



Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi

Araştırma Makalesi

Kablosuz Erişim Şebekeleri İçin İşbirlikçi Oyun Teorisi İle Şebeke Seçimi

 Mehmet Onur OLGUN^{a,*},  Ulviye SAVAŞ^a

^aEndüstri Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta, TÜRKİYE

* Sorumlu yazarın e-posta adresi: onurolgun@sdu.edu.tr

DOI:10.29130/dubited.792320

ÖZ

Günümüzde giderek daha popüler hale gelen mobil terminallerin, diğer iletişim araçlarıyla etkili bir şekilde iletişim kurmaları için, hangi şebekeye bağlı olduğunu bilmek çok önemlidir. Bu çalışmada şebeke seçim senaryosunda dört aday şebeke (UMTS, GSM, WLAN, LTE-A) ve altı farklı kritere sahip mobil terminal için dört farklı trafik sınıfı bulunmaktadır. Her trafik sınıfı için hangi seçim kriterlerinin önemli olduğunu bulmak için Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP) yöntemi kullanılmıştır. İşbirlikçi oyun teorisi ile aday şebekelerin sahip olduğu ve kullanıcılara sağlayabilecekleri potansiyel kaynak değerleri elde edilmiştir. Kaynakların dağıtımını işbirlikçi oyun teorisi çözüm yöntemlerinden olan Shapley yöntemi ile hesaplanmıştır. Sonuçlar değerlendirildiğinde, WLAN şebekesinin tüm trafik sınıflarında en yüksek verimi elde etmek için en iyi seçim olduğu bulunmuştur.

Anahtar Kelimeler: İşbirlikçi oyun teorisi, Şebeke seçimi, Shapley değeri, Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP)

Network Selection with Cooperative Game Theory for Wireless Access Networks

ABSTRACT

Mobile terminals which are becoming more popular today, to communicate effectively with other communication devices, it is very important to know which network devices are connected. In this study, there are four different candidate networks (UMTS, GSM, WLAN, LTE-A) and four different traffic classes for six different criteria in the network selection scenario. Analytical Hierarchy Process (AHP) method is used to find out which selection criteria are important for each traffic class. Then, with the cooperative game theory used, the potential resource values that candidate networks have and that they will provide to the users have been obtained. Resource allocation is calculated by Shapley method which is an important solution method in cooperative game theory. When the results are analyzed, the WLAN network would be the the best choice for achieving the highest efficiency in all traffic classes.

Keywords: Cooperative game theory, Network selection, Shapley value, Analytic Hierarchy Process (AHP)

I. GİRİŞ

Günümüzde kullanımı giderek yaygınlaşan mobil terminallerin şebeke seçim durumlarına odaklanıldığı zaman karar verme sürecinde çok kriterli karar verme yöntemlerinin sıklıkla kullanıldığı görülmektedir. Çok kriterli karar verme (ÇKKV) yöntemleri birden fazla alternatif arasından belli kriter veya ölçütlere göre belirlenen amaç doğrultusunda en uygun çözümün seçilmesine yardımcı olmaktadır bu nedenle şebeke seçiminde kullanılması uygundur.

Bu yöntemlerden biri olan ve çalışmada kullanılan Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP) yönteminin şebeke seçimi için tercih edilmesini sağlayan en önemli özelliği karar vericinin hem objektif hem de öznel olarak karar verme sürecine dahil olmasıdır [1]. Bu süreçte kullanılan AHP yöntemi şebeke seçimi için belirlenen kriter veya ölçütlerin hangisinin daha fazla öneme sahip olduğunu belirlememize yardımcı olmaktadır. Yani elde edilen veriler doğrultusunda bu kriterlerden hangisinin daha önemli olduğu ve işlem sırasında hangi kritere daha fazla öncelik verileceğini belirlemek için kullanılır. Literatürdeki çalışmalar incelendiğinde AHP dışında farklı ÇKKV yöntemlerinin de yoğunluklu olarak kullanıldığı gözlemlenmektedir. Burada bazı çalışmalar örnek olarak incelenebilir. [2] çalışmasında bulanık AHP (BAHP), entropi, TOPSİS olmak üzere üç farklı ÇKKV yöntemi uygulanarak bunun sonucunda şebeke seçimi gerçekleştirilmiştir. [3] de yine bir seçim için kriter ağırlık hesaplamasında AHP, entropi ve standart sapma yöntemleri kullanılmıştır.

Karar verme işleminden sonra uygulanan oyun teorisi, servis sağlayıcılar arasında kurulacak koalisyonlara dayalı iş birliklerinin davranışlarını incelenmesine yardımcı olur [4]. Oyun teorisi, ekonomik birimler arasındaki olası çatışma durumlarını inceleyen matematiksel modellerdir. Oyun teorisi, işbirlikçi olan ve işbirlikçi olmayan oyunlar olmak üzere iki ayrı sınıfa ayrılmaktadır. İşbirlikçi olmayan oyunlar, oyuncuların (ekonomik birimlerin) bireysel oyuncular arasında rekabetçi bir ortamda, yalnızca kendi faydalarını gözeterek kurguladıkları bir durumdur. İşbirlikçi oyunlar ise, oyuncuların işbirliği durumuna gitmesi halinde ortak bir bağlayıcı anlaşma planı oluşturarak aralarındaki pazarlık durumlarını analiz etmeye ve beraber oluşturdukları toplam kazanç ya da kaybın dağıtımının nasıl yapılacağına odaklanır.

