

IPv4'DEN IPv6'YA GEÇİŞ İÇİN AHP MODELİ

Emel Kızılkaya AYDOĞAN¹, M. Yekta SOYLU², Cevriye GENCER³, Suna ÇETİN⁴,
Murat SOYSAL⁵, Onur BEKTAŞ⁵, Emre YÜCE⁵, Yusuf ÖZTÜRK⁵, Yavuz
GÖKIRMAK⁵, Şeref SAĞIROĞLU⁶

¹Endüstri Müh. Böl., Müh. Fak., Erciyes Üni., Kayseri, ekaydogan@erciyes.edu.tr

²Kara Harp Okulu, Ankara, mysoylu@yahoo.com

³Endüstri Müh. Böl., Müh. Fak., Gazi Üni., Maltepe, Ankara, ctemel@gazi.edu.tr

⁴Endüstri Müh. Böl., Müh. Fak., Kırıkkale Üniversitesi, Kırıkkale, sunaozel@gazi.edu.tr

⁵TÜBİTAK ULAKBİM, Ankara, onur@ulakbim.gov.tr, emre@ulakbim.gov.tr, yusufoz@ulakbim.gov.tr,
yavuzg@ulakbim.gov.tr, msoysal@ulakbim.gov.tr

⁶Bilgisayar Müh. Böl., Müh. Fak., Gazi Üni., Maltepe, Ankara, ss@gazi.edu.tr

(Geliş/Received: 02.02.2011; Kabul/Accepted: 18.05.2011)

ÖZET

Bu çalışmada, Ulusal IPv6 Protokolü Altyapı Tasarımı ve Geçiş Projesi kapsamında, IPv4'ten IPv6'ya geçişte en uygun geçiş stratejisine karar vermede, çok kriterli karar verme metodlarından Analitik Hiyerarşi Proses (AHP) yöntemi geçiş mekanizmasının kararlaştırılmasında kullanılmıştır. Bu çalışmanın bu alanda bir ilk çalışma olması, geçişe etki edecek olan parametrelerin belirlenmesi, kriter kümelerinin konuya özel olarak ilk kez belirlenmesi ve bu probleme uygulanması bu çalışmanın özgün yönleridir. Aynı zamanda, en iyi geçiş stratejisinin belirlenmesi için gerekli anketler hazırlanıp uygulanmış; Super Decisions 1.6.0 paket programı kullanılarak uygun geçiş mekanizmalarına ait sonuçlar elde edilmiştir. Sunulan bu çalışmanın, ülke kurum ve kuruluşlarının IPv6'ya geçişinde en uygun geçiş mekanizmasının belirlenmesinin, ülke kaynaklarının daha etkin kullanılmasına, konuyla ilgili geçiş süresini kısaltacağına, geçmek isteyen kurumlara bilimsel bir yaklaşım sunmasının ülke geçiş sürecine önemli katkılar sağlayacağı değerlendirilmektedir.

Anahtar Kelimeler: IPv4, IPv6, Çok Kriterli Karar Verme, Analitik Hiyerarşi Proses, Karar Destek Sistemi, Super Decisions

AHP MODEL FOR TRANSITION FROM IPv4 TO IPv6

ABSTRACT

In this study, one of multi criterion decision making methods, Analytic Hierarchy Process (AHP), was used to decide the best transition mechanism from IPv4 to IPv6 based on "National IPv6 Protocol Infrastructure Design and Transition" Project. The contributions of this study are summarized as being the first study in the field, establishing the parameters for this transition, defining criteria sets to this field for the first time and applying AHP to this problem. In addition to those, questionnaires were prepared and applied to define the best transition strategies. The results were then obtained from Super Decisions 1.6.0 software package for achieving suitable transition mechanisms. It is expected that this study will help and contribute to the state organizations to decide suitable transition mechanisms to IPv6, to use the country resources more effective, to shorten the transition time and finally to present systematic and scientific approach to this transition.

Keywords: IPv4, IPv6, Multi Criterion Decision Making, Decision Support System, Analytical Hierarchical Process, Super Decisions.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

İnternet protokolü (IP), iki cihazın internet üzerinden birbiri ile veri iletişimi için kullanıldığı ortak kurallar

bütünü olup IPv4 adıyla da bilinmektedir. Standartların belirlendiği 1981 yılından bu yana tüm dünyaca kullanılan bir protokol haline gelen IPv4, teknolojinin hızla gelişmesi ve kullanıcı sayısı ile

İhtiyaçların beklentilerin ötesinde artması nedeniyle teknik olarak yetersiz kalmaya başlamıştır. Bu ihtiyaçtan yola çıkılarak tasarlanmış olan yeni nesil internet protokolü IPv6; adres kapasitesi, dolaşılabilirlik, güvenlik, çoklu dağıtım, servis kalitesi ve yeni teknolojilere uyumluluk gibi IPv4 te sorun yaratan birçok konuya çözüm getirecek şekilde tasarlanmıştır. Yeni teknolojilerle birlikte internete bağlanan cihaz sayısının ve çeşitliliğinin artması nedeniyle yakın gelecekte çok geniş bir İp adresi kapasitesine ihtiyaç duyulacağı öngörülmesine rağmen IPv4 adres kapasitesinin hızla tükenmesi, dünya çapında IPv6 ya geçiş çalışmalarının hız kazanmasına neden olmuştur. Yapılan çalışma kapsamında uzman gruplarının görüşleri doğrultusunda IPv4den IPv6 ya geçişte kullanılacak alternatif geçiş yöntemleri olarak yalın IPv6, ikili yığın, tünelleme, 6to4, ISATAP, Teredo, NAT64 belirlenmiştir.

Karar verme kavramı ya da problem çözüme; belirli bir amaca ulaşmak için değişik alternatiflerin belirlenmesi ve bunların içersinden en etkilisinin seçilmesi şeklinde tanımlanabilir. Bu seçimin yapılması için oluşması gereken çeşitli koşullar vardır. Bu koşullar; çözülmesi gereken bir sorunun veya gerçekleştirilmesi istenen bir amacın bulunması, sorunun çözülebileceği veya amacın gerçekleştirilebileceği ve arasında seçim yapılabileceği birden fazla alternatifin belirlenmesi ve belirlenen alternatiflerden en etkin olanının seçilebilmesi için bir etkinlik ölçütünün belirlenmesinin gerekliliğidir. Karar vermede en çok kullanılan yöntemlerden biri AHP dir.

