

T.C.  
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**SOSYAL ZEKÂ TABANLI YÖNLENDİRME  
ALGORİTMALARI İNCELENMESİ VE  
KARŞILAŞTIRILMASI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Uğur ÖZBEK**

**Enstitü Anabilim Dalı** : **ELEKTRİK-ELEKTRONİK  
MÜHENDİSLİĞİ**  
**Enstitü Bilim Dalı** : **ELEKTRONİK**  
**Tez Danışmanı** : **Prof. Dr. Etem KÖKLÜKAYA**

**Şubat 2013**

T.C.  
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

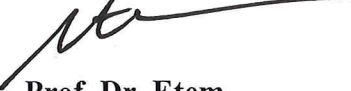
**SOSYAL ZEKÂ TABANLI YÖNLENDİRME  
ALGORİTMALARI İNCELENMESİ VE  
KARŞILAŞTIRILMASI**


**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Uğur ÖZBEK**

Enstitü Anabilim Dalı : ELEKTRİK-ELEKTRONİK  
MÜHENDİSLİĞİ  
Enstitü Bilim Dalı : ELEKTRONİK

Bu tez 17 / 02 /2013 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Oybirliği ile kabul edilmiştir.

  
Prof. Dr. Etem  
KÖKLÜKAYA  
Jüri Başkanı

  
Doç. Dr. Yılmaz  
UYAROĞLU  
Üye

  
Doç. Dr. Ahmet  
ZENGİN  
Üye

## ÖNSÖZ

Çalışmam boyunca yaptığı katkılardan dolayı yüksek lisans danışmanım Prof. Dr. Etem KÖKLÜKAYA'ya, her konuda yardımını esirgemeyen Doç. Dr. Ahmet ZENGİN'e ve Yrd. Doç. Dr. Fatih ÇELİK'e tüm destek ve önerileri için teşekkürlerimi sunarım.

İş hayatım boyunca hiçbir desteğini esirgemeyen Yrd. Doç. Dr. Mustafa TURAN hocama teşekkürü bir borç bilirim.

Sonsuz destek ve sevgilerini daima hissettirerek bugünlere gelmemde büyük emeği olan değerli aileme, tüm mesai arkadaşlarıma, her konudaki destekleri için değerli arkadaşım Doğan ÜNAL'a ve hep yanımda olan eşim Seren Meryem ÖZBEK'e sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

# İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ.....	ii
İÇİNDEKİLER.....	iii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ.....	vi
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	vii
TABLolar LİSTESİ.....	viii
ÖZET.....	ix
SUMMARY.....	x
BÖLÜM 1.	
GİRİŞ.....	1
1.1. Problem Tanımı .....	1
1.2. Yöntem.....	1
1.3. Tezin Amacı .....	2
1.4. Tezin Kapsamı .....	3
1.5. Tez Planı .....	3
BÖLÜM 2.	
BİLGİSAYAR AĞLARINDA YÖNLENDİRME.....	5
2.1. Giriş.....	5
2.2. Ağların Yönetimi ve Yönlendirilmesi.....	6
2.2.1. Yönlendirmenin işlevleri .....	6
2.2.2. Statik yönlendirme işlemi .....	7
2.2.3. Dinamik yönlendirme işlemi.....	8
2.2.4. Yük dengeleme .....	10
2.2.5. Devre anahtarlama ve paket anahtarlama iletim yöntemleri ....	10
2.2.6. Yönlendirme işleminin geliştirilmesi ve yeni yönlendirme algoritmaları.....	12

2.3. Yönlendirme Algoritmaları.....	13
2.3.1. Kablolu ağlarda yönlendirme algoritmaları.....	14
2.3.1.1. Uzaklık vektörü yönlendirme algoritması.....	14
2.3.1.2. Link durumu yönlendirme algoritması.....	17
2.3.2. Kablosuz yönlendirme.....	20
2.3.2.1. AD-HOC ağlar ve yönlendirme protokolleri.....	20
2.3.2.2. AD HOC isteğe bağlı uzaklık vektörü yönlendirme protokolü (AODV).....	26
2.3.3. Kablosuz algılayıcı ağlar ve yönlendirme.....	27
2.3.3.1. Kablosuz algılayıcılar.....	27
2.3.3.2. Kablosuz algılayıcı ağlar.....	28
2.4. Yönlendirme Protokolleri.....	29
BÖLÜM 3.	
OĞUL ZEKÂ.....	32
3.1. Giriş .....	32
3.2. Oğul Zekâsı Tabanlı Yönlendirme Algoritmaları .....	32
3.3. Oğul Zekâsı Tabanlı Yönlendirme Protokolleri.....	34
3.3.1. Kablolu ağlar yönlendirme protokolleri.....	35
3.3.1.1. Karınca koloni tabanlı yönlendirme algoritmaları.....	35
3.3.1.2. Arı koloni tabanlı yönlendirme algoritmaları.....	39
3.3.2. Kablosuz mobil AdHoc ağ algoritmaları.....	41
3.3.2.1. Karınca koloni tabanlı yönlendirme algoritmaları.....	41
3.3.2.2. Arı koloni tabanlı yönlendirme algoritmaları.....	42
3.3.3. Kablosuz algılayıcı ağ yönlendirme protokolleri.....	43
3.3.3.1. Karınca kolonisi tabanlı (ACO) yönlendirme protokolleri.....	43
3.3.3.2. Bal Arısı kolonisi tabanlı yönlendirme protokolleri....	48
3.3.3.3. Küf mantarı tabanlı yönlendirme protokolleri.....	49
BÖLÜM 4.	
PROTOKOLLERİN KARŞILAŞTIRILMASI.....	51

BÖLÜM 5.

SONUÇLAR ve DEĞERLENDİRME..... 56

KAYNAKLAR..... 58

ÖZGEÇMİŞ..... 65

## SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

AI	: Yapay zekâ (Artificial intelligence)
CPU	: Merkezi işlem birimi (Central processing unit)
CSV	: Virgülle ayrılmış değerler (Comma separated values)
DOC	: Dağıtık nesne hesaplama (Distributed object computing)
IP	: İnternet protokolü (Internet protocol)
LAN	: Yerel alan ağı (Local area network)
LSA	: Link durum ilanları (Link state advertisement)
MAS	: Çoklu görevli sistemleri (Multi-Agent systems)
OSI	: Açık sistem bağlantısı (Open system interconnection)
OS	: İşletim sistemi (Operating system)
OSPF	: Açık en kısa yol ilk (Open shortest path first)
QoS	: Hizmet kalitesi (Quality of service)
PPM	: Noktadan noktaya mod (Point to point mode)
RIP	: Yönlendirme bilgi protokolü (Routing information protocol)
SNMP	: Basit ağ yönetim protokolü (Simple network management protocol)
SPF	: En kısa ilk yol (Shortest path first)
TTL	: Yaşama zamanı (Time to live)

## ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1.	İki alanı ve omurga alanı bulunan OSPF sistemi.....	20
Şekil 2.2.	Ad-Hoc ağlarda haberleşme.....	21
Şekil 2.3.	MANET protokol başarımlar parametreleri .....	23
Şekil 2.4.	MANET protokollerinin sınıflandırılması.....	25
Şekil 2.5.	Algılayıcı mimarisi.....	27
Şekil 2.6.	Algılayıcı görünümü.....	28
Şekil 2.7.	Kablosuz algılayıcı ağ protokol yapısı.....	28
Şekil 2.8.	Kablosuz algılayıcı ağ topolojisi.....	29
Şekil 2.9.	Yönlendirme protokol sınıfları .....	31
Şekil 3.1.	Oğul zekâ yönlendirme algoritmaları.....	35



## TABLULAR LİSTESİ

Tablo 2.1.	MANET'lerin uygulama alanları.....	22
Tablo 4.1.	Kablosuz algılayıcı ağ yönlendirme algoritmalarının karşılaştırılması.....	52
Tablo 4.2.	Kablolu ağlarda yönlendirme algoritmalarının genel özellikleri	53
Tablo 4.3.	MANET ağlarda yönlendirme algoritmalarının genel özellikleri.....	54

## ÖZET

Anahtar Kelimeler: Oğul Zekâsı, Yönlendirme Algoritmaları, Ağ Yönetimi, Ekoloji.

Bu çalışmada arılar ve karıncalar gibi sosyal canlıların kolektif davranışlarından birebir ilham alınarak tasarlanan ağ yönlendirme algoritmaları incelenip özellikleri ele alınmıştır.

Biyolojik sistemlerden esinlenen yönlendirme algoritmaları son 10 yılda geliştirilmiştir. Günümüz ve gelecek nesil ağların mevcut zorluklarla mücadele edebilmesinde, ilham alınan biyolojik sistemlerden aktarılan otonomi, kendi kendine organizasyon, uyarlanabilirlik, sağlamlık ve ölçeklenebilirlik karakteristik özellikler bu algoritmaları güçlendirmektedir.

Çalışmada kablolu ve kablosuz ağları farklı sınıflar olarak göz önünde bulundurup her bir sınıf için literatürde yer alan karınca ve arı koloni algoritmalarının özellikleri ele alınmıştır. Algoritmaların ayırt edici özelliklerini ortaya çıkarıp ve bağlantılı olduğu en gelişmiş algoritmalarla genel olarak artı ve eksi yönleri detaylandırılmıştır.