Özellikle, her bir olası koalisyonun (işbirliğine giden oyuncuların alt grupları) ortak kazançları her bir oyuncunun işbirliği durumunda koalisyona olan katkısını daha iyi karşılaştırabilmek amacıyla hesaplanır. Bunun yanında uygun ve adil bir dağıtım yöntemi (çözüm) oluşturmak için de katkıları hesaplanmaktadır. Koalisyonun kazanç veya kayıpları, incelenen oyununun koalisyon değerleri olarak düşünülür. Oyun teorisinde oluşan büyük koalisyonun kazanç/kayıplarının adil bir dağıtım için farklı çözüm kavramları kullanılmaktadır. En yaygın kullanılan yöntemler çekirdek, Shapley değeri, nükleolus, τ değeridir. Çekirdek (core) ve Weber kümesi yöntemleri yöntemleri küme çözüm olarak belirlenmiştir ve Shapley değeri, Nükleolus, τ değeri de tek nokta çözüm yöntemleridir.

ÇKKV yöntemleri ile birlikte kullanımı yaygın olan oyun teorisi alanında literatürde ne tür uygulamaların yapıldığının daha rahat anlaşılması açısından bazı çalışmalar incelenmiştir. [5] çalışmasında heterojen bir şebeke ortamında seçim için ağırlık hesaplaması AHP, standart sapma, entropi yöntemleri ile hesaplanarak ardından oyun teorisi ile birlikte kullanılmıştır. [6], Şebekeler için oyun teorisine dayanan bir şebeke seçim algoritması geliştirilmiştir. Ağırlık hesaplamaları AHP yöntemi ile yapılmış ve oyun teorisi kullanarak kaynak sağlayıcılara dağıtılmıştır. Bu çalışma sonucunda önerilen algoritmanın şebeke kullanımının göz önünde bulundurulduğu, gereksiz değişimlerden kaçındığı ve şebeke verimliliğini iyileştirerek kullanıcı gecikmesini azalttığı gözlemlenmiştir. Bu çalışmaların yanında özelleştirilmiş bazı oyun çeşitlerinin de uygulamalarda kullanıldığı gözlemlenmektedir. [7] de birden fazla kablosuz erişim şebekesine bağlanma sonucu bant genişliği tahsisinde yaşanan bir şebeke probleminin çözümü için N -kişilik bir özel oyun olan iflas oyunu kullanılmıştır. Çekirdek kavramı ve ardından bir bağlantıya ayrılan bant genişliği tahsisi için Shapley değeri yöntemi uygulanmıştır.

Yapılan bu çalışmada şebeke seçiminde, şebekelerin özelliklerinin, analitik hiyerarşi prosesi ile nasıl ağırlıklandırıldığını ve ardından işbirlikçi oyun teorisi ile heterojen bir şebeke ortamında kablosuz erişimler için şebeke seçimlerinde kaynak tahsisinin nasıl belirleneceğini incelemek için uygun dağıtım çözümlerinin elde edilmesi için kullanılmıştır [3]. Kazanç/kaybın adil tahsis değerlerini hesaplarken kullanılabilir Shapley değeri, oyuncuların işbirliği yapmaları durumunda şebekelerin ne kadar fayda(kaynak) sağladığını gösterir. Bu kaynak dağıtım problemi özel bir N -kişili işbirlikçi oyun olan iflas oyunları ile modellenmiştir. Literatürde şebeke seçimi için alternatifler arasından belirli kriterlere göre işbirlikçi oyun teorisi yöntemlerinden Shapley dağıtım metodu kullanılarak yapılan bir çalışmaya rastlanmamıştır. Özetle bu çalışma ile asıl amaçlanan, ulusal düzeyde yayınlanmış literatür çalışmaları incelendiğinde gelişim sürecinin başında olan bu çalışma alanı için öncü bir çalışma ortaya koyabilmektir.

II. MATERYAL VE METOT

Analitik hiyerarşi prosesi Thomas Saaty (1980) tarafından önerilmiş bir yaklaşımdır. Karmaşık durumlarda karar vermeyi kolaylaştırmak veya konu ile ilgili parametrelerin önceliğini belirlemeye yardımcı olmak için kullanılır. Karar verme sürecinde AHP, birden fazla kritere sahip olduğunda, karmaşıklığı azaltmak için kriterlerin karşılaştırmasından elde edilen sonuçlar sayesinde öncelik sırasını belirler ve hangi adayın seçilmesi gerektiğinin karar verilmesi aşamasına yardımcı olur. AHP aynı zamanda karar alma seçimlerinin tutarlılığını kontrol etmeninde bir yöntemidir. Bu da karar alma sürecindeki önyargıyı azaltmaktadır.

AHP, kriterlerin ikili olarak karşılaştırılması sonucu her kriter için bir ağırlık alır. Bu ağırlık, kriterin önemini gösterir. Her kriter için AHP, karar vericilerin bu kriterlerin ikili karşılaştırmasına dayanarak her karşılaştırma değerine bir puan verir. Seçilen kriter diğer kriterle karşılaştırıldığında atanan puan değeri ne kadar yüksek olursa, seçilen kriterin önemi o kadar yüksek olur. Bu hesaplamalardan sonra AHP, her kriter için bir puanlama yaparak ve sonuç olarak bir sıralama yaparak, kriterler için ağırlıklarını elde eder ve bu ağırlıklar yardımıyla önem sırasını oluşturur [8].