Çok kriterli karar verme metodlarından birisi olan AHP yöntemi, Ulusal IPv6 Protokolü Altyapı Tasarımı ve Geçiş Projesi kapsamında IPv4'ten IPv6'ya geçişte en uygun geçiş mekanizmasının belirlenmesinde kullanılmıştır. Bu çalışmada, Türkiye'nin yeni nesil internet protokolüne geçişi için yeni bir sistem ve bu sistemin uygulanacağı süreç, literatür araştırmaları sonucunda ortaya çıkan teknikler ile geçiş yapmış ülkelerin pratik deneyimlerinden faydalanılarak belirlenmiştir.

Çalışmanın takip eden bölümlerinde, bu projede kullanılan karar destek modeli AHP kısaca özetlenmiş, karar vermede önemli olan kriterler ve alternatif geçiş yöntemler ile bunların belirlenmesi aşamaları ile kullanılacak olan geçiş mekanizmaları tanıtılmıştır. Bölüm 4'de ise çalışma kapsamında oluşturulan şebeke yapısı tanıtılmıştır. Son bölümde ise çalışma değerlendirilmiştir.

2. ANALİTİK HİYERARŞİ PROSESİ (ANALYTIC HIERARCHY PROCESS)

AHP, 1970'li yıllarda Saaty tarafından ortaya konmuş olan çok kriterli karar verme tekniklerindedir [1-2].

Geliştirildiğinden bugüne kadar, ekonomi [3-6], stratejik planlama [7], performans değerlendirme [8-9], proje yönetimi ve seçimi [10-13], tedarikçi seçimi [14], üretim ve kalite kontrol sistemleri [15-17] gibi pek çok alanda farklı karar problemlerine uygulanmaya devam etmektedir. AHP'ler, fikirlerin, bakış açılarının ve duyguların etkilediği bir karar sürecinin sayısallaştırılması gerektiği durumlarda alternatifleri önceliklendirmek için nümerik bir ölçüt elde etmek amacıyla tasarlanmış olup önceliklere göre problemin çözümünün alternatiflerini sıralamak için kullanılmaktadırlar.

AHP modelinin hiyerarşik yapısı, kriterler ve alt kriterler açısından kullanıcının problemi sistematik bir şekilde gözünde canlandırmasını sağlar. Ayrıca kullanıcı kriterlerin ve alternatiflerin önceliklerini etkili bir biçimde karşılaştırabilir ve belirleyebilir.

Sonlu sayıda alternatif içeren karar problemleri pratikte sıkça ortaya çıkar. Bu problemleri çözmek için kullanılan araçlar çoğunlukla mevcut verinin tipine (deterministik, probabilistik veya belirsiz) bağlıdır. AHP, sübjektif yargının mantıksal tarzda sayısallaştırdığı ve daha sonra karara ulaşmak için kaynak olarak kullanıldığı belirlilik ortamında karar almak için önde gelen bir araçtır.

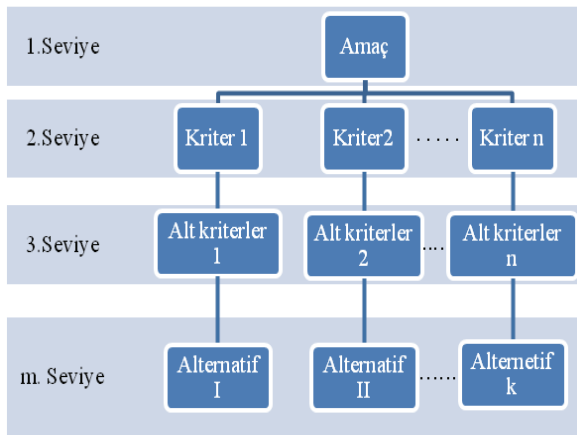
AHP'nin önemli üstünlükleri aşağıda sıralanmıştır [1-6]. Bunlar:

- AHP ile bir hiyerarşi kurularak karar problemleri biçimsel (görünümsel) olarak ifade edilir. Bu şekilde karmaşık problemler bileşenlerine ayrılarak karışıklıkları giderilir ve basit bir yapıya kavuşturulur.
- AHP'de elemanların ikili karşılaştırmaları sırasında karar vericinin kişisel hükümleri kullanılır. Böylece karar verme sürecinde sadece sayısal verilere dayalı çözüm aranmamakta, karar verme işlemini yapan kişilerin fikir ve düşünceleri de dikkate alınmaktadır.
- Karar verici, ikili karşılaştırmaları kullanmak suretiyle problemin her bir parçasına daha fazla yoğunlaşabilir. Bu esnada sadece iki elemanın düşünülmesi nedeniyle verilecek hükümler basitleşmektedir. Öte yandan hükümleri sayısal değer ile ifade etme güçlüğü söz konusu ise sözel hükümlerin kullanılması da mümkündür.
- AHP'de karar verici, hem objektif (kantitatif) ve hem de sübjektif (kalitatif) faktörleri beraberce dikkate alarak alternatiflerini değerlendirebilir ve en uygun alternatifin seçilmesine yönelik karar alabilir.
- Karar vericinin yaptığı ikili karşılaştırmaların tutarlılığını (doğruluğunu) test etmek de mümkündür. Böylece karar verici, tutarsızlık durumunda verdiği hükümleri tekrar ele alarak düzeltme imkânına sahiptir.
- AHP'nin çok yönlü oluşu, onun geniş bir uygulama çeşitliliğine sahip olmasını sağlamıştır.

