çalıştırılmış ve her bir sorgu grubundan elde edilen benzerlik oranlarının aritmetik ortalaması alınmıştır. Test sonucunda maksimum %81.7, minimum %75.96 ve ortalama %79.71 oranında aynı ürün öneriminde bulunulmuştur. Senaryo 1'in 10'ar tekrarlı yapılması ile elde edilen senaryo2'de elde edilen benzerlik sonuçları Şekil 4'de verilmiştir.



Şekil 4. Senaryo 2 sonuç benzerlik oranları (%)

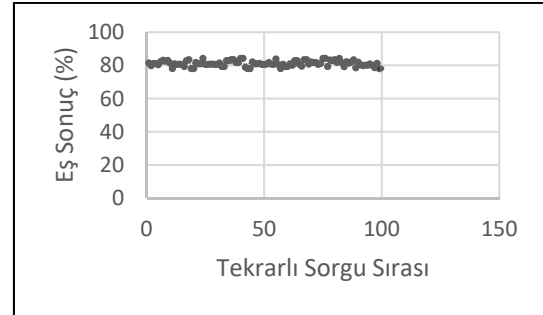
Eşit sayıda ve sürekli olarak tekrar eden müşteri taleplerindeki benzer sonuç önerim oranı 100 adet müşteri talebinin tekrarlı bir şekilde 100 defa gelmesi senaryosu üzerinden test edilmiştir. Test sonucunda maksimum %90, minimum %72, ortalama %79,75 aynı sonuç önerilmiştir. Senaryo 3'ün test edilmesi sonucu elde edilen benzerlik oranları Şekil 5'de verilmiştir.



Şekil 5. Senaryo 3 sonuç benzerlik oranları (%)

Müşterilerden gelen yüksek adetli taleplerin simule edilmesi amacı ile Senaryo 4'de 1000'er adetlik

rastgele talepler tekrarlı bir şekilde 100 defa çalıştırılmıştır. Senaryo 4'ün test edilmesi sonrasında yöntemler minimum %78, maksimum %84.2 ve ortalama %81.09 aynı ürün öneriminde bulunulmuştur. Senaryo 4 test sonuçları Şekil 6'da verilmiştir.



Şekil 6. Senaryo 4 sonuç benzerlik oranları (%)

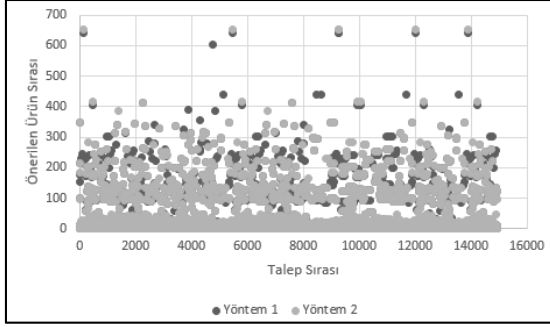
Çizelge 10. Test sonuçları karşılaştırması

Test no:	Min (%)	Maks (%)	Eş sonuç ortalaması (%)
1	79.69	81.4	77
2	75.96	81.7	79.71
3	72	90	79.75
4	78	84.2	81.09

Yapılan dört farklı test sonucu kriter ağırlıklarının AHS kullanılarak uzman görüşü ile ağırlıklandırıldığı ve VIKOR ile alternatiflerin sıralandığı yöntem ile kriter ağırlıklarının Entropi yöntemi ile hesaplandığı ve alternatiflerin VIKOR yöntemi ile sıralandığı yöntemin önerdiği ürünler arasında ortalama %79.38 aynı ürün önerisinde bulunulduğu gözlemlenmiştir. Test sonuçları her bir test için minimum, maksimum ve ortalama eş sonuç önerim oranları olmak üzere Çizelge 10'da verilmiştir.

Testler süresince Amazon EC2 ürün veri tabanından toplamda 161118 adet birbirinden farklı müşteri talebi sorgusu yapılmış ve her iki yöntemin de aynı ürünü önerdiği  $Q_E$  ve  $Q_{AHP}$  değerlerini birbirine eşit olduğu 130852 sorgu sonucu tespit edilmiştir. Toplam 161118 adet müşteri talebinde Yöntem 1 ve Yöntem 2 %81.21 oranında eş ürün öneriminde bulunulmuştur. Toplam test sürecinde her iki yöntemin oluşturulan aynı müşteri talepleri

karşısında önerdikleri ürün sıraları Şekil 7’de verilmiştir.