AHP kriterlerinin ağırlıklarının hesaplaması için ikili karşılaştırma matrisleri oluşturur. Bu ikili karşılaştırma matrisleri T . Saaty tarafından geliştirilen 1 'den 9 'a kadar olan sayısal bir ölçeğe göre oluşturulur. Bunun sonucunda N matrisi elde edilir. N matrisi oluşturulduktan sonra, normalize edilmiş çift taraflı karşılaştırma matrisi N_{norm} elde edilir. Son olarak, w (vektör boyutlu bir sütun vektörü olan) ağırlık vektörü kriterleri, N_{norm} 'un her bir sırasındaki elemanların ortalaması alınarak oluşturulur [9].

Analitik hiyerarşi prosesi her ne kadar tutarlı bir yöntem olsa da işleme alınan değerler kullanıcıya göre değişmekte yani, karar vericinin ne kadar tutarlı olduğu ile ilgilidir. Bu nedenle yapılan çalışmanın tutarlılığının ölçülebilmesi için tutarlılık oranı (CR) hesaplanması gerekmektedir. Tutarlılık oranı bize öncelik vektörü ve alternatifler arasında yapılan ikili karşılaştırmaların tutarlılığını gösterecektir. CR hesaplaması için öncelikle temel değer (λ) hesaplanmalıdır. Temel değer için D matrisi, $D = [d_{ij}]_{m \times n}$, $d_{ij} > 0$ ($i = 1, \dots, m; j = 1, \dots, n$) eş. (1) ile elde edilir.

$$D = A \times w_j \quad (1)$$

D matrisi elde edildikten sonra her bir değerlendirme faktörüne ilişkin temel değer (E) eş. (2) ve (3)'deki gibi hesaplanmaktadır.

$$E_j = \frac{d_j}{w_j} \quad (2)$$

$$\lambda = \frac{\sum_{i=1}^n E_j}{n} \quad (3)$$

λ hesaplanmasından sonra tutarlılık göstergesi olan CI değeri eş. (4) ile hesaplanır.

$$CI = \frac{\lambda - n}{n - 1} \quad (4)$$

Rassal gösterge olarak adlandırılan RI değeri Tablo 1'e göre elde edilmektedir ve ardından CR değeri eş. (5)'e göre elde edilmektedir. Hesaplanan CR değerinin 0.10 dan küçük olması karar vericinin yaptığı karşılaştırmaların tutarlı olduğunu gösterir. CR değerinin 0.10' dan büyük olması ya AHP' deki bir hesaplama hatasını ya da karar vericinin karşılaştırmalarındaki tutarsızlığını gösterir.

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (5)$$

Tablo 1. RI değerleri

n	1	2	3	4	5	6
RI	0	0	0,58	0,90	1,12	1,24

Şebekeler farklı özelliklere yani farklı kriterlere sahiptir. Şebeke özelliklerinin bazıları fayda (kazanç) eğilimli, diğerleri de kayıp (maliyet) eğilimlidir. Bu nitelikler, en küçük en iyi sınıfına ait olan ve mümkün olduğunca en düşük olmaları istenen maliyet, gecikme ve paket kaybı oranıdır. Öte yandan, mevcut bant genişliği ve güvenlik gibi bazı niteliklerin büyük en iyi olan sınıfa aittir ve fayda odaklı olmalarından dolayı en yüksek değere sahip olmaları istenir. Verilen özelliklerdeki farklılıklar nedeniyle normalizasyon işlemi gerekli bir hesaplamadır.

$N_{setiN} = \{N_1, \dots, N_m\}$, alternatif şebekeleri, yani aday şebekeleri, m 'nin toplam aday şebeke sayısını temsil ettiğini göstermekte ve normalizasyon aşağıdaki kurallara göre yapılmaktadır.

Bir T matrisi $T = [t_{ij}]_{m \times n}, t_{ij} > 0 (i = 1, \dots, m; j = 1, \dots, n)$, t_{ij} aday şebekenin j . şebeke niteliğinin (kriterin) değerini temsil etmek amacıyla tanımlanmıştır. T matrisi her bir kriter için, aday şebekelerin ikili karşılaştırması sonucu elde edilen ağırlık değerleri ile oluşturulmaktadır.

En büyük en iyi matrislerinin elde edilmesi için $L = [l_{ij}]_{m \times n} (i = 1, \dots, m; j = 1, \dots, n)$ matrisi göz önünde bulundurulmaktadır. Bu matris oluşturmak için eş. (6)-(7) kullanılır:

t_{ij} en küçük en iyi sınıfındaysa;

$$l_{ij} = 1 / t_{ij} \quad (6)$$

t_{ij} en büyük en iyi sınıfındaysa;

$$l_{ij} = t_{ij} \quad (7)$$

olur. En büyük en iyi matrisinin normalize edilmesi için L 'deki elemanların boyutları, eş. (8)'e göre sütun sütun çıkarılmıştır.

$$h_{ij} = \frac{l_{ij}}{\max\{l_{ij} | 1 \leq i \leq m + \min\{l_{ij} | 1 \leq i \leq m\}} \quad (8)$$

Daha sonra, eş. (9)'a göre elde edilen nihai normalleştirilmiş sonucu belirtmek için bir $K = [k_{ij}]_{m \times n}, k_{ij} \neq 0 (i = 1, \dots, m; j = 1, \dots, n)$ matrisi sunulmuştur.

$$k_{ij} = \frac{h_{ij}}{\sum_{i=1}^m h_{ij}} \quad (9)$$

K matrisindeki öğelerin, bir dereceye kadar aday şebekelerin sahip olduğu kaynak değerleri olarak görülebileceği önemli bir noktadır. Örneğin, elemanların değeri büyüdükçe, şebekelerin sahip olduğu kaynak değeri daha fazla olarak varsayılmaktadır. Sonuç olarak, her aday için elde edilen potansiyel kaynak değer K matrisinde elde edildiğinden, potansiyel kaynak matrisi (PKM) olarak adlandırılır [6].