# **ANALYSIS AND COMPARISON OF SWARM INTELLIGENCE BASED ROUTING ALGORITHMS**

## **SUMMARY**

Key Words: Swarm Intelligence, Routing Algorithms, Network Management, Ecology

In this study I am discuss the properties and review the main instances of network routing algorithms whose bottom-up design has been inspired by collective behaviors of social insects such as ants and bees.

This class of bio-inspired routing algorithms includes a relatively large number of algorithms mostly developed during the last ten years. The characteristics inherited by the biological systems of inspiration almost naturally empower these algorithms with characteristics such as autonomy, self-organization, adaptivity, robustness, and scalability, which are all desirable if not necessary properties to deal with the challenges of current and next-generation networks.

In this study I am consider different classes of wired and wireless networks, and for each class I briefly discuss the characteristics of the main ant- and bee-colony-inspired algorithms which can be found in literature. I point out their distinctive features and discuss their general pros and cons in relationship to the state of the art.

# BÖLÜM 1. GİRİŞ

## 1.1. Problem Tanımı

Bilgisayar ağları, yeni servis türlerinin ve heterojen ağların bir bütün olarak mevcut ağlara dâhil edilmesiyle sürekli büyümekte ve gittikçe daha karmaşık bir hal almaktadır [1]. Ağ hızında ve işlem yapma gücündeki hızlı artış gereksinimi, ağ içerisinde gerçekleştirilen yönlendirme ve yönetim işlemlerinin, merkezi bir yapıdan dağıtık bir yapıya doğru kaymasını zorunlu kılmaktadır. Performans / maliyet oranının göz önünde tutulması zorunluluğu, araştırmacıları ağ üzerinde yeni işlem kapasitelerinin eklenmesi ve yeni yöntemlerin tasarlanması konusuna daha fazla yönlendirmektedir. Bu yönelim, doğadan esinlenme ile birlikte çoğunlukla karınca ve arı kolonilerinin yaşayış biçimlerine yoğunlaşmakta ve oğul zekâları model alınarak yönlendirme algoritmalarının tasarlanması popüler konular olarak ortaya çıkmaktadır.

Milyarlarca insanın global ağ içerisinde çalışan uygulamalara günlük yaşamlarının bir parçası olarak düzenli olarak erişecek olması, yakın gelecekte gerçekleşecek olaylardan birisi olacağı tahminleri yapılmaktadır [2]. Bu tahminleri gerçekleştirmek için, ağ uygulamalarının üç özelliğe sahip olması gerekmektedir:

- a. Büyük boyutlu talepleri karşılayacak bir ölçekte olmalıdırlar.
- b. Dinamik kullanıcı taleplerine ve ağ şartlarına kolayca uyum sağlamalıdırlar.
- c. Kısmi hatalar karşısında ayakta kalabilmeli ve kullanıcılara hizmet vermeye devam edebilmelidirler.

## 1.2. Yöntem

Geleceğin ağ uygulamalarında karşılaşılabilecek problemlerin, büyük ölçekli biyolojik sistemlerde halledilmiş durumda olduğu ve geleceğin ağ uygulamalarının bu önemli

prensipleri ve mekanizmaları benimseyeceği geniş birçok araştırma grubu tarafından kabul edilmektedir [3] [4] [5] [6] [7] [8] [9] [10] [11] [12] [13]. Büyük ölçekli biyolojik sistemler, ölçeklenme, uyarlanma ve hayatta kalma konularında gelişmiş mekanizmalara sahiptirler [14]. Örneğin, bir arı kolonisinde kovan içerisinde halledilen işlerin çoğu herhangi bir merkezi kontrol otoritesine bağlı olmadan gerçekleştirilebilir ve koloni çok sayıda arıya ölçeklenebilir. Arılar kendi başlarına (otonom) hareket ederler ve sadece yerel şartlar ile diğer anlarla yaptıkları yerel etkileşimlerden etkilenirler. Kovanı inşa ederken sadece tamamlanmış altıgen hücrelerin yapısını takip eden ve herhangi bir merkezi otoriteden emir almayan arılar, dinamik şartlara kendilerini uyarlayabilirler ve enerji tüketimine bağlı olarak besin kazancını optimize edebilirler. Kovandaki bal miktarının çok düşük olması durumunda; büyük miktarda bal toplayıcı arı kovanı terk ederek nektar aramaya giderken, kovanın bal bakımından dolu olması durumunda; arıların çoğu kovanda kalarak istirahat ederler. Arı kolonisi kraliçe arı dâhil tek bir arıya bağlı olmadığından, kovandaki bazı arılar ölse bile koloni yaşamını sürdürür. Bir arı kolonisinin istenen karakteristikleri olan ölçeklenebilirlik, uyarlanabilirlik ve hayatta kalabilirlik tek bir arıda bulunmamasına rağmen, bu özellikler koloni içindeki bütün arıların kolektif hareketlerinden ve etkileşimlerinden ortaya çıkar [14].

Nispeten basit birimlerin davranışından ve bunların kendi aralarındaki etkileşimlerinden ortaya çıkan ' karmaşık kolektif davranış ' (complex collective behavior) düşüncesi, sanal ortamlarda yapay yaşamlar' (artificial life) meydana getirme alanı için temel teşkil etmektedir [3], Bu sistemlerin anlaşılmasının gelişmesi / kolaylaşması, ortaya çıkan ortak davranış tarafından kontrol edilen yapay sistemler oluşturma şansını artırmaktadır.

### **1.3. Tezin Amacı**

Bilgisayar ağlarında oğul zekâsı tekniklerinin kullanılmasının başlıca nedeni yönlendirme algoritmaları ile sosyal böcekler arasındaki benzerliklerdir. Sosyal böceklerden karıncalar, termitler, bal arıları vb. canlılar kendi kendilerine organize olabilmeleri, iş bölümü yapabilmeleri, bölünerek büyük ölçeklere çıkabilmeleri ve

sürü zekâsını kullanarak çeşitli problemlere çözüm getirmeleri gibi özellikleri yönlendirme algoritmalarının geliştirilmesinde ilham kaynağı olmuştur.

Bu çalışmanın amacı sosyal canlıların davranışlarından ilham alınarak geliştirilen oğul zekâ tabanlı yönlendirme algoritmalarının neler olduğu ve bu algoritmaların kablolu ve kablosuz ağlarda ki yönlendirme algoritmalarının güçlü ve zayıf yanlarının ortaya çıkartılıp ve birbirleriyle karşılaştırılarak en uygun algoritmayı bulmaktır.

#### **1.4. Tezin Kapsamı**

Tez içerisinde yapılan çalışmalar dört grup altında özetlenebilir:

- a. Biyolojik sistemlerden ilham alınarak bilgisayar ağlarında ki sorunlara uygulanan çözümler anlatılmıştır.
- b. Bilgisayar ağlarında yönlendirme kablolu yönlendirme ve kablosuz yönlendirme olarak ayrı ayrı incelenmiştir.
- c. Literatürde yer alan oğul zekâ tabanlı yönlendirme algoritmaları incelenmiş ve sınıflandırılmıştır.
- d. Oğul zekâ tabanlı algoritmaların metrikleri belirlenmiş kablolu ve kablosuz olarak tablo üzerinde güçlü ve zayıf yönleri gösterilmiştir.

Yapılan çalışmanın katkısı mevcut oğul zekâ algoritmalarının tümünün kablolu ve kablosuz olarak belirlenen metrikler üzerinden değerlendirilip yönlendirme algoritması seçiminde önemli bir kaynak olması olarak özetlenebilir.

#### **1.5. Tez Planı**

Yapılan tez çalışması aşağıdaki gibi düzenlenmiştir:

Bölüm 1’de yapılan çalışmaların ilişkisi olduğu konular kısaca tanımlandıktan ve yapılan çalışmalar genel hatlarıyla özetlendikten sonra tezin içeriği ile ilgili bilgiler verilmektedir.

Bölüm 2’de ağların yönetimi, iletişim ağlarında yönlendirme, kablolu ve kablosuz yönlendirme konuları anlatılmıştır.

Bölüm 3’de literatürde yer alan kablolu ve kablosuz ağlar için oğul zekâsı tabanlı yönlendirme algoritmaları incelenmektedir.

Bölüm 4’de oğul zekâsı tabanlı yönlendirme algoritmalarının karşılaştırılması tablo halinde verilmiş; belirlenen metriklere göre güçlü ve zayıf yönleri açıklanmıştır.

Bölüm 5’de yapılan çalışmalardan elde edilen sonuçlar genel hatlarıyla özetlenmekte, tez çalışmasının bilime katkıları tartışılmaktadır.