Genel olarak bir AHP karar destek sisteminin uygulama adımları aşağıda verilmiştir. Bunlar:

I. Hiyerarşinin Oluşturulması

AHP, karar vericilerin karmaşık problemleri, problemin ana hedefi, kriterleri, alt kriterler ve alternatifleri arasındaki ilişkiyi gösteren bir hiyerarşik yapıda modellemelerine olanak verir. AHP'de, karar vericinin amacı doğrultusunda kriterlerin ve ona ait olan alt kriterlerin belirlenip, hiyerarşik yapının oluşturulması ilk adımdır. AHP'de, öncelikle amaç belirlenir ve bu amaç doğrultusunda seçimi etkileyen kriterler ortaya konur. Daha sonra kriterler göz önüne alınarak potansiyel alternatifler belirlenir. Sonuçta karar için hiyerarşik bir yapı oluşturulmuş olur. Hiyerarşinin genel yapısı Şekil 1'de verilmektedir.



Şekil 1. Hiyerarşinin genel yapısı (General structure of hierarchy)

II. İkili Karşılaştırma Matrislerinin Oluşturulması

Hiyerarşik yapı oluşturulduktan sonra her bir kriter temelinde alternatifler ile kriterlerin kendi aralarında karşılaştırılması için ikili karşılaştırma karar matrisleri oluşturulur. Bu matrislerin oluşturulmasında Saaty tarafından önerilen ve Tablo 1'de verilen 1-9 önem skalası aralığı kullanılır (Tablo 1) [1]. Ara değerler ise karar vericilerin iki değer arasında kararsız kaldığı durumlarda kullanılır. Örneğin 1 ve 3 değerleri arasında tereddüt eden bir karar verici 2 ara değerini kullanabilirler.

İkili karşılaştırmalar, AHP'nin en önemli aşamasıdır. İkili karşılaştırmaları elde etmek için göreceli veya mutlak ölçümler kullanılır. Bu skaladan elde edilen bilgilere göre AHP'de yargılar bir matrisle dönüştürülür. a_{ij} , i^{th} özellik ile j^{th} özelliğin ikili karşılaştırma değeri olarak gösterilecek olursa, $a_{ji}=1/a_{ij}$ eşitliğinden elde edilir. Bu özelliğe, *karşılık olma özelliği* denir.

AHP'de karar verici, genel amaca ulaşmaya yaptığı katkıya göre her bir kriterin göreceli önemi hakkında

hükümlerde bulunur. Bir sonraki düzeyde karar verici, her bir kritere katkıda bulunmasına göre her bir karar alternatifine yönelik bir tercih ya da başka bir deyişle öncelik belirtir.

Tablo 1. Önem skalası [1] (Priority scale)

Değer	Tanım	Açıklama
1	Eşit önemli	İki kriter de eşit önem sahip
3	Biraz önemli	Tecrübe ve yargı bir kriteri diğerine karşı biraz üstün kılıyor
5	Fazla önemli	Tecrübe ve yargı bir kriteri diğerine karşı oldukça üstün kılıyor
7	Çok fazla önemli	Bir kriter diğerine göre çok üstün sayılıyor
9	Aşırı derece önemli	Bir kriterin diğerinden üstün olduğunu gösteren kanıt çok büyük güvenilirliğe sahiptir.
2, 4, 6, 8	Ara değerler	İki ardışık yargı arasındaki durumlar için

III. Matrislerin Normalizasyonu

AHP'nin sonraki aşaması normalleştirilmiş matrislerin oluşturulmasıdır. Normalleştirilmiş matris, her bir sütun değerinin ayrı ayrı ilgili sütun toplamına bölünmesi ile elde edilir. Normalleştirilmiş matristen hareketle; her bir sıra değerlerinin ortalaması alınır. İşte elde edilen bu değerler, her bir kriter için yüzde önem ağırlıklarıdır.

IV. Tutarlılık Kontrolü

Karar vericinin kriterler arasında kıyaslama yaparken tutarlı davranıp davranmadığını ölçmek için Tutarlılık Oranı'nın (TO) hesaplanması gerekir. Bu hesaplamada n kriter sayısına bağlı olarak Tablo 2'de verilen rastgele indeks sayıları kullanılır. Hesaplamalar sonucunda bulunan değer 0,10'un altında çıkmışsa oluşturulan karşılaştırma matrisinin tutarlı olduğu sonucuna varılır. Aksi durumda karar matrisi tekrar düzenlenmelidir.

Tablo 2. Rassallık indeksi (Rİ) (Randomness index)

n	Rİ	n	Rİ
1	0	9	1,45
2	0	10	1,49
3	0,58	11	1,51
4	0,90	12	1,48
5	1,12	13	1,56
6	1,24	14	1,57
7	1,32	15	1,59
8	1,41		

V. Tutarlılık oranının (TO) hesaplanması

TO hesaplanması aşağıdaki adımlar dikkate alınarak hesaplanır. Bunlar:

- | |
|--|
| <p>Adım 1: İkili karşılaştırmalar matrisi ile buna yönelik öncelik vektörü çarpılır. Bu şekilde elde edilen vektöre ağırlıklandırılmış toplam vektör adı verilmektedir.</p> <p>Adım 2: Adım 1'de elde edilen ağırlıklandırılmış toplam vektörünün her bir elemanı, buna karşılık gelen öncelik değerine bölünür.</p> <p>Adım 3: Adım 2'de elde edilen değerlerin aritmetik ortalamaları tespit edilir. Bu ortalama değere maksimum özdeğer denir ve λ_{max} simgesi ile gösterilir.</p> <p>Adım 4: Aşağıdaki formül kullanılarak tutarlılık indeksi (Tİ) hesap edilir.
 $Tİ = (\lambda_{max} - n) / (n - 1) \quad (1)$ ifadede n = karşılaştırılan elemanların sayısı</p> <p>Adım 5: TO hesap edilir. TO'nun hesabında aşağıdaki formül kullanılır:
 $TO = Tİ / Rİ \quad (2)$</p> |
|--|

VI. Sonucun Elde Edilmesi

AHP'nin son adımı kriterlerin önem ağırlıkları ile alternatiflerin önem ağırlıklarının çarpımı ve her bir alternatif için öncelik değerinin bulunmasıdır. Bu değerlerin toplamı 1'e eşittir. En yüksek değeri alan alternatif, karar problemi için en iyi alternatiftir.