A. ŞEBEKE SEÇİMİ İÇİN İFLAS OYUNU MODELİNİN GELİŞTİRİLMESİ

Şebeke seçimi sürecinde, her aday şebekenin kaynak potansiyelini değerlendirmek için N -kişili özel bir işbirlikçi oyun olan iflas oyunları dikkate alınmıştır. İflas oyununun içeriğine bakıldığında, oyunda iflas etmiş bir şirket ve birden fazla alacaklı vardır. Ancak alacaklılardan gelen taleplerin toplamı, iflas eden şirketin toplam kaynak değerinden daha yüksektir. Buna ek olarak, iflas eden bir oyunda her zaman işbirliği vardır. Bu şekilde oyuncular kendi kazancından daha fazlasını elde etmeyi amaçlar. İflas oyununda her oyuncu kendi payı için kaynak değerlerine karşılık gelen karakteristik (kazanç/kayıp) fonksiyonları bulunur.

İşbirlikçi oyunlarının çözümünü elde etmek için literatürde bir çok farklı yöntem vardır. Bu çalışmada adil bir kaynak dağıtımı yapabilmek için Shapley değeri yöntemi kullanılmıştır. İflas oyununun şebeke seçimine uyarlanabilmesi için, oyuncular şebeke seçimindeki aday şebekelerle eşleştirilmiştir. Aday şebekeler arasında kurulan koalisyonlar, her aday şebekenin ne kadar potansiyel kaynak değerine sahip olduğunu görmek amacıyla kurulmuştur. Her aday şebeke için potansiyel kaynak değerleri (PR), Shapley değeri metodu kullanılarak hesaplanmıştır.

$K^* = [k_1^*, \dots, k_n^*]$ kümesi, mobil kullanıcı tarafından istenen kaynak sırasını belirme amacıyla tanımlanmıştır. Burada $k_j^* (j = 1, \dots, n)$ istenen j sütununun kaynak matrisindeki değeridir. k_j^* , eş. (10)'a göre elde edilmektedir.

$$k_j^* = \max\{k_{ij}, i = 1, \dots, m\}, j = 1, \dots, n \quad (10)$$

Koalisyon S, N 'nin bir alt kümesidir (yani, $S \subset A$). Oyunun koalisyon formu, $(v, v: 2^m \rightarrow R)$ oyunun karakteristik bir işlevi olduğu ve oyunda m aday şebekesi olan 2^m koalisyonun bulunduğu (A, v) çifti olarak tanımlanmaktadır. Burada, her koalisyon için düşünülen kazanç değeri, eş. (11)'deki karakteristik kazanç fonksiyonu ile elde edilmektedir.

$$v_j(S) = \max(0, k_j^* - \sum_{i=1, N_i \notin S}^m k_{ij}), j = 1, \dots, n \quad (11)$$

$$v_j(\emptyset) = 0, \quad v_j(A) = k_j^*$$

Tüm olası koalisyonlar için karakteristik fonksiyon değeri elde edildikten sonra, her adayın kullanıcıya sağlayacağı kaynak potansiyel değeri olan PR değeri işbirlikçi oyun teorisi çözüm yöntemlerinden Shapley değeri ile hesaplanmıştır. Shapley değeri bir koalisyon için elde edilmiş olan toplam kazancı, koalisyonu oluşturan tüm oyunculara eşit şekilde dağıtan adil bir tahsis yöntemidir. Şebeke seçim sürecinde oyuna dahil olan n çeşit kaynak vardır. Oyunun Shapley değeri, $G = \langle N, v(i) \rangle i \in N$ de her oyuncu için eş. (12) ve (13) kullanılarak hesaplanabilir [6][9].

$$\varphi_i(G) = \frac{1}{|N|!} \sum_{S \subseteq N \setminus \{i\}} |S|! (|N| - |S| - 1)! [v(S \cup \{i\}) - v(S)] \quad (12)$$

$$\sum_{i=1}^m \varphi_{ij} = k_j^*, \quad j = 1, \dots, m \quad (13)$$

Şebeke seçiminde, iflas oyunundaki gösterimlere karşılık gelen gösterimler Tablo 2'de gösterildiği gibidir.

Tablo 2. İflas oyunu ve şebeke seçimi için parametreler

Değişkenler	İflas Oyunu	Şebeke Seçim Problemi
m	Varlık dağılımı yapılacak toplam oyuncu sayısı	Toplam şebeke sayısı
N	Alacaklı olan oyuncuların kümesi	Şebekelerin kümesi
k_j	Tahsis değeri (varlık)	İstenen kaynak değeri
k_{ij}	i. oyuncunun talep değeri	i. şebekenin sahip olduğu kaynak değeri
v_{ij}	i. oyuncunun aldığı tahsis değeri (kaynak)	i. şebekenin aldığı potansiyel kaynak değeri

B. ADAY ŞEBEKELERİN SIRALANMASI

Birden fazla kriterin ağırlıkları AHP yöntemiyle hesaplanırken, her aday şebekenin de mobil kullanıcılara sağladığı potansiyel kaynakdeğerleri de iflas oyunu modelindeki dağıtım yöntemleriyle hesaplanmıştır. Şebekeler için bir öncelik sırası, AHP ve iflas oyunda hesaplanan değerlerin bir kombinasyonu ile elde edilir ve şebekelerin potansiyel katkısı (PC) ve potansiyel katkısı oranı (PCR) hesaplanır. Eş. (14) ve (15)'deki gibi hesaplanırlar [6].