Şekil 7. Yöntemlerin önerdiği ürün sıra karşılaştırması

#### 4. SONUÇLAR

Bulut bilişimin SOA hizmetinde kriter sayısı ve hizmet veren bulut servis sağlayıcı çokluğu düşünüldüğünde müşterilere karar desteği sağlanması sanal sunucu ürün seçim sürecini kısaltacak ve kolaylaştırılacaktır. Çok kriterli karar verme sürecinde kriter ağırlıklandırma kriter sayısı fazlaştıkça karşılaştırılacak ikili kriter sayısı arttığından karar verici üzerinde ek yük oluşturmaktadır. Önerilen yöntem yeterli teknik bilgiye sahip olmayan yönetim seviyesindeki karar vericilere kriter ağırlıklarının nesnel olarak hesaplandığı ve karar alma sürecini kolaylaştırıldığı bir çözüm sunmaktadır. Çalışma sürecinde toplam yapılan 161118 farklı müşteri talebinde 130852 adet talepte 3339 ürünün bulunduğu Amazon EC2 sanal sunucu ürün listesinden aynı ürünün önerildiği görülmüştür. Tekrarlı test adedi ve talep sayıları farklı test senaryolarında her iki yöntem sırasıyla; %79.69, %79.71, %79.75, %81.09 ve tüm müşteri taleplerinin tamamında %81.21 aynı ürünü önermiştir. Yapılan test senaryolarındaki müşteri taleplerinin toplamında %81.21 oranında aynı ürün önerilmesi önerilen yöntemin karar vericiler için alternatif bir karar destek seçeneği olarak değerlendirilebileceğini göstermektedir. Bulut bilişime geç kararı işletmeler için stratejik bir karardır ve teknik bilgiye sahip orta seviye yöneticiler ile birlikte üst seviye yönetim kademesinin de geç sürecine dahil olması

gerekmektedir. Bulut servis sağlayıcı firmalar sanal sunucu ürünlerini müşterilerin iş yükü taleplerini ön görerek sınıflandırmakta ve buna göre ürün grupları oluşturmaktadır. Örneğin Amazon EC2 ürün ailesinde, genel amaçlı, işlem öncelikli, bellek öncelikli, donanım hızlandırıcılı, veri depolama öncelikli ve yüksek başarımlı hesaplama öncelikli olarak hazır yapılandırılmış ürün çeşitleri ile müşterilerine ürün seçiminde karar desteği sağlanmaktadır ancak bulut bilişime taşınacak çok sayıda sanal sunucusu olan ve sanal sunucuları arasında işlem yükü özelinde sınıflandırma yapmamış işletmelerin yöneticilerinin ürün seçiminde alabilecekleri karar desteği sınırlı kalmaktadır. Önerilen yöntem sayesinde sanal sunucu envanteri hakkında teknik bilgisi olmayan yönetim seviyesindeki karar vericilerin bulut bilişime geç senaryolarını test edebilmelerine imkân tanınmaktadır. Farklı servis sağlayıcı ürün verisinin de geliştirilen yöntemle eklenmesi ile birlikte talep edilen kapasite için farklı servis sağlayıcılar kullanılarak alternatif servis sağlayıcı portföyleri oluşturulması, yedeklilik sağlanması ve böylelikle servis sağlayıcı bağımlılığının ortadan kaldırılacağı seçeneklerin karar vericilere sunulması ileri çalışma konuları olarak değerlendirilmektedir.

#### 5. KAYNAKLAR

1. Qian, L., Luo, Z., Du, Y., Guo, L., 2009. Cloud Computing: An Overview. 1<sup>th</sup> International Conference, CloudCom, Beijing, China, 626-631.
2. Sunyaev, A., 2020. Internet Computing. Springer International Publishing, New York, 407.
3. Rani, B.K., Rani, B.P., Babu, A.V., 2015. Cloud Computing and Inter-Clouds–Types, Topologies and Research Issues. Procedia Computer Science, 50, 24-29.
4. Cardoso, A., Moreira, F., Escudero, D.F., 2018. Information Technology Infrastructure Library and the Migration to Cloud Computing. Universal Access in the Information Society, 17(3), 503-515.
5. Ahmad, N., Naveed, Q.N., Hoda, N., 2018. Strategy and Procedures for Migration to the Cloud Computing. 5<sup>th</sup> International Conference on Engineering Technologies and Applied Sciences (ICETAS), Skopje, 1-5.