## **BÖLÜM 2. BİLGİSAYAR AĞLARINDA YÖNLENDİRME**

### **2.1. Giriş**

Bilgisayar ağları, ekonomik ve ticari sebepler nedeniyle bütün olası durumlar altında başarılı çağrı bağlantısını garanti edecek bir donanıma sahip olma yerine, birçok kullanım durumunda kabul edilebilir bir performans sunacak en düşük seviyede bir donanıma sahiptirler. Ağ şartlarında önemli bir değişim olması durumunda (bir anda toplam çağrı hacmi anormal bir şekilde yükselir veya herhangi bir düğüm aniden büyük hacimli çağrıların merkezi veya hedefi olursa), kapasite sınırlamaları ve bağlantı kurulamayan çağrılar nedeni ile sistem / ağ hatalı çalışma durumuna gidebilir. Günümüzde kullanılan ağların büyük bir kısmında iki nokta arasındaki iletişimde takip edilecek birden fazla alternatif yol bulunabilir ve iletişim / iletilen mesaj bir takım ara anahtarlama istasyonları veya düğümler yoluyla yönlendirilebilir. Bu yapı nedeni ile yedek kapasiteye sahip ağ kısımları kullanılarak mesajların yönlendirilmesi ve mevcut veya potansiyel tıkanıklıkların hafifletilmesi mümkündür. Bu işlem ‘yük dengeleme’ olarak adlandırılır ve sistemdeki değişen yükü eşit olarak dağıtan ve kayıp çağrıları en aza indirgeyen çağrı yönlendirme sistemlerinin kurulması olarak tanımlanır.

Yönlendirme algoritmalarının temel görevi; ağ performansını en üst seviyeye getirmek ve maliyeti en aza indirgeyerek ağın sağlıklı hizmet vermesini tesis etmektir. Bir ağa yönlendirme algoritmalarının uygulanmaması durumunda, ağda tıkanıklıklar meydana gelebilir ve bu tıkanıklıklar büyük miktarda verinin kaybolmasına neden olabilir.



## 2.2. Ağların Yönetimi ve Yönlendirilmesi

Bu kısımda, bir ağın yönetilmesi için gerekli işlevler ve hizmetler bakımından yönetim konusunun ne olduğunu açıklanmaktadır. Yönlendirme, bütün düğümlerin doğrudan birbirine bağlı olmadığı bir ağda bir kaynaktan bir hedefe ara anahtarlama istasyonları veya düğümler aracılığıyla çağrılarının iletilmesine olanak tanıyan bir mekanizma şeklinde tanımlanabilir. Maliyetin yüksek olması nedeni ile bir kaç taneden daha fazla düğüm için tam bağlantılı bir ağ mümkün değildir [4]. Yönlendirme kullanıcı trafiği ve ağ tarafından koyulan sınırlamalar ve hedefleri karşılayan yolları seçerek, hangi ağ kaynağının kullanıcı trafiği tarafından kat edileceğini ve kullanılacağını belirler. Bir haberleşme ağında yönlendirmenin amacı; kullanıcı trafiğini, ağın hizmet gereksinimlerine ve hizmet kısıtlamalarına uygun olarak bir kaynaktan bir hedefe doğru yönlendirmektir [15]. Hedefler, ağın ekipman ve araçlar gibi maliyetlerini en aza indirirken, ağın performansını (gecikme ve çıkış) en üst seviyeye çıkarmayı içerir. Kısıtlamalar, temeli oluşturan ağ anahtarlama teknolojisi, ağın ve kullanıcı trafiğinin dinamikleri, sağlanan ağ servisleri ve istenen kullanıcı hizmetleri tarafından ortaya konur.

Mümkün olan en kısa yolu bulmanın yöntemlerinden birisi, en kısa olması muhtemel yol ile birbirine bağlı olan iki düğümün belirtildiği uygun yönlendirme tablolarının tasarlanmasıdır. Bu gibi yönlendirme tablolarının tasarımı basit bir optimizasyon problemidir ve ağ topolojisinin tanımlanması aşamasında çözülmesi gerekir. Bununla beraber, trafik şartlarının sürekli olarak değişmesi sonucunda ağın kendisinin yapısı düzensiz bir şekilde değişebilir (anahtarlama istasyonları ve bağlantılar bozulabilir). Birden fazla hedefe / amaca ve birden fazla kısıtlamaya sahip bir optimizasyon problemi olan yönlendirme, araştırma yapmak için ideal bir alandır. Ağ teknolojilerinin hızlı gelişimi, sürekli olarak yönlendirme ile ilgili konularda yeni araştırma / geliştirme konuları ortaya çıkmaktadır.

### 2.2.1. Yönlendirmenin işlevleri

Farklı ağlar farklı yönlendirme algoritmaları kullansa da, bütün haberleşme ağları temel bir yönlendirme işlevini gerçekleştirirler. Bütün ağlar için genel olan çekirdek

yönlendirme işlevlerinden ilki, *yolların (routes)* üretilmesinde ve farklı yollardan birisinin seçilmesinde kullanılan ağ / kullanıcı trafiği durum bilgisini toplamak ve iletmektir. Bu durum bilgisi, servis gereksinimleri ile mevcut kullanıcı konumlarını, sağlanan servisleri, ağda mevcut erişilebilir kaynakları, servislerin ve kaynakların kullanımıyla ilgili kısıtlamaları, vb. konuları kapsar. Ağla ilgili durum bilgisi, ağdan ve dış kaynaklardan gözlem yoluyla elde edilen, ölçülen veya tahmin edilen değerlerden oluşabilir.

İkinci çekirdek yönlendirme işlevi; kullanıcı ve ağ durum bilgisine dayanarak en uygun (optimal) yolları üretmek veya seçmektir. Uygun yollar, tüm kullanıcı isteklerini ve ağ kaynaklı servis kısıtlamalarını karşılayan yollardır. En uygun yollar ise, belirli bir performans kriterine göre “*en iyi*” değerlere sahip olan yollardır. Ağ performans kriterlerine / hedeflerine ve servis kısıtlamalarına bağlı olarak yol tespiti / seçimi çoğu kez yoğun bir işlem kapasitesi gerektirir. Mantıklı bir süre içinde kabul edilebilir sonuçlar üretmek için ‘*buluşsal (heuristic) yöntemler*’ gerektirebilir.

Çekirdek yönlendirme işlevinden sonuncusu, seçilen yollar üzerinden kullanıcı trafiğini iletmektir.

### **2.2.2. Statik yönlendirme işlemi**

Yönlendirme sistemlerinin tamamına yakını ağdaki ve kullanıcı trafiğindeki değişimlere benzer bir şekilde cevap verir. Bununla beraber, yönlendirme sistemleri, cevap verdikleri durum değişimlerinin türlerine ve cevap hızlarına göre değişim gösterir. Yönlendirme sistemlerinin ağ ve kullanıcı trafiğindeki değişimlere karşı cevap vermesi gerekmektedir. Verilen cevaba, cevap hızlarına, cevap verdikleri değişimlerin türüne, vb. etkilere göre değişen dinamik yönlendirme sistemleri bulunmaktadır.

Kullanıcıların ve ağın mevcut durumundan bağımsız olarak ve sabit bir yapıya sahip yönlendirme olan statik yönlendirme sistemleri, gerçek kullanıcı ve ağın davranışından daha çok beklenen davranışa dayanır. Birçok statik yönlendirme sisteminde, yönlendirme ağ tasarımının tümleşik bir parçasıdır ve bu nedenle tekrar

yönlendirme nadiren yapılır. Bir ağ tasarımının hedefi, belirli bir ağ topolojisini, yönlendirme yoluyla bilinen ağ şartları altında kullanıcı trafiğini destekleyebilen minimal ekipman masrafiyla üretmektir. Ağ tasarımı, girişlerin kullanıcı trafik tahminleri, ağ performans gereksinimleri ve ağ maliyet sınırlamaları olduğu bir tümleşik optimizasyon problemidir. Çoğu kez, uzun vadeli kullanıcı trafiği (trafik tahminlerinde kullanmak için) ve ağ yükü (ağ tasarımının performansının değerlendirilmesinde kullanmak için) ölçümlerine dayanır. Ağ tasarımı, genellikle, bu ölçümleri işlemek ve kabul edilebilir tasarımlar üretmek için yoğun bir çevrimdışı (offline) hesaplama gerektirir. Bu nedenle kullanıcı hizmet taleplerinde uzun vadeli değişimlere cevap olarak nadiren yerine getirilir. Statik yönlendirme, trafik iletiminden farklı şekilde görsel olarak gerçek zaman aktiviteleri ile ilgilenmez ve bu nedenle ağın içinde herhangi bir hesaplama aracına gerek duymaz. Statik yönlendirme sistemleri kategorisinde olan yarı-statik yönlendirme sistemleri, aynı zamanda istisnai olaylara (link ve anahtar hataları gibi) cevap olarak veya nispeten uzun zaman aralıklarında trafik iletimini değiştirir. Ağ trafik yönlendirmesinin elle güncellenmesi, çoğu kez yönlendirme işleminde değişimlerin seyrek olduğu durumlarda statik ve yarı-statik yönlendirme sistemlerinde yeterlidir.

Yönlendirme sistemlerinin bir kısmı ‘yarı statik’ olarak kabul edilebilir. Bu sistemlerde yönlendirme işlemi sadece istisnai olaylara (link ve anahtar hatası) ve / veya uzun bir zaman aralığındaki değişimlere karşı gerçekleştirilirken, diğer yönlendirme sistemleri son derece dinamik olarak kullanıcı ve ağ durumundaki algılanan değişimlere karşı gerçek zamanlı olarak trafiğin yönlendirilmesi işlemlerini gerçekleştirir.

Yönlendirmenin ağın veya kullanıcı trafiğinin mevcut durumundan bağımsız olarak yapılandırıldığı ve yönlendirmenin sabit kaldığı statik yönlendirme, yaygın bir kullanıma sahip değildir.