$$PC_i = \sum_{j=1}^n w_j v_{ij}, \quad i = 1, \dots, m \quad (14)$$

$$PCR_i = \frac{PC_i}{\sum_{i=1}^m PC_i} \times 100\% \quad (15)$$

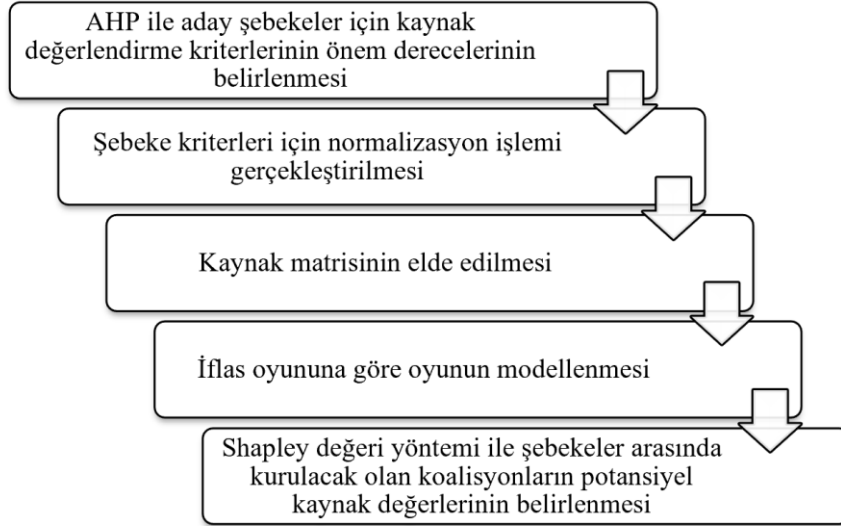
III. UYGULAMA

Bu çalışmada mobil terminallerin şebeke seçimleri göz önünde bulunarak bir uygulama geliştirilmiştir. Uygulamada, GSM (Mobil İletişim için Global Sistem), UTM'ler (Urchin izleme modülü), LTE-A (Uzun Vadeli Gelişim-Gelişmiş), WLAN, (Kablosuz Yerel Alan Şebekesi) şebekelerinden oluşmaktadır. Dört farklı aday şebekenin yerel şebeke alanlarında bulunan mobil terminal (MT), alanların ortasında sabit bir hızda rasgele hareket eder. Burada, mobil terminal (MT); konuşma, akış, etkileşimli ve arka plan dahil olmak üzere dört farklı tipik trafik sınıfı vardır. Her alternatif şebekelerin karşılaştırma kriterleri; mevcut bant genişliği (B), gecikme süresi (T), gecikme titreşimi (G), paket kaybı oranı (R), bit hata oranı (E) ve servis fiyatı (P)'dir. Sonuç olarak, heterojen bir şebeke seçimi senaryosu; aday şebekeler kümesi Şebekeler = {GSM, UMTS, LTE-A, WLAN}, karar göstergeleri seti (yani şebeke özellikleri) = {B, T, G, R, E, P}, trafik sınıfı, Trafik Sınıfları = {Konuşma sınıfı, etkileşimli sınıf, kesintisiz işlem sınıfı, arka plan sınıfı}, bu kümeler tarafından temsil edilir. Uygulama sürecinde, aday şebekeler için her bir kriterin ölçüm değerleri sürekli değişmektedir. bu nedenle her kriter için bir aralık değeri belirlenmiş ve bu değerlerin ortalamaları alınmıştır. Bu değerler Tablo 3'te gösterilmiştir.

Tablo3.Şebeke parametreleri

Şebekeler	B/Mbps	T/ms	G/ms	R/%	E/%	P
GSM	0,3	30 (10~60)	15 (10~40)	0,5 (0,3~1,4)	0,03 (0,01~0,05)	0,4
UMTs	1,1	45 (40~80)	30 (25~60)	0,9 (0,7~2,2)	0,05 (0,04~0,09)	0,3
LTE-A	2,0	60 (70~110)	50 (45~80)	1,2 (0,8~2,3)	0,10 (0,08~0,12)	0,2
WLAN	5,0	85 (90~140)	65 (60~100)	1,6 (0,9~2,4)	0,20 (0,10~0,35)	0,1

Bölüm II’de anlatılan hesaplamaların bir örnek üzerinde nasıl uygulandığının daha kolay anlaşılabilmesi açısından uygulamanın akış şeması Şekil 1’de verilmiştir. Kısaca özetlenecek olursa burada ilk olarak AHP için aday şebekeler arasındaki değerlendirme kriterlerinin önem derecesi belirlenmiştir. Ardından normalizasyon işlemleri ile kaynak matrisi elde edilmiştir. Bu değerlere göre iflas oyunu temelli oyun modellenmiş ve ardından şebekelerin potansiyel kaynak değerlerinin hesaplanması için Shapley değeri yöntemi kullanılmıştır.



Şekil 1. Uygulama akış şeması

Şebeke özelliklerinin ağırlığını ve kullanıcının tercihlerinin fayda değerlerini hesaplamak için, ilk olarak, MT tarafından oluşturulan ölçüt matrisinin ağırlıkları AHP yöntemiyle hesaplanmaktadır. Daha sonra, Shapley metodunu kullanarak, her bir şebekenin ne kadar kaynak potansiyeline sahip olduğuna bakılarak, her bir kriterin ağırlığını dikkate alacak bir sıralama yapılmıştır. Bu dizilim, hangi şebekenin birden fazla kriter altında daha faydalı olacağını göstermektedir.