6. Adel, A., Reza, S., David, J., 2013. Migration to Cloud Computing-The Impact on IT Management and Security. 1<sup>th</sup> International Workshop on Cloud Computing and Information Security, 9-11 November 2013, Shanghai.
7. Sefraoui, O., Aissaoui, M., Eleuldj, M., 2014. Cloud Computing Migration and IT Resources Rationalization. International Conference on Multimedia Computing and Systems (ICMCS), Marrakesh, 1164-1168.
8. Moghaddam, F.F., Rohani, M.B., Ahmadi, M., Khodadadi, T., Madadipouya, K., 2015. Cloud Computing: Vision, Architecture and Characteristics. 6<sup>th</sup> Control and System Graduate Research Colloquium (ICSGRC), Shah Alam, 1-6.
9. Xiao-hui, L., Xin-fang, S., 2013. Analysis on Cloud Computing and its Security. 8<sup>th</sup> International Conference on Computer Science and Education, Colombo, 839-842.
10. Moravcik, M., Segec, P., Kontsek, M., 2018. Overview of Cloud Computing Standards. 16<sup>th</sup> International Conference on Emerging eLearning Technologies and Applications (ICETA), High Tatras, 395-402.
11. Lei, Qing, Yingtao J., Mei Y., 2014. Evaluating Open IaaS Cloud Platforms Based Upon NIST Cloud Computing Reference Model. 17<sup>th</sup> International Conference on Computational Science and Engineering, Chengdu, 1909-1914.
12. Samreen, F., Elkhatab, Y., Rowe, M., Blair, G. S., 2016. Daleel: Simplifying Cloud Instance Selection Using Machine Learning. IEEE/IFIP Network Operations and Management Symposium (NOMS'2016), 25-19 April 2016, İstanbul.
13. Kritikos, K., Horn, G., 2018. IaaS Service Selection Revisited. 7<sup>th</sup> IFIP WG 2.14 European Conference (ESOC 2018), Como, 170-184.
14. Shannon, C.E., 1948. A Mathematical Theory of Communication. The Bell System Technical Journal, 27(3), 379-423.
15. Opricovic, S., Tzeng, G.H., 2004. Compromise Solution by MCDM Methods: A Comparative Analysis of VIKOR and TOPSIS. European Journal of Operational Research, 156(2), 445-455.
16. Saaty, T.L., 1991. Some Mathematical Concepts of the Analytic Hierarchy Process. Behaviormetrika, 18(29), 1-9.
17. Matlab Matematiksel Hesaplama Programı, 2023. <https://www.mathworks.com/products/matlab.html>, Erişim tarihi: 10.08.2023, Ankara.
18. Amazon EC2 Sanal Sunucu Ürün Listesi, 2023. <https://aws.amazon.com/tr/ec2/>, Erişim tarihi: 10.08.2023, Ankara
19. Ueno, H., Hasegawa, S., Hasegawa, T., 2010. Virtage: Server Virtualization with Hardware Transparency. Euro-Par Parallel Processing Workshops (HPPC'2009), 25-28 August 2009, Delft.
20. Ueno, H., Hasegawa, T., Yoshihama, K., 2011. System Performance Improvement by Server Virtualization. The World Congress on Engineering, London, 2-7.
21. Uddin, Mueen, Asadullah S., Adamu A., Imran A., 2014. Implementation of Server Virtualization to Build Energy Efficient Data Centers. Journal of Power Technologies, 94(2), 1-10.
22. Desai, A., Oza, R., Sharma, P., Patel, B., 2013. Hypervisor: A Survey on Concepts and Taxonomy. International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering, 2(3), 222-225.
23. Tanaka, T., Tarui, T., Naono, K., 2009. Investigating Suitability for Server Virtualization Using Business Application Benchmarks. 3<sup>rd</sup> International Workshop on Virtualization Technologies in Distributed Computing, 15-19 June 2009, Barcelona.
24. Lv, H., Dong, Y., Duan, J., Tian, K., 2012. Virtualization Challenges: a View from Server Consolidation Perspective. 8<sup>th</sup> ACM SIGPLAN/SIGOPS Conference on Virtual Execution Environments, London, 15-26.
25. Winarno, I., Ishida, Y., 2015. Simulating Resilient Server Using XEN Virtualization. Procedia Computer Science, 60, 1745-1752.
26. Jin, Y., Wen, Y., Chen, Q., 2012. Energy Efficiency and Server Virtualization in Data Centers: An Empirical Investigation. IEEE INFOCOM Workshops, 25-30, Orlando.
27. Rashid, A., Chaturvedi, A., 2019. Virtualization and its Role in Cloud Computing Environment. International Journal of Computer Sciences and Engineering, 7(4), 1131-1136.
28. Anand, A., Chaudhary, A., Arvindhan, M., 2021. The Need for Virtualization: When and Why Virtualization Took Over Physical Servers. 2019