### **2.2.3. Dinamik yönlendirme işlemi**

İletişim ağlarında oluşan çağrı hatalarının sayısının her şart altında en aza indirgenmesi gerekmektedir. Bir mesajın bir düğümden bir başka düğüme

iletilmesinde genellikle birden çok muhtemel yol bulunması nedeni ve ağdaki tıkanıklıkların önlenmesi amacıyla dinamik / adaptif yönlendirme algoritmalarının geliştirilmesi gerekliliği ortaya çıkmaktadır. Adaptif yönlendirme algoritmaları kullanılarak çağrılar daha az tıkanıklığa veya boşta kapasiteye sahip düğümlere yönlendirilebilir. Ağda ani bir hareketlilik olması veya düğümlerden birisinin büyük bir boyutlu çağrılarının hedefi / kaynağı olması durumunda, bu yönlendirme işlemi büyük bir önem kazanır.

Kullanıcı ve ağ durumundaki algılanan değişimlere gerçek zamanda adapte olarak trafik yönlendirilmesini güncelleyen dinamik yönlendirme sistemleri, sadece link ve anahtar arızasını değil aynı zamanda kullanıcı trafiği ve ağ kaynaklarının mevcudiyetindeki dalgalanmaları da kapsar. Dinamik yönlendirme sistemleri, kullanıcı trafiği ile ağ performansını ölçmede talep edilen yolları hesaplamak için mevcut kullanıcı trafiğini ve ağ durumunu dikkate alarak, küçük kontrol paketlerinin (gezgin görevli) ağ içinde aktif rol almasına dayanır [3]. Bu nedenle, dinamik yönlendirme gerçek zamanlı bilgi edinme ve kontrol kararları için bellek ve ağ içine yerleştirilmiş hesap kaynakları gerektirir.

Dinamik ortamlarda gerçekleştirilen yönlendirme işleminde farklı durumlar ortaya çıkar. Hızlı durum değişimlerini yakalayabilen dinamik bir yönlendirme sistemi, gerekli ağ kaynaklarının niceliğinden dolayı her zaman pratik olmayabilir. Durum değişimleri küçük olduğunda, yönlendirme sistemi bu değişimlere cevap vermeye ihtiyaç duymayabilir. Ek olarak, mevcut durum değişikliklerinden daha çok istatistiksel olarak hesaplanan ve tahmin edilen durum değişimleri ile ilgili yönlendirme kararlarına dayanarak kabul edilebilir yolları koruyabilir. Durum değişimleri mevcut yolların kabul edilemez seviyede olmasına neden olduğunda, yönlendirme sistemi birçok durumda bu değişimlere adapte olmaya çalışmalıdır. Ancak, ağdaki durum değişimlerinin sıklığı, yönlendirme sisteminin minimum cevap gecikmesinden daha az olması durumunda, daha düşük dinamizme sahip bir yönlendirme sistemiyle daha iyi performans elde edilebilir. Ağ ortamları için yönlendirme sistemlerinin tasarlanmasında, karmaşık maliyet ve performans değişimlerinin göz önünde bulundurulması gereklidir.

#### 2.2.4. Yük dengeleme

Sistemin yükünün sistemde bulunan birimlere eşit bir şekilde dağıtan ve mesaj kayıplarını en aza indirgeyen çağrı yönlendirme algoritmalarının uygulanması sonucunda sağlanan '*yük dengeleme*' işlemi, dinamik yönlendirme ile sıkı bir ilişkiye sahiptir. Yük dengeleme, mesajların boş kapasiteye sahip ağ kısımları üzerine yönlendirilmesiyle gerçek veya potansiyel yerel tıkanıklığının önlenmesini sağlamaktadır. Dinamik yönlendirme ve yük dengeleme, statik ve yarı statik yönlendirmeden daha fazla hesaplama kaynağına gereksinim duyar. Dinamik yönlendirme, kullanıcı trafiğini, ağ durumunu, ağ performansını ölçmek, düğümler arasında en kısa yolları hesaplamak, vb. işlemlerin yapılmasında ağ içerisinde bütün düğümlere dağıtılmış ve düğümler arasında hareket edebilen varlıkların / nesnelerin / görevlilerin sayesinde gerçekleştirilir.

#### 2.2.5. Devre anahtarlama ve paket anahtarlama iletim yöntemleri

Haberleşme ağları, anahtarlama teknolojisi referans alınarak 'devre anahtarlama' ve 'paket anahtarlama' şeklinde iki sınıfa ayrılabilir. Bu sınıflandırma, ağ anahtarlama teknolojisi yanı sıra ağın geliştirilme hedefini de farklılaştırır.

*a- Devre anahtarlama iletim:* İletim süresi boyunca iletişim kanalının mesaja tahsis edildiği bir iletişim türüdür. Başlangıçta, ses trafiğini iletmek için tasarlanan devre anahtarlama ağlar, sıralamaya ve gecikme işlemlerine duyarlıdır. Devre anahtarlama ağlar başlangıçta çoğullamaya (multiplexing) dayanan analog aygıtlar kullanmalarına rağmen, süreç içerisinde popüler bir sayısal anahtarlama yöntemi olarak zaman-bölmeli (time-division) çoğullama yöntemi kullanılmaya başlamıştır. Devre anahtarlama yönteminde, kaynaktan hedefe iletim yolu boyunca iletim ve anahtarlama kaynaklarının bir çağrıya ayrılması nedeniyle mesajın iletimi sırasında kuyruk gecikmeleri önlenir. İletilen mesajın tüm kaynakları kullanıp kullanmadığı dikkate alınmaksızın, bir mesaj iletimi boyunca tüm kaynaklar ayrılmış olarak kalır. Ayrılmasına karşılık boşta olan / kullanılmayan anahtarlama ve iletim kaynakları diğer mesajların iletimi için kullanılamaz.

Devre anahtarlama ağıların çoğu telefon şirketleri tarafından ticari amaçlı olarak geliştirilmiş halka açık ağlardır. Telefon şirketleri, ağların tasarlanmasında ve kendi trafik yönlendirmesinin yönetilmesinde önemli miktarda kaynak harcayarak güvenilir servisler sağlamayı amaçlarlar. Bu amacı gerçekleştirirken, minimal tasarım ve yönetim maliyetleriyle, olumsuz durumlarda bile (dengesiz yük, birimlerin hizmet dışı kalması, vb.) iletişimin devamlılığını sağlamayı hedeflerler.

*b- Paket anahtarlama iletim:* Mesajların gönderilmeden önce paketlere bölüdüğü bir iletim sistemidir. Her paket daha sonra farklı yollar izleyerek hedefine ulaştırılır. Bütün paketler hedefe ulaştığı zaman tekrar derlenerek orijinal mesaj meydana getirilir. Başlangıçta, gecikmeye duyarız veri trafiğini taşımak için tasarlanan paket anahtarlama ağılar, anahtarlama ve iletim kaynaklarını talep edilen trafiğe tahsis etmek üzere istatistiksel çoğullama kullanırlar. Paket anahtarlama ağlarda, kullanılmayan kaynakları kullanmak isteyen birimler tarafından kullanılmasına izin verileceği garanti edilir. Ağ trafiğinin mevcut kaynakları kullanma isteği, sunulan trafik yükü kaynağın kapasitesini aştığında paketlerin kuyruğa yerleştirilmesini, hatta atılmasını zorlayabilir.

Paket anahtarlama tekniği yakın zamana kadar çoğunlukla belirli amaçlar için geliştirilen özel ağlarda (mesela; havayolu rezervasyon sistemleri, bankalar, vb.) veya araştırma / altyapı projeleri olarak geliştirilen halka açık ağlarda (ARPANET, NSFNET, vb.) kullanılmaktaydı [16]. Özel ağlar, özel ortamlar veya kullanımlar için optimize edilmiş yönlendirme stratejilerinin geliştirilmesi gerekliliğini ortaya çıkardı. Diğer taraftan, araştırma ağlarının davranışı, önceden tahmin edilmesi güç deneysel adaptif yönlendirme stratejilerinin gelişimini motive etmiştir. Bu çalışma, paket anahtarlama ağlarda yönlendirme konusunun modellenmesi ve simülasyonuna odaklanmaktadır.

Devre ve paket anahtarlama iletim yöntemleri bazen *bağlantıya yönelik (connection-oriented)* ve *bağlantısız (connectionless)* iletim yöntemleri olarak adlandırılır [17]. Bağlantıya yönelik yönlendirme; kullanıcı trafiğinin iletiminden önce, yol boyunca bütün anahtarlarda yönlendirme algoritmalarının / emirlerinin bulunmasını gerektirir. Bağlantısız yönlendirme ise, kullanıcı trafiğinin yol

üzerindeki anahtarlar / ara bağlaşım cihazları tarafından bağımsız olarak yorumlanabilen yönlendirme bilgisinin taşındığı iletişim şeklidir.

### **2.2.6. Yönlendirme işleminin geliştirilmesi ve yeni yönlendirme algoritmaları**

Birbirinden bağımsız ve paralel olarak gelişen devre anahtarlama ve paket anahtarlama sistemler, süreç içerisinde bir noktada toplanmaya başlamışlardır. Bu birleşmeye yönelik gelişim iki temel dürtünün sonucudur: kullanıcı hizmet talepleri ve yüksek hızlı iletim / anahtarlama teknolojileri.