Kullanıcı tercihlerinin öznel ağırlık değerlerinin hesaplamak için ikili karşılaştırma matrislerinde x_i ve x_j 'nin önemini karşılaştırmak için kullanılan 1-9 ölçeği Tablo 4’te gösterildiği gibi kullanılmıştır. Karşılaştırma matrislerinde tablodaki değerler aşağıdaki gibidir.

Tablo 4. Karşılaştırma matrislerinin elemanları için önem dereceleri

x_i ve x_j 'nin önem derecesi karşılaştırması	Eşit önemli	Orta derece önemli	Çok önemli	Özellikle daha önemli	Aşırı önemli
a_{ij}	1	3	5	7	9

Trafik sınıfındaki her bir alt sınıfın karşılaştırılması için dört farklı karşılaştırma matrisi elde edilmiştir. Dört matris sırasıyla AC , AS , AI , AB olarak vedahasonra Tablo 5-8’de gösterildiği gibi WA_C , WA_S , WA_I , WA_B ile gösterilen ağırlık değeri ile belirtilir [4]. Ağırlık değerlerinin hesaplanması için kullanılan ikili karşılaştırma matrisleri ve önem dereceleri [4] referanslı çalışmadaki karar vericinin yapmış olduğu değerlendirmelerden elde edilmiştir.

Tablo 5. Konuşma özelliği için ağırlık matrisi

	B	T	G	R	E	P	WA_C
B	1	0,14	0,20	0,33	0,33	1	0,0448
T	7	1	3	5	5	7	0,4441
G	5	0,33	1	4	4	5	0,2591
R	3	0,20	0,25	1	1	3	0,1036
E	3	0,20	0,25	1	1	3	0,1036
P	1	0,14	0,20	0,33	0,33	1	0,0448

Tablo 6. Kesintisiz işlem özelliği için ağırlık matrisi

	B	T	G	R	E	P	WA_S
B	1	0,25	3	5	3	4	0,2130
T	4	1	5	9	5	7	0,4771
G	0,33	0,20	1	4	1	3	0,1118
R	0,20	0,11	0,25	1	0,25	0,50	0,0342
E	0,33	0,20	1	4	1	3	0,1118
P	0,25	0,14	0,33	2	0,33	1	0,0522

Tablo 7. Etkileşim özelliği için ağırlık matrisi

	B	T	G	R	E	P	WA_I
B	1	5	6	0,33	0,33	1	0,1427
T	0,2	1	3	0,17	0,17	0,2	0,0487
G	0,17	0,33	1	0,11	0,11	0,17	0,0265
R	3	6	9	1	1	3	0,3197
E	3	6	9	1	1	3	0,3197
P	1	5	6	0,33	0,33	1	0,1427

Tablo 8. Arka plan özelliği için ağırlık matrisi

	B	T	G	R	E	P	WA_B
B	1	0,5	1	0,14	0,11	1	0,0452
T	2	1	2	0,17	0,14	2	0,0781
G	1	0,5	1	0,14	0,11	1	0,0452
R	7	6	7	1	0,5	7	0,3197
E	9	7	9	2	1	9	0,4666
P	1	0,5	1	0,14	0,11	1	0,0452

Tablo 5-8'de verilmiş olan ağırlık hesaplaması için tutarlılık oranı eş. (5)'e göre hesaplanmış ve aşağıda gösterilmiştir. Bu hesaplama sonucunda her trafik sınıfı için hesaplanan CR değeri 0,10'dan küçük olduğu için karşılaştırmaların tutarlı olduğu gözlemlenmiştir. Değerler tablo 9'da verilmiştir.

Tablo 9. Trafik sınıflarının CR değerleri

CR_K (Konuşma sınıfı)	0,0370
CR_{KI} (Kesintisiz işlem)	0,0407
CR_E (Etkileşim özelliği)	0,0372
CR_A (Arka plan özelliği)	0,0106

Her bir kriter için ayrı olarak aday şebekelerin ikili karşılaştırma matrislerinin normalizasyonundan yararlanılmıştır. Kurulacak oyunda kullanılmak üzere amaç en büyük en iyi matris değerlerinin elde edilmesidir. Bu ikili karşılaştırma matrisine örnek olarak B kriteri için aday şebekelerin ikili karşılaştırma matrisi ve hesaplanan ağırlık değeri Tablo 10'da gösterildiği gibidir.

Tablo 10. B kriteri için aday şebekelerin ikili karşılaştırma matrisi

	GSM	UTMS	LTE-A	WLAN	WPb
GSM	1	0,25	0,17	0,14	0,0517
UTMS	4	1	0,25	0,25	0,1339
LTE-A	6	4	1	0,5	0,3306
WLAN	7	4	2	1	0,4837

Her kriter için aday şebekelerin ikili karşılaştırma matrislerinden hesaplanan ağırlık değeri ile elde edilen T matrisi Tablo 11'de gösterildiği gibidir.

Tablo 11. Potansiyel kaynak matrisi

	B	T	G	R	E	P
GSM	0,051	0,523	0,164	0,520	0,520	0,186
UTMS	0,133	0,271	0,393	0,268	0,268	0,137
LTE-A	0,330	0,146	0,393	0,140	0,140	0,049
WLAN	0,483	0,058	0,048	0,070	0,070	0,627

Elde edilen T matrisinde sadece B kriterlerinin maksimum değere ayarlanması ve bu kriter için normalizasyon işleminin eş. (7)'de olduğu gibi en iyi matris kurallarına göre oluşturulması gerekmektedir.