3. KRİTER VE ALTERNATİF GEÇİŞ YÖNTEMLERİNİN BELİRLENMESİ (DETERMINATION OF CRITERIAN AND ALTERNATIVE TRANSITION STRATEGY)

Ulusal IPv6 Protokolü Altyapı Tasarımı ve Geçiş Projesi kapsamında oluşturulan 20 kişilik uzmanlar grubunun görüşleri, hazırlanan test yatağından elde edilen veriler ve literatür araştırması dikkate alınarak; 4 adet ana kriter grubu altında toplanan 28 adet alt kriter ve 7 adet alternatif geçiş yöntemini içeren AHP modeli geliştirilmiştir [18].

Performans, çalışılabilirlik, yönetilebilirlik ve güvenlik ana kriterler olarak belirlenmiştir. Bu kriterler incelendiğinde, farklı değerlendirme kriterleri olduğu ve bu kriterlere göre en uygun geçiş mekanizması seçiminin bir karar problemi olduğu görülmektedir.

Belirlenen ana kriterlere bağlı alt kriterler ve alternatif geçiş yöntemleri aşağıda verilmiştir. Bazı kelimelerin Türkçe karşılıkları tam olarak verilemediği için İngilizceleri verilmiştir.

3.1. Alt Kriterler (Sub Criterion)

Bu çalışma çerçevesinde belirlenen alt kriterler

aşağıda başlıklar altında verilmiştir.

i. Performans Kriteri

Performans ana kriterine bağlı beş adet alt kriter belirlenmiş olup; aşağıda tanımları verilmiştir.

- **Throughput:** Belli bir zaman diliminde bir uçtan bir uca başarı ile iletilen trafik miktarıdır.
- **Round Trip Time (RTT):** Bir paketin kaynaktan hedefe gidip cevabının tekrar kaynağa dönmesi esnasında geçen süredir.
- **CPU Kullanımı:** Kaynak, hedef ve aradaki cihazlarda ölçülen CPU kullanımı miktarı.
- **Jitter:** İki istemci arasında ölçülen ortalama RTT değerindeki değişim miktarıdır.
- **Paket Kaybı Oranı:** Bir uçtan diğer uca iletilmeyen paketlerin tüm paket miktarına oranını ifade etmektedir.

ii. Çalışılabilirlik Kriteri

Çalışılabilirlik ana kriterine bağlı yedi adet alt kriter belirlenmiş olup; aşağıda tanımları verilmiştir.

- **IPSEC Desteği:** IPSEC desteğinin olması ve çalışması durumu
- **Çoklu Gönderim Desteği (Any Source Multicast):** Çoklu gönderim ASM desteğinin olması ve çalışması durumu.
- **Çoklu Gönderim Desteği (Source Specific Multicast):** Çoklu gönderim SSM desteğinin olması ve çalışması durumu.
- **Trafik Önceliklendirme (QoS) Desteği:** Trafik önceliklendirme desteğinin olması ve çalışması durumu.
- **Gezgin IPv6 Desteği:** Gezgin IPv6 desteğinin olması ve çalışması durumu.
- **E2E Bağlantı Sağlama:** IPv6 üzerinden iletişim kuran iki düğüm arasındaki trağın uçtan uca kesintisiz gidebilmesi.
- **Ek Başlık Desteği:** Kullanılan geçiş yönteminin ek başlık desteği olması ve çalışması durumu.

iii. Yönetilebilirlik Kriteri

Yönetilebilirlik ana kriterine bağlı dört adet alt kriter belirlenmiş olup; aşağıda tanımları verilmiştir.

- **IPv6 Paket Debug:** IPv6 başlık bilgisi (ek başlık dahil) ile ilgili debug verebilme.
- **Trafiğin Sarmalanmış Olması:** Aynı protokol veya başka protokol içinde IP başlık bilgisinin herhangi bir kısmının payload içinde yer alması (IPSec dahil değil).
- **Verilen Adreslerin Sürekli Olması:** Bazı geçiş yöntemlerinde (6to4, TEREDO vb.) özel adresleme kullanılıyor, yalnız IPv6 ya geçince adresler değişecektir. Adreslemenin geçiş süreci

sonunda devamlı olması.

- Elle Ayarlama Gerekisini: Geçiş yöntemi kullanıldığında elle yapılması gereken ayar miktarı, LAN yönlendirici desteği zorunluluğunu ve her cihaz için ayrı ayar ihtiyacını içermektedir.

iv. Güvenlik kriteri

Güvenlik ana kriterine bağlı oniki adet alt kriter belirlenmiş olup; aşağıda tanımları verilmiştir.