Güçlü, kullanımı kolay, taşınabilir ve ucuz kişisel bilgisayarların sayısındaki artış, global olarak erişilebilir haberleşme ağlarıyla birlikte, karmaşık iletişim servislerine sahip büyük ağlar yanında artan bir kullanıcı topluluğunu ortaya çıkarmıştır. Ortaya çıkan kullanıcı hizmet gereksinimleri; düşük maliyet, yüksek kalite, kullanıcı konumundan bağımsız bir şekilde erişilebilir dağıtık çoklu ortam (multimedia) hizmetleri (ses, veri ve video) olarak özetlenebilir. Temel global iletişim ağları, özellikle telefon ağları ve internet, ortaya çıkan gereksinimlere aşağıda özetlenen teknolojiler ile cevap vermektedir.

Telefon hizmet sağlayıcılarının kullanıcı taleplerini karşılamak amacıyla geliştirdikleri yeni teknolojilere örnek olarak iki yeni teknoloji verilebilir: konumdan bağımsız hizmetler sağlamak amacıyla geliştirilen seyyar (mobile) hücreli radyo sistemleri ve çoklu ortam hizmetlerini destekleyen Genişband Tümüleşik Hizmet Sayısal Ağları (Broadband Integrated Services Digital Networks – B-ISDN). Bu teknolojilerin geliştirilmesiyle birlikte, tarihsel olarak merkezi, yarı-durağan trafik yönlendirme stratejilerini kullanan telefon ağları mesaj taşıma kapasitesini ve ağ dayanıklılığını maliyet olarak en uygun bir şekilde arttırmak için dinamik yönlendirme stratejilerini benimsemeye başlamışlardır.

Global bir veri ağı sistemi olarak İnternetin ortaya çıkışı, İnternet ile ilgili / İnternetin kullanıldığı birçok alanda yeni çalışmaların yapılması gerekliliğini ortaya çıkarmaktadır. Herhangi bir hizmet garantisiz en iyi trafik yönetimi sağlayan dağıtık ve dinamik yönlendirme stratejilerini kullanan İnternete, bir

noktadan birden fazla noktaya iletişim için hizmet garantisi sağlayan, seyyar kullanıcıları ve dinamik ağları destekleyen protokol standartları eklenmesi ile birlikte ileri ağ performansı ve düşük maliyet özellikleri eklenmesine yönelik çalışmalar yapılmaktadır. Diğer bir deyişle, İnternetin dramatik ilerleyişi çok büyük ağları barındırabilen, güvenilir, yönetilebilir ve güvenli yönlendirme stratejilerine gereksinim yanında bu konuda yeni çalışmalar / araştırmalar yapılmasını ortaya çıkarmaktadır.

Ortaya çıkan yeni iletişim ihtiyaçlarının ve farklı hizmet taleplerinin karşılanması için en uygun ağ teknolojilerinin hem devre anahtarlama hem de paket anahtarlama kapasitelerine sahip ağlar olacağı açıktır. Hızlı paket anahtarlama ve fiber optik ağlar gibi geliştirilmekte olan yüksek hızlı ağ teknolojileri devre anahtarlama ve paket anahtarlama teknolojilerinin karışımı olan yeni iletişim teknolojilerini kullanmaktadır.

Sonuç olarak, küresel kullanıcı bağlantıları tek bir homojen ağ katmanı yerine birden fazla bağımsız birim / görevli ile idare edilen, farklı hizmetler sunan, farklı anahtarlama teknolojileri kullanan, birbirine karşılıklı olarak hizmet sağlayan sistemler tarafından sunulacaktır. Böyle bir ortamda çalışan bir yönlendirme sistemi için temel problem; ağ boyunca yönlendirme trafiğinde kullanılan büyük hacimli bilgilerin verimli dağıtımı, idaresi ve sentezi olacaktır. Bu problemin yakın gelecekte ortaya çıkacak büyük, heterojen ve dinamik ağların yönetiminde karşılaşılabilecek önemli iletişim problemlerinden birisi olacağı beklenmektedir [15].

### **2.3. Yönlendirme Algoritmaları**

Yönlendirme algoritmaları, kullanıcı trafiği ile ağ tarafından belirlenen hedefler ve sınırlamaları karşılayan yolları seçer. Yönlendirme algoritmalarında istenen belirli özellikler bulunmaktadır: Doğruluk, basitlik, sağlamlık, kararlılık, açıklık ve optimallik.

Bir ağın yükünü dengelemek için gösterilen çabaya bağlı olarak yönlendirme algoritmaları yukarıda ifade edildiği şekilde statik - dinamik veya merkezi - dağıtık



olarak sınıflandırılabilir. Daha önceki kısımlarda belirtildiği gibi, merkezi algoritmalar genellikle ölçeklenebilirlik problemlerine sahip olmaları yanında, merkezi kontrol istasyonunda oluşan herhangi bir hata durumunda ağın çökmesi gibi sakıncalara sahiptir. Adaptif yönlendirme algoritmaları ise, düğüm hatalarından ortaya çıkan tutarsızlıklara, dairesel yollara / döngülere ve kararsızlığa neden olan potansiyel osilasyonlara, vb. problemlere sahiptir [17].

Daha öncede ifade edildiği gibi, statik yönlendirme algoritmaları yönteminde, belirli yönlendirme tabloları ağ çalışmaya başlamadan önce oluşturulur. Bir iletişim ağında statik yönlendirme düğümler arasındaki en kısa yolu bulmaya karşılık gelir. Burada kullanılan ölçüt iki yönlendirici arasındaki hoplama sayısı, fiziksel uzaklık, iletim gecikmesi, vb. olabilir. Klasik '*Dijkstra*' algoritması en kısa yol problemini çözer ve yönlendirici tarafından gelen paketleri kendi hedeflerine doğru iletmek için kullanılan yönlendirme tablolarını oluşturmak için kullanılabilir [22]. Bu yöntem sadece ağ topolojisine önem verir.

Dinamik yönlendirme algoritmaları, belirli bir ağ yüküne dayanarak çalışma anında yönlendirme tablolarının oluşturulması ve güncellenmesi esasına göre çalışır. Bu tür algoritmalara örnek olarak; '*uzaklık vektörü*' (*distance vector*) ve '*link durumu*' (*link state*) yönlendirme algoritmaları verilebilir. Ayrıca, bu çalışmada ilgi odağı olan yeni bir yönlendirme algoritma grubu olarak '*oğul zekâsı*' yöntemini kullanan algoritmalar bulunmaktadır.

### **2.3.1. Kablolu ağlarda yönlendirme algoritmaları**

#### **2.3.1.1. Uzaklık vektörü yönlendirme algoritması**

Ağ kaynakları ve hedefleri arasında en az maliyetli (cost) yolları üreten en kısa yol algoritmaları, paket anahtarlama ağlar için en yaygın kullanılan yol üretim algoritmalarıdır [15]. En kısa yol algoritmaları arasında, dinamik programlama kavramlarına dayalı algoritmaları oluşturan uzaklık vektörü sınıfı en yaygındır. Uzaklık vektörü algoritmaları başlangıçta 'ARPANET' içinde kullanılmıştır ve günümüzde İnternette işlevini sürdürmektedir. Uzaklık vektörü algoritmaları

günümüzde birbirine bağılı ağlarda kullanılan standart yönlendirme prosedürlerinin birçoğuna temel teşkil ederek geniş bir alanda kullanıma sahip olmuştur. Bu algoritmaların tercih edilmesinin nedeni, dağıtık ve asenkron çalışmaya izin vererek basit uyarlamalardaki esneklikleri ve yolları üretmek / seçmek için sadece yerel olarak erişilebilir yönlendirme bilgisini kullanmalarıdır.

Uzaklık vektörü yönlendirme algoritmaları ARPANET ile başlayarak yirmi yıldan fazla paket anahtarlama ağlarda kullanılmaktadır. Basit, bir maliyet hesaplama işlemini kullanarak en az maliyetli yollar belirlenir ve bu işlem genellikle ağdaki anahtarlama elemanlarına dağıtılır. Bir kaynak anahtarı kendi komşu anahtarlarından elde edilen maliyet hesaplamalarına dayanarak bir hedef anahtarı için yolun maliyetini hesaplayabilir. Bu nedenle anahtarlar uzak hedeflerin en az maliyetli yollarını hesaplarken, sadece komşularıyla yerel maliyet hesaplarını karşılıklı değişirler.

Uzaklık vektörü algoritması belirli bir ölçüte göre en uygun (optimal) yolları üretir [15]. Yönlendirme ölçütlerine örnek olarak; gecikme, çıkış, hata oranı, parasal maliyet, hop sayısı veya birkaç ölçütün bir fonksiyonu verilebilir. Bu bölümden sonraki bölümlerde detayları verilecek olan uygulamalarda, genellikle yönlendirme ölçütü olarak hop sayısını kullanılmaktadır. Bu uygulamalarda en uygun yol en az hop sayısına sahip yol manasına gelmektedir. Uzaklık vektör algoritmaları hop sayısını kullanmanın yanında maksimum kapasite gibi ölçütleri de kullanabilir ve bu durumda maksimum yol kapasitesi, link kapasitelerinin minimumu anlamına gelir.