Tablo 13. En iyi en büyük matrisi

	B
GSM	0,0517
UTMS	0,1338
LTE-A	0,3306
WLAN	0,4837

Normalizasyon işleminden sonra; eş. (10) ile, k_j^* değeri 0,4837 olarak hesaplanmıştır. Ve sonra eş. (11), karakteristik fonksiyonlar hesaplanır ve Tablo 13'de bulunan koalisyon değerleri elde edilir.

Tablo 13. Koalisyonların karakteristik fonksiyon değerleri

$v(\emptyset) = 0$	$v(4) = 0$	$v(1,2) = 0,0192$	$v(124) = 0,1531$
$v(1) = 0$	$v(1,2) = 0$	$v(2,4) = 0,1014$	$v(134) = 0,3499$
$v(2) = 0$	$v(1,3) = 0$	$v(3,4) = 0,2981$	$v(234) = 0,4320$
$v(3) = 0$	$v(2,3) = 0$	$v(123) = 0,1531$	$v(1234) = 0,4837$

Eş. (12) - (14) ile karakteristik fonksiyondan elde edilen koalisyon değerlerini kullanarak shapley değerleri hesaplanır. Hesaplama sonucu Tablo 14'te verilmektedir. $x(S)$, Shapley değerleri yöntemi ile elde edilen değerleri gösterir.

Tablo 14. Shapley değeri çözümleri sonuçları

Aday Şebekeler (Oyuncular)	$x(S)$
GSM	0,0359
UTMS	0,0770
LTE-A	0,1754
WLAN	0,1954

A. ŞEBEKE SEÇİMİNİN YAPILMASI

Hesaplamalar sonucu edilen en büyük en iyi matrisinde, eş. (3) ve (4). kullanılmıştır. En büyük iyi matrisin normalizasyon işlemlerinden sonra eş. (6)'yı kullanarak her bir potansiyel şebekenin sağlayabileceği kaynak potansiyel değerlerini hesapladık. En büyük en iyi matrisini oluşturan B kriterinin ağırlık değerlerinin ve Shapley değeriyle elde ettiğimiz değerlerin birleşimi için eş. (14) ve (15) kullanılmış, bunun sonucunda elde edilen, her özellik için seçilen en iyi şebeke Tablo 15'te gösterilmektedir. PC değerleri sırası ile GSM, UTMS, LTE-A, WLAN şebekelerini temsil etmektedir.

Her özellik için incelendiğinde en iyi şebeke tercihinin PC4 yani WLAN olduğu bulunmuştur. Her özellik için PC4 seçiminin yapılması sadece o şebekenin öneminin çok yüksek olduğunu göstermektedir. Bu doğrultuda WLAN şebekesi seçilmiştir.

Tablo 15. En iyi aday şebekenin seçilmesi

	Konuşma Sınıfı	Kesintisiz İşlem Sınıfı	Etkileşim Sınıfı	Arka Plan Sınıfı
PC1(GSM)	0,0016	0,0076	0,0051	0,0016
PC2(UTMS)	0,0034	0,0164	0,0110	0,0035
PC3(LTE-A)	0,0079	0,0374	0,0250	0,0079
PC4(WLAN)	0,0088	0,0416	0,0279	0,0088
	0,0088	0,0416	0,0279	0,0088
	PC4	PC4	PC4	PC4

B. DUYARLILIK ANALİZİ

III. bölümde yapılmış olan hesaplamalar sonucunda elde edilen değerlerin hangi durumlarda değişiklik gösterdiğinin bulunması açısından üç farklı senaryo daha değerlendirilmiştir. Bu senaryolar Tablo 13'te en yüksek değere sahip olması beklenen kriter değerinin ağırlıklarının değiştirilmesi ile elde edilmiştir. Oluşturulan üç farklı senaryo durumu için kullanılacak olan B kriterinin ağırlık değerleri Tablo 16'da gösterildiği gibidir.

Tablo 16. Üç farklı senaryo durumuna ait B kriterinin ağırlık değerleri

	Ağırlık Değeri	Senaryo 1	Senaryo 2
GSM	0,0517	0,4837	0,4837
UTMS	0,1339	0,1339	0,3307
LTE-A	0,3307	0,3307	0,1339
WLAN	0,4837	0,0517	0,0517

Tablo 16'da verilen iki farklı senaryo incelenecek olursa; senaryo 1'de, uygulamada hesaplanan ağırlık değerlerinden en yüksek ve en düşük ağırlık değerine sahip olan GSM ve WLAN ağırlık değerleri kendi aralarında değiştirilmiştir. Senaryo 2 için yine GSM ile WLAN ağırlık değerleri kendi arasında

yer değiştirmiş buna ek olarakta UTMSveLTE-A ağırlık değerleri de kendi aralarında yerdeğiştirmiştir.

Uygulama bۆlümünde kullanılan eş. (7)-(11), bahsedilen iki farklı senaryo için de uygulanmış ve PC değerleri hesaplanmıştır. Her bir senaryo için PC değerleri yani her bir trafik sınıfı için seçilen şebekeler Tablo 17-18’de gۆsterildięi gibidir.