- Advances in Communication and Computational Technology (ICACCT), Singapore, 1351-1359.
29. Prodan, R., Ostermann, S., 2009. A Survey and Taxonomy of Infrastructure As a Service and Web Hosting Cloud Providers. 10<sup>th</sup> IEEE/ACM International Conference on Grid Computing, Banf, 17-25.
  30. Longo, F., Ghosh, R., Naik, V. K., Trivedi, K. S., 2011. A Scalable Availability Model for Infrastructure-as-a-Service Cloud. 41<sup>st</sup> IEEE/IFIP International Conference on Dependable Systems and Networks (DSN), Hong Kong, 335-346.
  31. Whaiduzzaman, M., Gani, A., Anuar, N.B., Shiraz, M., Haque, M.N., Haque, I.T., 2014. Cloud Service Selection Using Multi Criteria Decision Analysis. The Scientific World Journal, 1-10.
  32. Sun, L., Dong, H., Hussain, F.K., Hussain, O.K., Chang, E., 2014. Cloud Service Selection: State-of-the-Art and Future Research Directions. Journal of Network and Computer Applications, 45, 134-150.
  33. Han, S.M., Hassan, M.M., Yoon, C.W., Huh, E.N., 2009. Efficient Service Recommendation System for Cloud Computing Market. 2<sup>nd</sup> International Conference on Interaction Sciences: Information Technology, Culture and Human, Seoul, 839-845.
  34. Ur Rehman, Z., Hussain, O.K., Hussain, F.K., 2013. Multi-criteria IaaS Service Selection Based on QoS History. 27<sup>th</sup> IEEE International Conference on Advanced Information Networking and Applications (AINA), Barcelona, 1129-1135.
  35. Ur Rehman, Z., Hussain, O.K., Hussain, F.K., 2012. IaaS Cloud Selection Using MCDM Methods. 9<sup>th</sup> IEEE International Conference on e-Business Engineering, Hangzhou, 246-251.
  36. Fattah, S.M.M., Bouguettaya, A., Mistry, S., 2020. Signature-Based Selection of IaaS Cloud Services. IEEE International Conference on Web Services (ICWS), Beijing, 50-57.
  37. Ghule, D., Gopal, A., 2018. Comparison Parameters and Evaluation Technique to Help Selection of Right IaaS Cloud. 5<sup>th</sup> IEEE Uttar Pradesh Section International Conference on Electrical, Electronics and Computer Engineering (UPCON), Gorakhpur, 1-6.
  38. Chauhan, N., Agarwal, R., Garg, K., Choudhury, T. 2020. Redundant IAAS Cloud Selection with Consideration of Multi Criteria Decision Analysis. Procedia Computer Science, 167, 1325-1333.
  39. Saha, M., Panda, S.K., Panigrahi, S., 2021. A Hybrid Multi-Criteria Decision Making Algorithm for Cloud Service Selection. International Journal of Information Technology, 13, 1417-1422.
  40. Do Chung, B., Seo, K. K., 2015. A Cloud Service Selection Model Based on Analytic Network Process. Indian Journal of Science and Technology, 8(18), 1-5.
  41. Lee, Y.H., 2014. A Decision Framework for Cloud Service Selection for SMEs: AHS Analysis. SOP Transactions on Marketing Research, 1(1), 51-57.
  42. Grgurević, I., Kordić, G., 2017. Multi-criteria Decision-Making in Cloud Service Selection and Adoption. 5<sup>th</sup> Int. Virtual Res. Conf. Tech. Disciplines, Zagreb, 8-12.
  43. Gireesha, O., Kamalesh, A.B., Krithivasan, K., Sriram, V.S., 2022. A Fuzzy-Multi Attribute Decision Making Approach for Efficient Service Selection in Cloud Environments. Expert Systems with Applications, 206, 117526.
  44. Jatoth, C., Gangadharan, G.R., Fiore, U., Buyya, R., 2019. SELCLOUD: a Hybrid Multi-Criteria Decision-Making Model for Selection of Cloud Services. Soft Computing, 23, 4701-4715.
  45. Ahmadi, J., Toroghi Haghghat, A., Rahmani, A. M., Ravanmehr, R., 2022. A Flexible Approach for Virtual Machine Selection in Cloud Data Centers with AHS. Software: Practice and Experience, 52(5), 1216-1241.
  46. Ramamurthy, A., Saurabh, S., Gharote, M., Lodha, S., 2020. Selection of Cloud Service Providers for Hosting Web Applications in a Multi-Cloud Environment. IEEE International Conference on Services Computing (SCC), Beijing, 202-209.
  47. Bibi, U., 2018. Cost Aware Resource Selection in IaaS Clouds. International Journal of Advanced Computer Science and Applications, 9(8).
  48. Abdel-Basset, M., Mohamed, M., Chang, V., 2018. NMCDA: A Framework for Evaluating Cloud Computing Services. Future Generation Computer Systems, 86, 12-29.
  49. Soltani, S., Elgazzar, K., Martin, P., 2016. QuARAM Service Recommender: a Platform for IaaS Service Selection. 9<sup>th</sup> International Conference on Utility and Cloud Computing, Shanghai, 422-425.
  50. Yamato, Y., 2017. Performance-Aware Server Architecture Recommendation and Automatic