Temel uzaklık vektör yönlendirme algoritması çoğu kez '*Ford-Fulkerson*' yöntemi olarak adlandırılır [1]. Aynı zamanda dinamik programlama perspektifinden Bellman denklemleriyle ifade edilebildiğinden dolayı '*Bellman-Ford*' algoritması olarak ta bilinir.

Bir iletişim ağını düğümlerden ve linklerden oluşan bir sistem olarak kabul edersek; düğümler anahtarlama elemanlarını (yönlendiriciler ve ana bilgisayarlar), linkler ise anahtarlar arasındaki bağlantıları gösterir.  $D_{ij}$ ,  $i$  kaynak düğümünden  $j$  hedef düğüme en düşük maliyete sahip yolun maliyeti ve her  $i - j$  düğüm çifti için tanımlı

olması yanında, ‘ $i$ ’ ve ‘ $j$ ’ birbirine komşu iseler, bu doğrudan bir linke sahip olmaları anlamına gelir ve  $d_{ij}$  bu linkin maliyeti olur (aksi halde,  $d_{ij} = \infty$  olur). Link maliyetlerinin toplandığı varsayılarak, ‘ $i$ ’ ve ‘ $j$ ’ arasındaki minimum maliyetli yol aşağıda detayları verilen ‘Bellman denklemleri’ aracılığıyla çözülebilir;

$$D_{ii} = 0 \quad \text{tüm } i\text{'ler için,}$$

$$D_{ij} = \min (d_{ik} + D_{kj}), \quad i \neq k \text{ için.}$$

‘Bellman-Ford algoritması’ kullanılarak,  $h$  hop sayısı kadar yinelenen bir algoritma tanımlanır:

$$D_{ii}(h+1) = 0 \quad \text{tüm } i\text{'ler için.}$$

$$D_{ij}(h+1) = \min (d_{ik} + D_{kj}(h)), \quad i \neq j \text{ için.}$$

Başlangıç şartları aşağıdaki gibi tanımlanabilir;

$$D_{ii}(0) = 0 \quad \text{tüm } i\text{'ler için.}$$

$$D_{ij}(0) = \infty \quad i \neq j \text{ için.}$$

*RIP yönlendirme algoritması:* Yönlendirme bilgi protokolü (Routing Information Protocol - RIP), dünyadaki binlerce ağda kullanılmakta olan bir uzaklık vektörü protokolüdür. Açık standartlara dayalı olması ve uygulanabilirliğinin çok basit olması yönüyle tercih edilmesine karşın RIP, daha gelişmiş gönderim protokollerinin özelliklerinden ve gücünden yoksundur [30].

RIP, uzaklık-vektör tabanlı bir yönlendirme protokolüdür. Bu protokolü çalıştıran yönlendiriciler kendi yönlendirme tablolarının tamamını 30 saniye aralıklarla bütün komşularına gönderir. Ayrıca en iyi yolu seçerken sadece yönlendirilen paketlerin atlama sayısı değerini temel alır ve değeri 15’tir. RIP protokolünün ilk sürümü sadece sınıflandırılmalı yönlendirmeyi kullanır. Yani bu sürümde ağdaki tüm cihazlar aynı alt ağ maskesini kullanmak zorundadır. RIP sürüm 2 ise önek (prefix) yönlendirme olarak ta adlandırılır ve yönlendirme güncellemeleri sırasında alt ağ değeri de gönderilir. Bu yönlendirmenin diğer bir adı da sınıflandırmasız yönlendirmedir.

### 2.3.1.2. Link durumu yönlendirme algoritması

Link durum yönlendirme algoritması, statik yönlendirme ve uzaklık vektörü yönlendirme gibi klasik yöntemlere bir alternatif olarak son zamanlarda popüler bir duruma gelmiştir. Günümüzde link durum yönlendirme protokol türlerinin çoğu İnternet gibi büyük ölçekli ağlarda kullanılmaktadır. Link durumu yönlendirme algoritmalarının çekirdeğini dağıtık ve çoğaltılmış bir veri tabanı oluşturur ve bu veri tabanı kullanılarak veri trafiği için en uygun yollar hesaplanabilir. Bu veri tabanı, ağın bileşenlerini ve mevcut bağlantılarını tanımlayan bir dinamik ağ haritasıdır.

İlk link durum protokolü Bolt Beranek ve Newman tarafından 1979 yılında ARPANET için geliştirilmiştir [23]. Link durumu algoritmasının daha önceki Bellman-Ford tabanlı yönlendirme protokolü üzerinde verimlilik, güvenilirlik, döngü serbestliği ve adaptasyon hızı bakımından daha önemli üstünlükleri olduğu tespit edilmiştir. Daha sonra, link durum yönlendirme protokolleri geliştirilmiş ve yeni protokoller ortaya çıkmıştır. Bunlara örnek olarak TCP/IP için OSPF (Open Shortest Path First) protokolü [1] ve OSI için IS-IS [15] verilebilir.

Her bir link durum protokolünün çekirdeğini oluşturan dağıtık ve çoğaltılmış veri tabanı '*link durum veri tabanı*' olarak adlandırılır [15]. Ağdaki her bir anahtarlama elemanı bu veri tabanının özdeş bir kopyasını saklar ve bu veri tabanı yönlendirme alanının eksiksiz bir haritasını tanımlar. Link durum veri tabanını oluşturan parçalar '*link durum ilanları*' (Link State Advertisements - LSAs) olarak adlandırılır. Her anahtar, kendisinin çalışan arabirimlerini gösteren bir LSA oluşturmak ve bunu diğer düğümlere yollamaktan sorumludur.

'Akış' (*flooding*) olarak adlandırılan işlem yönlendirme alanı boyunca LSA'ları dağıtmak için kullanılır. Akış işleminde, bir arabiriminden LSA'yı alan bir anahtar diğer arabirimleri üzerinden LSA'yı gönderir. Akış işlemi güvenilir ve çabuk olmalıdır. Yönlendirme alanında bir değişiklik olursa (örneğin; bir link koparsa ve bir yönlendirici çalışmaz duruma gelirse) değişimi tanımlayan yeni bir LSA oluşturularak tüm anahtarlara gönderilmeli ve akış işlemi başlamalıdır. Akış işlemi esnasında tüm anahtarlar aynı veri tabanına sahip olmayabilir: bazıları yeni LSA'ya

sahip olurken, bazıları olmayabilir. Ancak güvenilir bir akış algoritması veri tabanlarının bir 'yakınsama' (*convergence*) periyodu sonrasında senkronize olacağını garanti eder. İyi bir akış algoritması LSA'ların çabucak dağıtımını yapar ve yakınsama zamanını küçük tutar.

Bir anahtar senkronize bir link durum veri tabanına sahip olduğunda, link durum veri tabanını giriş olarak kullanarak ağ trafiği için en iyi yolları hesaplayabilir. Bu işlem, 'yönlendirme hesabı' olarak adlandırılır. 'Dijkstra algoritması' veya 'en kısa ilk yol (*shortest path first - SPF*)' en uygun yolları hesaplamada yaygın olarak kullanılan metotlardır [22]. Bu sebepten dolayı link durum protokolleri çoğu kez, 'SPF-tabanlı protokoller' olarak adlandırılır.

*OSPF algoritması*: Open Shortest Path First, yani İlk Açık En Kısa Yol anlamına gelen OSPF, bir TCP/IP ağındaki router'ların birbirini otomatik olarak tanımada kullanılan bir protokoldür. OSPF ve diğer protokoller (RIP de) router'ların birbirlerini otomatik olarak görmesi için gerekli hizmetleri sunarlar.

Open Shortest Path First (OSPF), ağ katmanında DARPA Internet Protokolü tabanlı, TCP/IP ağları için bir yönlendirme protokolüdür. OSPF yönlendirme algoritması RIP'e alternatif olarak geliştirilen Shortest Path First veya bulan kişinin adıyla Dijkstra algoritmasına dayanır. Bu protokol otonom sistemler içinde kullanılmak üzere tasarlanmıştır. Otonom sistemler arası yönlendirme için tasarlanmamıştır. Bu yüzden OSPF bir dâhili ağ geçidi protokolüdür (Interior Gateway Protocol - IGP). Ortak bir yönetim altındaki, kampüs, şirket ve bölgesel ağlar gibi, IP ağlarında kullanılır. OSPF, Dijkstra algoritmasını kullanarak hedefe gidecek en kısa yolu bulmaya çalışır.

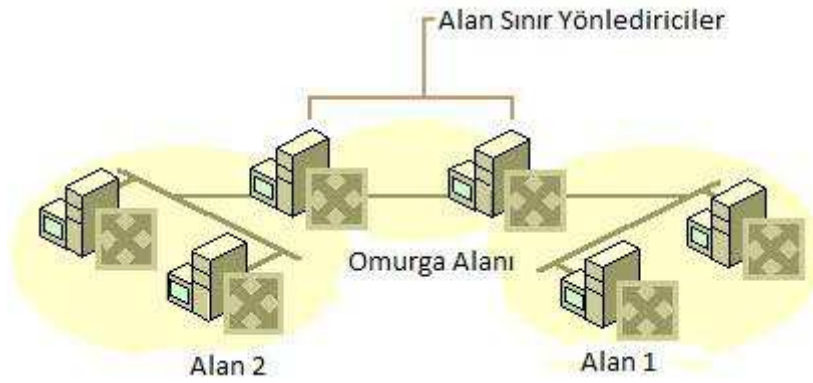
OSPF, RIP ile benzer bir şekilde çalışır, yani router'lar ulaşabildikleri ağlar ile ilgili bilgileri birbirleri ile değişirler. OSPF bir ağa kaç adımda ulaşabildiğini değil bir ağa ne kadar zamanda (veya hangi hızda) ulaşabildiğini yollar. Dolayısıyla, RIP'te görülebilen sonsuza kadar sayma sorunu ortadan kalkmış olur.