Tablo 17. Senaryo 1 için şebeke seçimi

	Konuşma Sınıfı	Kesintisiz İşlem Sınıfı	Etkileşim Sınıfı	Arka Plan Sınıfı
PC1(GSM)	0,0102	0,0483	0,0324	0,0102
PC2(UTMS)	0,0070	0,0332	0,0222	0,0070
PC3(LTE-A)	0,0026	0,0122	0,0082	0,0026
PC4(WLAN)	0,0020	0,0093	0,0062	0,0020
	0,0102	0,0483	0,0324	0,0102
	PC1(GSM)	PC1(GSM)	PC1(GSM)	PC1(GSM)

Tablo 18. Senaryo 2 için şebeke seçimi

	Konuşma Sınıfı	Kesintisiz İşlem Sınıfı	Etkileşim Sınıfı	Arka Plan Sınıfı
PC1(GSM)	0,0102	0,0483	0,0324	0,0102
PC2(UTMS)	0,0070	0,0332	0,0222	0,0070
PC3(LTE-A)	0,0026	0,0122	0,0082	0,0026
PC4(WLAN)	0,0020	0,0093	0,0062	0,0020
	0,0102	0,0483	0,0324	0,0102
	PC1(GSM)	PC1(GSM)	PC1(GSM)	PC1(GSM)

Tablo 17 ve 18 incelendiğinde her iki senaryo için de hesaplamalar sonucunda PC1 yani GSM aday şebekesi seçilmiştir.

IV. SONUÇ

şebeke seçimi, cihazların daha verimli çalışması için mobil terminaller için ۆnemli bir konudur. Bu nedenle, bu çalışmada şebeke seçiminde, AHP yۆntemi ve oyun teorisinde Shapley değeri yۆntemi ile birden fazla aday şebeke birden fazla kriter altında değerlendirildiğinde, aday kriterlerde her kriterin ۆnemini belirlemek için fayda değerleri kullanılmıştır.

şebeke seçimi için kullanılacak olan PC değerlerinin karşılaştırılmasının yapılması için tۆm trafik ۆzellikleri için en verimli kullanım şebekesini en yۆksek değerde hesaplanan PC4 yani WLAN olarak bulunduğu gۆzlenmiřtir. Buna ek olarak hesaplamalarda kullanılan B kriterinin ağırlık değerlerinin değişmesinin sonucu nasıl etkileyeceğini gۆzlemlemek amacı ile duyarlılık analizinde iki farklı senaryo durumu incelenmiştir. Bu senaryolarda elde edilen PC değerleri incelenecek olunursa, ağırlık değerlerinin değişmesi seçilen PC yani seçilen aday şebekeyi de etkilemektedir. Kriter ağırlık değerlerindeki değişimler gۆz ۆnüne alındığında senaryo 1 ve 2 için sadece tek fark UMTS ve LTE-A değerlerindeki değişimdir. Bu iki aday şebeke için B kriterinin ağırlık değerinin değişmesi sonucunda elde edilen PC değerlerinde bir farklılık gۆzlemlenmemiřtir. Bۆylelikle, B kriteri için UMTS ve LTE-A değerlerindeki değişim sonucu etkilememektedir.

Bu sonuçlar çerçevesinde gelecekte yapılacak olan çalışmalar için işbirlikçi oyun teorisinde kullanılan Nۆkleolus, çekirdek kۆmesi gibi yۆntemler şebeke seçiminde kullanılabilir. Mobil terminaller için

farklı kriterlerin göz önünde bulundurularak işlem yapılması, farklı trafik sınıfları kullanılması veya farklı şebeke türleri ile bağlantı kurarak işlenmeleri gibi çalışmalar yapılabilir.

V. KAYNAKLAR

- [1] M. Munjal ve N.P. Singh, “Utility aware network selection in small cell,” *Wireless Networks*, vol. 25, no. 5, pp. 2459-2472, 2019.
- [2] S. Uzun ve H. Kazan, “Çok kriterli karar verme yöntemlerinden AHP, TOPSİS ve PROMETHEE karşılaştırması: Gemi inşada ana makine seçimi uygulaması,” *Journal of Transportation and Logistics*, c. 1, s. 1, ss. 99-113, 2016.
- [3] X. Cai, X. Liu ve Z. Qu, “Game theory-based device-to-device network access algorithm for heterogeneous networks,” *Journal of Supercomputing*, vol. 75, no. 5, pp. 2423-2435, 2019.
- [4] H.W. Yu ve B. Zhang, “A heterogeneous network selection algorithm based on network attribute and user preference,” *Ad Hoc Networks*, vol. 72, pp. 68-80, 2018.
- [5] M. Munjal ve N.P. Singh, “Improved network selection for multimedia applications,” *Transaction on Emerging Telecommunication Technologies*, Wiley, vol. 28, no. 5, pp. 1-16, 2016.
- [6] T. Liu Bin, W. Hui ve F.B. Bin, “AHP and game theory based approach for network selection in heterogeneous wireless networks,” *IEEE 11th Consumer Communications and Networking Conference (CCNC)*, Las Vegas, NV, USA, 2014.
- [7] D. Niyato ve E. Hossain, “A cooperative game framework for bandwidth allocation in 4G heterogeneous wireless networks,” *IEEE International Conference on Communications*, İstanbul, Türkiye, 2006.
- [8] T. L. Saaty, “Decision making with the analytic hierarchy process,” *International Journal of Services Sciences*, vol. 1, no. 1, pp. 83-98, 2008.
- [9] T.L. Saaty, “How to make a decision: The analytic hierarchy process,” *European Journal of Operational Research*, vol. 48, no. 1, pp. 9–26, 1990.
- [10] H. Karabacak, *Herkes İçin Oyun Teorisi*, 1. baskı Ankara, Türkiye: Seçkin Yayıncılık, 2016.