- Filtre Yazılabilme: Geçiş yönteminde kullanılan ağ yapısı göz önünde bulundurulduğunda ağ girişi ve çıkışlarında firewall kuralı ve erişim kontrol listesi yazılabilme kolaylığı.
- Ortaklı Adam Saldırısına Yatkinlik: Saldırganın geçiş yönteminde kullanılan bir cihazın sahtesi gibi davranıp trafiği kendi üzerinden geçmesini sağlayabilmesi.
- Paket Koklama Saldırısına Yatkinlik: Kullanılan geçiş yönteminin saldırıdan ağdaki paketleri dinlemesini kolaylaştırmaya yönelik etkisi.
- Solucan Dağılımına Yatkinlik: Solucan ağdaki bir cihaza bulaştığında, geçiş yönteminin bu solucanın ağdaki dağılımına ve dağılım hızına etkisi.
- Keşif (Reconnaissance) Saldırısına Yatkinlik: Kullanılan geçiş yönteminin dış ya da iç ağdan kullanıcıların ağ yapısının keşfedilmesini kolaylaştırmaya yönelik etkisi.
- Derin Paket İnceleme Yapılabilirliği: Ağ trafiği paketlerinin incelenmesi konusunda geçiş yönteminin paket yapısını değiştirerek yol açtığı hesaplama yükünü gösterir parametre.
- Parçalanmış Paket (Fragmentation) Saldırısına Yatkinlik: IPv4'den farklı olarak, IPv6 da parçalanmış paket uygulaması sadece düğümler tarafından yapılmaktadır. Bu yöntemi kullanarak kendisini saklayan saldırıların tespiti ancak yol üstündeki güvenlik uygulamalarında parçaların birleştirilmesi ve bütünü analiz ile mümkündür. Kullanılan geçiş yönteminin bu saldırı türüne yatkinliği.
- DoS Saldırısına Yatkinlik: Geçiş yönteminde kullanılan cihazların, çok sayıda paket gönderme, kaynak tüketim, sahte IP adresi kullanımı, sahte yönlendirici olabilme vb. saldırılarla servis dışı bırakılabilirliği.
- HA (Home Agent) ve MN (Mobile Node) İletişim Saldırısına Yatkinlik: Gezgin IPv6 kullanılan ağlarda HA ve MN arasındaki HA keşfi ve Misafir Ağ öneki anonsu mesajlarını tehdit eden saldırıların farklı geçiş yöntemleri üzerindeki tehdit seviyesini gösterir.
- Bağlama Güncesi Temelli Saldırılarına Yatkinlik: Gezgin IPv6 kullanılan ağlarda bağlama güncesi (Binding Update, BU), Gezgin Düğümün (Mobile Node, MN) misafir olduğu ağ ve bu ağda kullandığı adres ile ilgili bilgileri Ev Ajantı (Home Agent, HA) ile paylaşması ve bu bilginin MN'nin

iletişimde olduğu diğer kullanıcılara (Correspondent Node, CN) bildirilmesinde kullanılır. Bu parametre BU mesajlarını tehdit eden saldırıların farklı geçiş yöntemleri üzerindeki tehdit seviyesini gösterir.

- Yönlendirme Başlığı Tabanlı Saldırılarına Yatkinlik: Yönlendirme başlığı, paketi gönderen düğümler tarafından ağ üzerinde izlenecek yolun belirlenmesi amacıyla kullanılmaktadır. IPv6 dolaşılabilirliğin uygulanmasında temel bir faktör olan bu başlığı tehdit eden saldırıların farklı geçiş yöntemleri üzerindeki tehdit seviyesini gösterir.
- Alıcı ve Gönderici Tabanlı (Receiver and Sender Based) Saldırılarına Yatkinlik: Çoklu gönderim uygulamasında gönderici (sender) ağ elemanları ve alıcı (receiver) bileşenlerine yönelik saldırıların farklı geçiş yöntemleri üzerindeki tehdit seviyesini gösterir.

3.2. Alternatif Geçiş Yöntemleri (Alternative Transition Methods):

Ulusal IPv6 Protokolü Altyapı Tasarımı ve Geçiş Projesi kapsamında yedi adet alternatif geçiş mekanizması belirlenmiş ve tanımları aşağıda kısaca özetlenmiştir. Bu metotlara ait detaylı bilgilere, IETF (Internet Engineering Task Force) bünyesinde bulunan çalışma gruplarının geliştirdiği RFC'lere (Requests for Comments) başvurulmalıdır.

- Yalın IPv6: Ağ cihazları iletişimde sadece IPv6 protokolünü kullanmaktadır.
- İkili Yığın: Ağ cihazları iletişimde hem IPv4 hem de IPv6 protokolünü kullanmaktadır. Cihazlara IPv6 erişimi doğrudan sağlanmaktadır.
- Elle Ayarlanmış Tünelleme: Ağın bir bölümünde cihazlar arasında IPv6 paketlerinin IPv4 paketlerine veya IPv4 paketlerinin IPv6 paketlerine sarmalanarak iletildiği statik bir tünel yer almaktadır.
- 6to4: Doğrudan IPv6 erişimi olmayan yönlendirilebilir IPv4 adresine sahip cihazların, IPv6 paketlerini IPv4 paketlerine sarmalayarak IPv6 ağına erişimini sağlayan otomatik tünelleme yöntemidir.
- ISATAP: IPv6 paketlerinin IPv4 paketlerine sarmalanarak iletildiği otomatik tünelleme yöntemidir. IPv4 ağı üzerinde ISATAP sunucusu kullanılarak sanal bir IPv6 ağı oluşturulmaktadır.
- Teredo: NAT arkasındaki cihazların IPv6 ağına bağlanmaları için tasarlanmış otomatik tünelleme yöntemidir. IPv6 paketleri IPv4 UDP paketlerine sarmalanarak iletilmektedir.
- NAT64: Sadece IPv6 konuşan cihazların paket bazında çeviri ile sadece IPv4 konuşan istemciler ile iletişimini sağlayan yöntemdir.

4. ŞEBEKE YAPISININ OLUŞTURULMASI (ESTABLISHING NETWORK STRUCTURE)

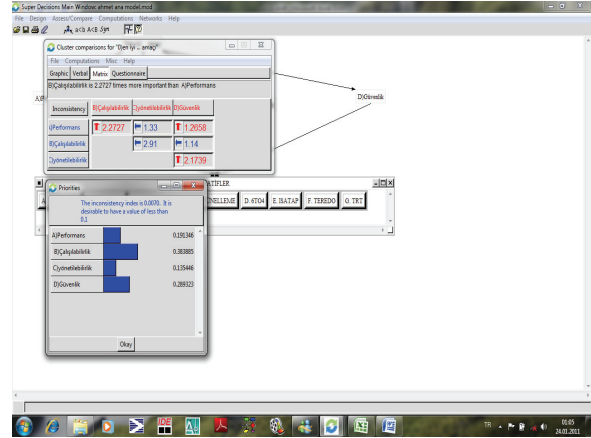
En uygun geçiş mekanizması seçim probleminde amaç, kurum ve kuruluşları için istek ve ihtiyaçlarını en iyi şekilde karşılayacak olan en uygun geçiş mekanizmasının seçilmesidir. Bir diğer anlamda da belirlenen kriterleri en iyi şekilde sağlayacak olan geçiş mekanizmasının seçilmesidir. Geçiş mekanizması seçiminde AHP şebeke yapısı Şekil 2'de verilmiştir.