- Performance Verification Technology on IaaS Cloud. *Service Oriented Computing and Applications*, 11, 121-135.
51. Jiang, Q., 2012. Virtual Machine Performance Comparison of Public IaaS Providers in China. *IEEE Asia Pacific Cloud Computing Congress (APCloudCC)*, Shenzhen, 16-19.
52. Yamato, Y., 2018. Server Structure Proposal and Automatic Verification Technology on IaaS Cloud of Plural Type Servers. *International Journal of Informatics and Information Systems*, 1(2), 97-106.
53. Cunha, M., Mendonça, N.C., Sampaio, A., 2017. Cloud Crawler: a Declarative Performance Evaluation Environment for Infrastructure-as-a-Service Clouds. *Concurrency and Computation: Practice and Experience*, 29(1), e3825.
54. Michael, N., Ramannavar, N., Shen, Y., Patil, S., Sung, J.L., 2017. Cloudperf: A Performance Test Framework for Distributed and Dynamic Multi-Tenant Environments. *8<sup>th</sup> ACM/SPEC on International Conference on Performance Engineering*, L'Aquila, 189-200.
55. Sachdeva, N., Kapur, P.K., Singh, G., 2016. Selecting Appropriate Cloud Solution for Managing Big Data Projects Using Hybrid AHS-Entropy Based Assessment. *International Conference on Innovation and Challenges in Cyber Security (ICICCS-INBUSH)*, Greater Noida, 135-140.
56. Kumar, R.R., Kumari, B., Kumar, C., 2021. CCS-OSSR: a Framework Based on Hybrid MCDM for Optimal Service Selection and Ranking of Cloud Computing Services. *Cluster Computing*, 24(2), 867-883.
57. Clausius, R., 1879. *The Mechanical Theory of Heat*. Macmillan, London, 373.
58. Shannon, C., 1948. A Mathematical Theory of Communication. *Bell System Tech. Journal*, 27, 379-423
59. Aomar, R.A., 2010. A Combined AHS-Entropy Method for Deriving Subjective and Objective Criteria Weights. *International Journal of Industrial Engineering*, 17(1), 12-24.
60. Wu, R.M., Zhang, Z., Yan, W., Fan, J., Gou, J., Liu, B., Wang, Y., 2022. A Comparative Analysis of the Principal Component Analysis and Entropy Weight Methods to Establish the Indexing Measurement. *PloS one*, 17(1), e0262261.
61. Mukhametzyanov, I., 2021. Specific Character of Objective Methods for Determining Weights of Criteria in MCDM Problems: Entropy, CRITIC and SD. *Decision Making: Applications in Management and Engineering*, 4(2), 76-105.
62. Ayçin, E., Güçlü, P., 2020. BIST Ticaret Endeksinde Yer Alan İşletmelerin Finansal Performanslarının Entropi ve MAIRCA Yöntemleri ile Değerlendirilmesi. *Muhasebe ve Finansman Dergisi*, 85, 287-312.
63. Odu, G.O., 2019. Weighting Methods for Multi-Criteria Decision Making Technique. *Journal of Applied Sciences and Environmental Management*, 23(8), 1449-1457.
64. Huang, J., 2008. Combining Entropy Weight and TOPSIS Method for Information System Selection. *IEEE Conference on Cybernetics and Intelligent Systems*, Chengdu, 281-284.
65. Saaty, T.L., 1990. How to Make a Decision: the Analytic Hierarchy Process. *European Journal of Operational Research*, 48(1), 9-26.
66. Ameen, R.F.M., Mourshed, M., 2019. Urban Sustainability Assessment Framework Development: The Ranking and Weighting of Sustainability Indicators Using Analytic Hierarchy Process. *Sustainable Cities and Society*, 44, 356-366.
67. Ishizaka, A., Labib, A., 2011. Review of the Main Developments in the Analytic Hierarchy Process. *Expert Systems With Applications*, 38(11), 14336-14345.
68. Darko, A., Chan, A.P.C., Ameyaw, E.E., Owusu, E.K., Pärn, E., Edwards, D.J., 2019. Review of Application of Analytic Hierarchy Process (AHS) in Construction. *International Journal of Construction Management*, 19(5), 436-452.
69. Fidan, Ü., Atak, M., 2020. Analitik Hiyerarşi Süreci ve Veri Önleme Yoluyla Türkiye'nin Güç Sistemi Portföyünün Planlanması. *Çukurova Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 35(4), 1031-1046.
70. Borade, A.B., Kannan, G., Bansod, S.V., 2013. Analytical Hierarchy Process-Based Framework for VMI Adoption. *International Journal of Production Research*, 51(4), 963-978.
71. Palcic, I., Lalic, B., 2009. Analytical Hierarchy Process as a Tool for Selecting and Evaluating Projects. *International Journal of Simulation Modelling (IJSIMM)*, 8(1).