*OSPF Mantığı:*

- 1) Her yönlendirici her arabirimindeki komşularını belirler/keşfeder. Komşu listesi bir komşu tablosunda tutulur.
- 2) Her yönlendirici komşusu ile topoloji bilgisini değiştirmek için güvenilir bir protokol kullanır.
- 3) Her yönlendirici öğrendiği topoloji bilgisinin kendi topoloji veri tabanına yerleştirir.
- 4) Her yönlendirici SPF algoritmasını kullanarak en kısa yolu hesaplar.
- 5) Her yönlendirici IP yönlendirici tablosuna her alt ağ için en iyi yolu yerleştirir.

*OSPF' nin avantaj ve dezavantajları:* OSPF mesajları, router'ların kendi içlerinde ağın bir haritasını çizmesini sağlarlar. Öte yandan, bir haritayı hatırlayabilme ve o haritada yolunu bulabilme hafıza ve işlem gücü açısından çok pahalıya mal olabilir.

OSPF'nin en büyük avantajı verimli olmasıdır, çok büyük ağlar arasında bile OSPF çok düşük bir ağ gideri gerektirir. OSPF'nin en büyük dezavantajı karmaşıklığıdır; OSPF doğru planlama gerektirir ve yapılandırılması ve yönetilmesi daha zordur. OSPF, yönlendirme tablosu içindeki yolları hesaplamak için Önce En Kısa Yol (SPF) algoritmasını kullanır. SPF algoritması, yönlendirici ile ağlar arasına ait tüm ağlar arasındaki en kısa (en düşük maliyetli) yolu hesaplar. SPF hesaplamalı yollar, her zaman döngüsüzdür. RIP yönlendiricileri gibi, yönlendirme tablosu girdilerini değiştirme yerine, OSPF yönlendiricileri, ağlar arasına ait olan ve ağ topolojisine herhangi bir değişiklik yapılmasından sonra güncelleştirilen bir harita bulundurur. Bağlantı durumu veri tabanı olarak adlandırılan bu harita, tüm OSPF yönlendiricileri arasında eşitlenir ve yönlendirme tablosu içindeki yolları hesaplamak için kullanılır. Aşağıdaki şekil, OSPF ağlar arasına ilişkin bir diyagram göstermektedir.



Şekil 2.1. İki alanı ve omurga alanı bulunan OSPF sistemi

OSPF'nin RIP'e göre aşağıdaki avantajları vardır:

- OSPF hesaplamalı yollar, her zaman döngüsüzdür.
- OSPF büyük veya çok büyük ağlar arası ölçeklendirme yapabilir.
- Ağ topolojisi değişikliklerinin yeniden yapılandırılması daha hızlıdır.

OSPF günümüzde büyük networklerde en çok kullanılan protokollerden biridir. Endüstri standardı olduğundan Cisco dışındaki cihazlarla da çalışır.

Negatif tarafı, SPF algoritmasının yavaşlığı ve işlemci yemesinin dışında konfigürasyonunun da zor olmasıdır. Çok özelliği olduğundan, EIGRP ya da RIP gibi basit bir konfigürasyona sahip değildir.[31]

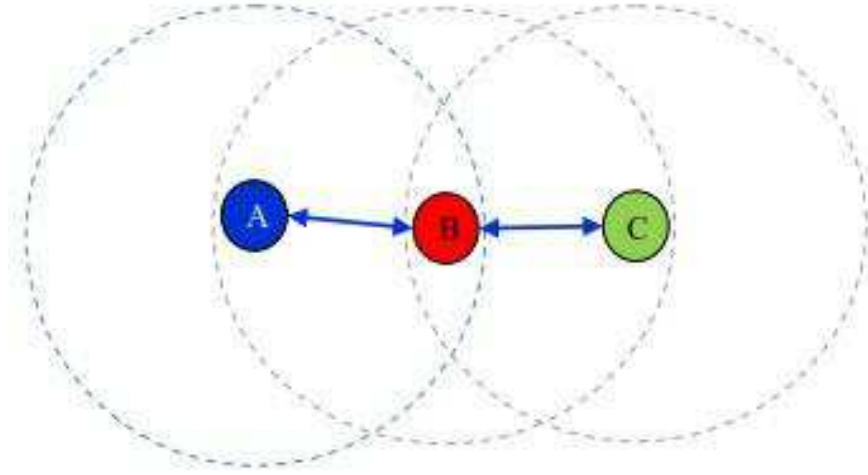
### 2.3.2. Kablosuz yönlendirme

#### 2.3.2.1 AD-HOC ağlar ve yönlendirme protokolleri

Kablosuz veri iletişim aygıtları ve gezgin işlemlerde yakın zamandaki gelişmeler, gezgin kullanıcılar arasında kablosuz iletişimi daha önce olmadığı kadar popüler kılmıştır [32] [33].

Ad Hoc, geçici anlamına gelen Latince kökenli bir kelimedir. Oluşan özel veya acil sorunlar için kullanılan çözümler olarak da kullanılmaktadır. Ad-Hoc ağlar, sabit bir altyapının ve merkezi sunucuların olmadığı kendiliğinden yapılanan, bir grup kablosuz cihazdan oluşan ağlardır. Bu cihazlara genel olarak düğüm adı verilir. Söz

konusu düğümler yönlendirici ve kullanıcı görevlerini üstlenerek herhangi bir merkezi cihaz olmadan kendi aralarında haberleşebilmektedir. Tipik bir Ad Hoc ağında mobil düğümler belli zaman aralıklarında bilgi aktarımı yapmak için bir araya gelirler. Bilgi aktarımı sırasında düğümler hareket halinde olabilirler ve bu duruma ağ hazırlıklı olabilmeli ve çabucak adapte olabilmelidir.



Şekil 2.2. Ad-hoc ağlarda haberleşme

En basit şekliyle, düğümler birbirlerinin kablosuz iletim alanlarında olduklarında aralarında direkt olarak iletişim kurabilirler. Ancak ad hoc ağlar birbirlerinin iletim alanında olan düğümler ile iletişim sağlamak yanında birbirinin iletim alanında olmayan düğümler ile de iletişim kurabilirler [34]. Şekil 2.2. 'de, A ve C düğümleri B düğümünü ellerindeki paketleri aralarında iletebilmek için kullanırlar. Düğümler etrafındaki çemberler her düğüme ait radyo alıcılarının mesafesini gösterir. Her düğüm çember içinde kalan düğümler ile doğrudan haberleşebilirken A düğümünün haberleşme alanında olmayan C düğümü ile doğrudan haberleşmesi mümkün değildir. Haberleşmeyi sağlayabilmek A düğümünün iletim alanında olan B düğümü üzerinden bilgi B düğümünün iletim alanında olan C düğümüne iletilir. Bu nedenle, ad hoc ağlar her düğümün potansiyel yönlendirici ve potansiyel mobil olduğu ağlardır.[34,41]

*Uygulama alanları:* MANET'lerin uygulama alanları Tablo 2.1'de özetlenmiştir [35].



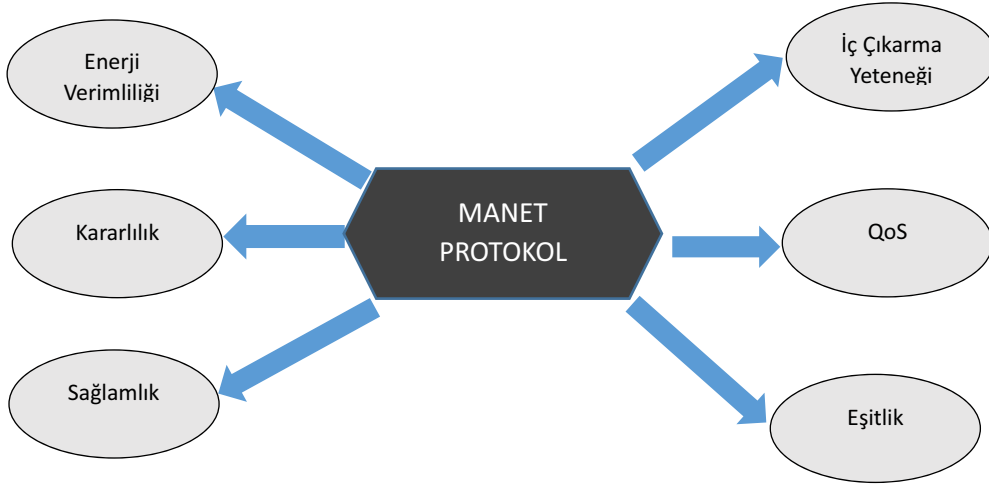
Tablo 2.1. MANET'lerin uygulama alanları

Ağ Türü	Uygulama Alanı
Taktik Ağlar	Askeri iletişim, operasyon, otomatize edilmiş savaş alanları
Algılayıcı Ağlar	Yerel veya uzaktan akıllı algılayıcı düğümlerin kontrol edilmesi, çevresel uygulamalar: hayvanların hareketlerinin izlenmesi, çevresel kirlenme sulama vb.
Acil servisler	Arama ve kurtarma operasyonları, hasta kayıt, durum, veri vb. iletimi
Ticari	Her yerden elektronik ödeme (taxi vb.), gezgin ofis, servis araçları, haberlerin iletimi (yol durumları hava müzik vb.), araç kazaları kılavuzu için yerel Ad Hoc ağlar.
Ev ve iş Ağları	Ev/iş kablosuz ağ (WLAN), kişisel ağlar (personal area network PAN) paylaşımlı beyaz tahta uygulamaları, fuarlar vb.
Eğitim Uygulamaları	Sanal sınıf ve konferans sınıflarının oluşturulması ve Ad Hoc iletişimin konferans toplantı veya ders boyunca sürdürülmesi
Eğlence	Robot evcil hayvanlar, dışarıdan internet erişimi vb.
Konuma Duyarlı Servisler	Servis takibi, otomatik arama yönlendirme bulunulan yere yönelik işlerin iletimi. Bilgi servisleri (yere özel reklam servisleri, turizm kılavuzu vb.).