Şekil 2'de verilen şebeke yapısı, uzman görüşleri ve literatür araştırmalarından faydalanılarak oluşturulmuş; ikili karşılaştırmalar yapılmış ve kriterlerin öz vektör değerleri veya diğer bir deyişle etki değerleri hesaplanmıştır.

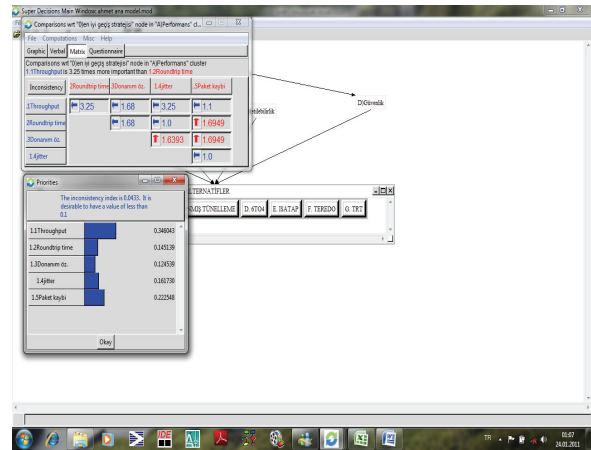
İkili karşılaştırma matrisleri, IPv4'ten IPv6'ya geçiş konusunda bilgi donanımı yüksek olan uzmanlar grubuna anket uygulanarak elde edilmiştir. Anket sonuçlarının daha tutarlı ve doğru olması için, anketler bire bir görüşmeler yapılarak doldurulmuştur. Anketler yapılmadan önce değerlendirmenin nasıl yapılacağı, değerlendirme skalası, kriterler ve alternatifler hakkında ayrıntılı bilgi verilmiştir. Anketlerin değerlendirilmesinde Super Decisions 1.6.0 paket programı kullanılmıştır.

Super Decisions paket programında, tüm kriterler ve alternatifler tanımlanıp, kriterlerin birbirleriyle ve her bir kriter bazında da alternatiflerin birbirleriyle karşılaştırılması yapıldıktan, kriterlerin ve alternatiflerin göreceli önem değerleri belirlendikten, her bir ikili karşılaştırma matrisine ilişkin TO'da sağlandıktan sonra, belirlenen amacı en iyi ve en uygun şekilde gerçekleştirecek alternatifin seçilmesine geçilir.

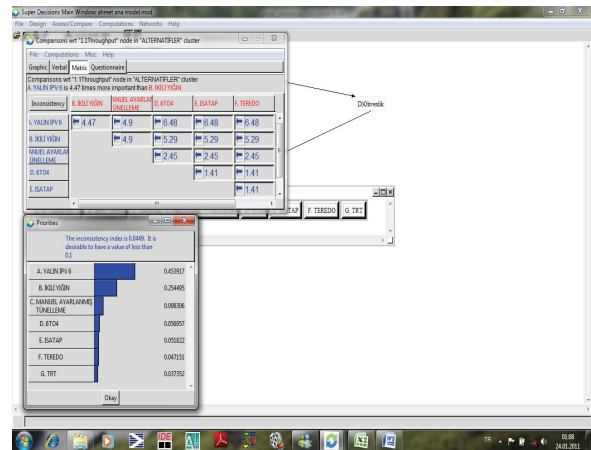
Super Decisions paket programı ile elde edilen; ana kriterlere göre anket ve tutarlılık değerleri Şekil 3'de, performans ana kriterine ait alt kriterlerin anket ve tutarlılık değerleri Şekil 4'de, performans ana kriterinin altında yer alan throughput alt kriterinin alternatiflere göre anket ve tutarlılık değerleri Şekil 5'de, çalışılabilirlik ana kriterinin altında yer alan ASM alt kriterinin alternatiflere göre anket ve tutarlılık değerleri Şekil 6'da, yönetilebilirlik ana kriterinin altında yer alan verilen adresin sürekli olması alt kriterinin alternatiflere göre anket ve tutarlılık değerleri Şekil 7'de, hesaplama sonucu elde edilen alternatiflerin ağırlıkları Şekil 8'de verilmiştir.