72. Subramanian, N., Ramanathan, R., 2012. A Review of Applications of Analytic Hierarchy Process in Operations Management. *International Journal of Production Economics*, 138(2), 215-241.
73. Saaty, T.L., 2004. Decision Making-the Analytic Hierarchy and Network Processes (AHS/ANP). *Journal of Systems Science and Systems Engineering*, 13, 1-35.
74. Saaty, T.L., 2008. Decision Making with the Analytic Hierarchy Process. *International Journal of Services Sciences*, 1(1), 83-98.
75. Lin, Y.C., Chen, T., 2020. A Multibelief Analytic Hierarchy Process and Nonlinear Programming Approach for Diversifying Product Designs: Smart Backpack Design as an Example. *Journal of Engineering Manufacture*, 234(6-7), 1044-1056.
76. Opricovic, S., Tzeng, G.H., 2007. Extended VIKOR Method in Comparison with Outranking Methods. *European Journal of Operational Research*, 178(2), 514-529.
77. Ou Yang, Y.P., Shieh, H.M., Leu, J. D., Tzeng, G. H., 2009. A VIKOR-Based Multiple Criteria Decision Method for Improving Information Security Risk. *International Journal of Information Technology and Decision Making*, 8(02), 267-287.
78. Mardani, A., Zavadskas, E.K., Govindan, K., Amat Senin, A., Jusoh, A., 2016. VIKOR Technique: A Systematic Review of the State of the Art Literature on Methodologies and Applications. *Sustainability*, 8(1), 37.
79. Sofiyabadi, J., Kolahi, B., Valmohammadi, C., 2016. Key Performance Indicators Measurement in Service Business: a Fuzzy VIKOR Approach. *Total Quality Management and Business Excellence*, 27(9-10), 1028-1042.