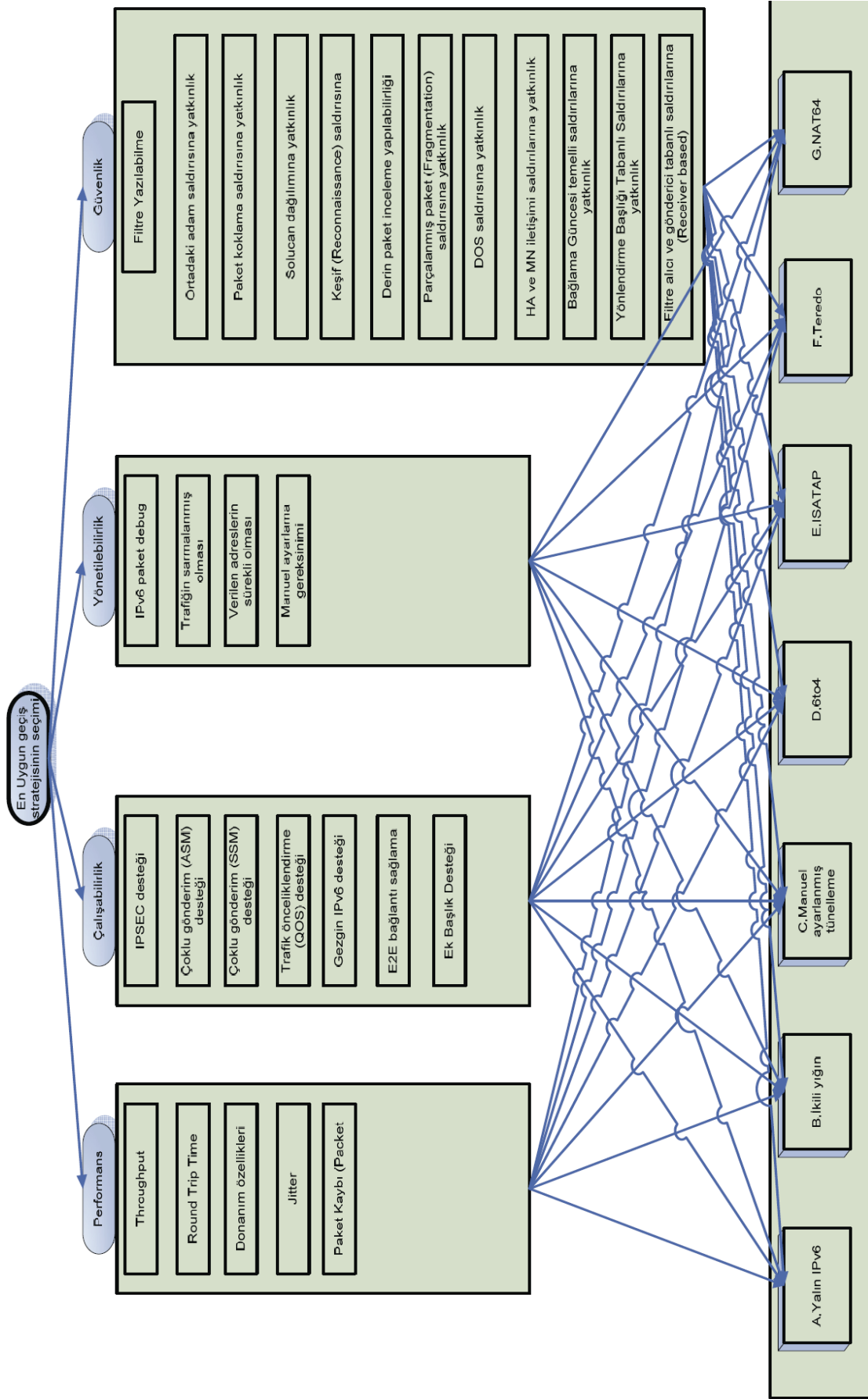
Şekil 3. En iyi geçiş stratejisi amacının ana kriterlere göre anketleri ve tutarlılık değerleri (Surveys and consistency index of the most suitable transition method with respect to main criterion)



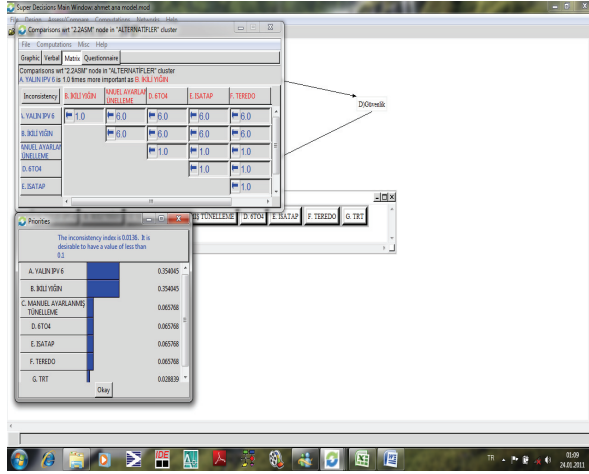
Şekil 4. Performans ana kriterine ait alt kriterlere göre anket ve tutarlılık değerleri (Surveys and consistency index of the sub-criterion of performance)



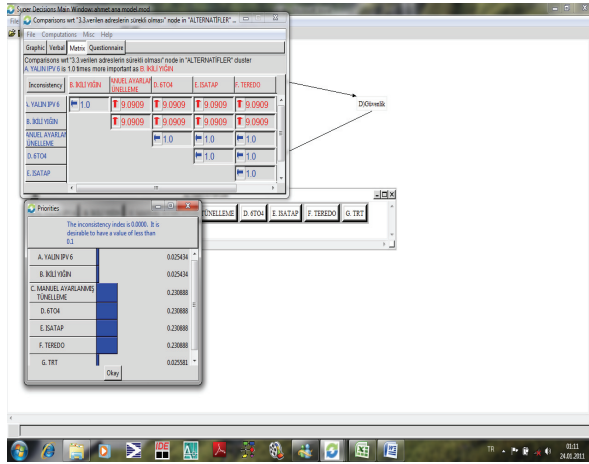
Şekil 5. Throughput alt kriterinin alternatiflere göre anketleri ve tutarlılık değerleri (Surveys and consistency index of throughput sub-criteria with respect to the alternatives)



Şekil 2. En uygun geçiş mekanizmasının seçimine yönelik olarak oluşturulan ağ modeli (Network model with respect to the selection of the best transition mechanism)



Şekil 6. ASM alt kriterinin alternatiflere göre anketleri ve tutarlılık değerleri (Surveys and consistency index of ASM sub-criteria with respect to the alternatives)



Şekil 7. Verilen adresin sürekli olması alt kriterinin alternatiflere göre anketleri ve tutarlılık değerleri (Surveys and consistency index of continuity of the given address sub-criteria with respect to the alternatives)

A. YALIN IPV6	0.21488
B. İKİLİ YIĞIN	0.18863
C. MANUEL AYARLANMIŞ TÜNELLEME	0.13354
D. 6TO4	0.13137
E. ISATAP	0.12991
F. TEREDO	0.12883
G. NAT64	0.07285

Şekil 8. Alternatiflerin Ağırlıkları (Weights of alternatives)

Şekil 3'deki ana kriter anketlerine ait tutarlılık değerleri incelendiğinde tutarlı olduğu; Şekil 4'deki performans ana kriterine ait alt kriterlerin tutarlılık değerleri incelendiğinde tutarlı olduğu; Şekil 5'deki performans ana kriterinin alt kriteri olan throughput kriterinin alternatiflere göre tutarlılık değerleri incelendiğinde tutarlı olduğu, Şekil 6'daki çalışılabilirlik ana kriterinin alt kriteri olan ASM kriterini alternatiflere göre tutarlılık değerleri incelendiğinde tutarlı olduğu, Şekil 7'deki yönetilebilirlik ana kriterinin altında yer alan verilen adresin sürekli olması alt kriterinin alternatiflere göre tutarlılık değerleri incelendiğinde tutarlı olduğu görülmektedir. Şekil 8'deki geçiş stratejilerinin ağırlık değerleri incelendiğinde ise 0,21488 ağırlık değeri ile Yalın IPV6'nın en uygun geçiş stratejisi olduğu belirlenmiştir.

5. SONUÇ (CONCLUSION)

Bu çalışmada; karar destek sistemlerinin oluşturabilmesi için önemli olan 4 ana kriter, 28 alt kriter ve 7 alternatif geçiş yöntemi, literatür araştırması, test yatağından elde edilen veriler ile birlikte, uzman görüşleri de dikkate alınarak yapılan kapsamlı bir değerlendirme sonucunda belirlenmiştir. Çok kriterli karar verme metodlarından biri olan AHP yöntemi, IPv4'ten IPv6'ya geçişte en uygun geçiş stratejisine karar vermede uygulanmıştır. Sonuçların daha tutarlı olması amacıyla öncelikle değerlendirmenin nasıl yapılacağı, değerlendirme skalası, kriterler ve alternatifler hakkında uzmanlar gurubuna öncelikle ayrıntılı bilgi verilmiş ve bu uzman görüşleri dikkate alınarak sistem değerlendirilmesi yapılmıştır. Çalışmada hazırlanan anketler, uzmanlar ile birebir görüşmeler yapılarak uygulanmıştır. Anketlerin değerlendirilmesinde Super Decisions paket programı kullanılmıştır. Super Decisions paket programı ile anketlerden elde edilen verilerin gerek ana kriterler gerekse alt kriterler açısından tutarlı olduğu görülmüştür. Ayrıca alternatif geçiş stratejilerinin ağırlıkları belirlenerek en iyi geçiş stratejisinin "Yalın IPv6" olduğu belirlenmiştir.

Sonuç olarak, bu çalışma kapsamında belirlenen kriterlerin ve önerilen yapının gelecekte yapılacak çalışmaların altyapısını oluşturacağı, farklı çok kriterli karar verme yöntemleri ile entegre edilerek kullanılabilmesi, en önemlisi bu alanda yapılacak olan farklı çalışmaların önünü açacağı değerlendirilmektedir.

6. TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGEMENT)

Bu çalışma, TÜBİTAK Kamu Kurumları Araştırma ve Geliştirme (KAMAG) Projelerini Destekleme Programı çerçevesinde desteklenmiştir. Bu projeyi destekleyen TÜBİTAK-KAMAG Programı Başkanlığına maddi katkılarından dolayı ve Müşteri Kamu Kurumu olan Bilgi Teknolojileri ve İletişim

Kurumu'na ise bu çalışmaya verdikleri önem ve desteklerinden dolayı şükranlarımızı sunarız.

7. KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Saaty, T.L., **The Analytic Hierarchy Process**. New York, NY: McGraw-Hill; 1980.
2. Saaty, T. L., "That is not the analytic hierarchy process: what the AHP is and what it is not", **J. Multi-Crit Decis. Anal.**, 6:324–235, 1987.
3. Angels, D.I., Lee, C.Y., "Strategic investment analysis using activity based costing concepts and analytic hierarchy process techniques", **International Journal of Production Research**, 34 (5), 1331–1345, 1996.
4. Blair A.R., Nachtmann R., Saaty, T.L., Whitaker, R., "Forecasting the resurgence of the US economy in 2001: An expert judgement approach", **Socio- Economic Planning Sciences**, 36 (2), 77–91, 2002.
5. Byun, D.H., "The AHP approach for selecting an automobile purchase model", **Information and Management**, 38 (5), 289–297, 2001.
6. Cagno, E., Caron, F., Perego, F., "Multi-criteria assessment of the probability of winning in competitive bidding process", **International Journal of Production Management**, 19, 313–324, 2001.
7. Arbel, A., .E. Orger, Y.E., "An application of AHP to bank strategic planning: The merger and acquisitions process", **European Journal of Operational Research**, 48 (1), 27–37, 1990.
8. Arbel, A., Seidmann, A., "Performance evaluation of FMS, IEEE Transactions on Systems", **Man and Cybernetics**, 14 (4), 606–617, 1986.
9. Bitici, U.S., Suwignjo, P., Carrie, A.S., "Strategy management through quantitative modeling of performance measurement system", **International Journal of Production Economics**, 69 (1), 15–22, 2001.
10. Ahire, S.L., Rana, D.S., "Selection of TQM pilot projects using an MCDM approach", **International Journal of Quality & Reliability Management**, 12 (1), 61–81, 1995.
11. Al Harbi, K.M., "Application of AHP in project management", **International Journal of Project Management**, 19 (4), 19–27, 2001.
12. Alidi, A.S., "Use of analytic hierarchy process to measure the initial viability of industrial projects", **International Journal of Project Management**, 14 (4), 205–208, 1996.
13. Al Khalil, M.I., "Selecting the appropriate project delivery method using AHP", **International Journal of Project Management**, 20, 469–474, 2002.
14. Akarte, M.M., Surendra, N.V., Ravi, B., Rangaraj, N., "Web based casting supplier evaluation using analytic hierarchy process", **Journal of the Operational Research Society**, 52 (5), 511–522, 2001.
15. Andijani, A.A., "A multi-criterion approach to Kanban allocations", **Omega**, 26 (4), 483–493, 1998.
16. Andijani, A.A., Anwarul, M., "Manufacturing blocking discipline: A multi-criterion approach for buffer allocations", **International Journal of Production Economics**, 51 (3), 155–163, 1997.
17. Badri, M., "Combining the AHP and GP model for quality control systems", **International Journal of Production Economics**, 72 (1), 27–40, 2001.
18. Ulusal IPv6 Protokolü Altyapı Tasarımı ve Geçiş Projesi, TÜBİTAK-KAMAG 108G100, Dönem 2 Raporu, Haziran 2010.