*Başarım parametreleri:* MANET'lerin kendine özgü özellikleri başarım kriterlerine de yansımıştır. MANET protokollerin başarımlarının belirlenmesinde kullanılan parametreler Şekil 2.3'de özetlenmekte ve bu parametreler aşağıda tanımlanmaktadır [36].

İç çıkarma yeteneği (throughput): İletişim ağlarında bant genişliğinin veri transferi için kullanılan parçasıdır. Ek yük (paket başlıkları, kontrol paketleri, güvenlik vb.) için kullanım nedeniyle veri iletimi için bant genişliğinin 100% kullanımı mümkün değildir. MANET protokollerinin amacı ek yük için kullanılan bant genişliğini diğer hedeflerden kısıtlamaya gitmeden mümkün olduğunca küçük tutmaktır.

Servis kalitesi (QoS): Düşük gecikme yüksek paket teslim oranı ve garanti edilmiş bant genişliği QoS'in tanımlanmış bazı ölçüm parametreleridir.



Şekil 2.3. MANET protokol başarımlar parametreleri

*Eşitlik (Fairness):* Çıkış maksimum değeri tek düğümün süresiz kullanımına izin verilerek elde edilir. Bu ağdaki diğer düğümler için haksızlık olur. Eşitlik ağ kaynaklarının eşit dağılımı ile sağlanır (bant genişliği vb.). MANET protokolleri kullanıcılar için kanal erişiminin dinamik durumda eşit bir şekilde kullanılmasından sorumludur.

*Sağlamlık (Robustness):* Kablosuz iletişimde veri veya kontrol paketlerinin kaybolması istisnai bir durum değildir. Bazı MANET protokolleri koordinatör düğümler tarafından merkezi kontrole dayaması o düğümlerde problemlere yol açabilir (bataryalarının bitmesi, vb.). Bu nedenle sağlam MANET protokoller düğümlerin paket kayıpları veya düğüm zayıflıkları olmaksızın kararsız olmadan normal işleyişi için tasarlanmıştır.

*Kararlılık (Stability):* MANET protokolleri dinamik sistemleri kontrol eder ve başarımları dinamik sistemlerde olduğu gibi değişkendir. Gerçekte pek çok protokol (IEEE 802.11, ALOHA vb.) eğer kanal erişim talebi belirli bir eşik değerinden büyük ise kararsızdır. Kararlı (stable) MANET protokolleri, kararsızlıktan kaçınmalıdır.

*Enerji tüketimi:* Sınırlı enerjinin gereksiz tüketilmesinden kaçınmak için enerjinin verimli kullanımı çok önemlidir. Ağın verimliliğini etkilemeyecek şekilde uyku zamanı boyunca MANET protokollerinde alıcı veya verici çalıştırılmaz.

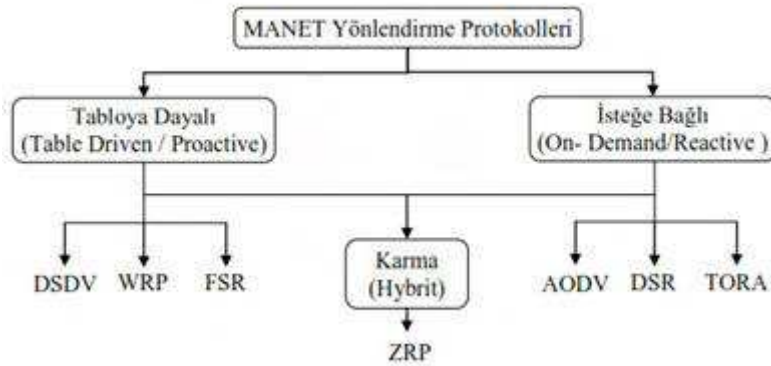
*MANET yönlendirme protokolleri:* İletişim protokolü düğümler arası bilgi alış verişi için iyi tanımlanmış yapılar ve önceden belirlemiş kuralları veya eğilimleri ile etkin ve verimli iletişim sağlar. Yönlendirme protokolleri sözdizimsel (paket tipleri, formatları, vb.) ve anlamsal (bozuk paketler, vb.) bileşenlere sahiptir [36]. Ad Hoc ağlarda yönlendirme protokolünün başlıca amacı düğümler arasında doğru ve verimli yolun kurulması ve mesajların zamanında yerine ulaştırılmasıdır [37].

MANET'lerde kaynak ve hedef genelde doğrudan iletişim halinde değildir. Mesajlar ara düğümler yardımıyla iletilirler. Gerçekte çok atlamalı iletim MANET'lerin en önemli avantajıdır. Bu şekilde çok atlamalı olarak dolaylı iletişim yönlendirme olarak adlandırılır ve kaynak ile hedef arasındaki yolun belirlenmesi ve yönetiminden ağ katmanı sorumludur. Ağ katmanı uçtan uca (çok atlamalı) veri iletişimini sağlamak için, tek adımlı veri iletişimi kullanan MAC katmanından faydalanır [36].

MANET'lerde kaynakların sınırlılığı verimli ve güvenilir yönlendirme stratejilerinin tasarlanmasında büyük bir problem oluşturmaktadır. Zeki yönlendirme stratejileri ağ durumundaki değişikliklere adapte olurken (ağ büyüklüğü, trafik yoğunluğu, vb.) aynı zamanda sınırlı kaynakları verimli kullanılmalıdır. Buna paralel olarak farklı kullanıcı ve uygulama tipleri için farklı QoS seviyelerini desteklemelidir. Kablosuz ağlara ilginin artmasından önce kablolu ağlarda iki temel algoritma kullanılmaktadır [38]: Geleneksel yönlendirme protokolleri bağlantı durumu (link-state) veya uzaklık vektörü (distance vector) algoritmalarına dayanır. Ağdaki her bir düğüm için en uygun rotayı ve ağdaki topoloji değişikliklerini tüm ağ boyunca yayılan mesajlarla periyodik olarak güncelleyerek elde eder. Bu tür protokoller Ad Hoc ağlar için uygun değildir. Rotanın her bir düğüm için bulunması ve yönetimi hem masraflı (adım fazlalığı) hem de çoğunlukla gereksizdir. Bunun dışında Ad Hoc ağlarda sık değişen topolojiler nedeniyle düzenli güncelleme yeterli olmaz, çok fazla ulaştırılamayan paket ve kötü iletişime yol açar [38]. Bu problemlerin üstesinden gelmek için

MANET çalışma gurubu 'Internet Engineering Task Force (IETF)' içinde Ad Hoc ağlarda IP tabanlı yönlendirme çerçevelerini geliştirmek için çalışmaktadır. Günümüzde gezgin Ad Hoc kablosuz ağlar için pek çok yönlendirme protokolü uzaklık vektörü (distance vector) ve bağlantı durum (link state) yönlendirme algoritmalarından geliştirilerek önerilmiştir [40] [38].

MANET'lerde kullanılan birçok yönlendirme protokolü vardır. Aşağıda bu protokollerden çok kullanılanları ve bu protokollerin sınıflandırılması görülmektedir.



Şekil 2.4. MANET Protokollerinin Sınıflandırılması

- a. Varış Sıralı Uzaklık Vektörü Protokolü (Destination Sequence Distance Vector DSDV)
- b. Telsiz Yönlendirme Protokolü (Wireless Routing Protocol - WRP)
- c. Balıkgözü Durum Yönlendirme Protokolü (Fisheye State Routing - FSR)
- d. Bölge Yönlendirme Protokolü (Zone Routing Protocol - ZRP)
- e. Ad Hoc İsteğe Bağlı Uzaklık Vektörü Yönlendirme Protokolü (Ad hoc Ondemand Distance Vector Routing - AODV)
- f. Değişken Kaynak Yönlendirme Protokolü (Dynamic Source Routing - DSR)
- g. Geçici Sıralı Yol Atama Protokolü (Temporally Ordered Routing Algorithm TORA)

Bu protokoller genel olarak tıkanıklık problemi üzerine çözüm oluşturmaya yöneliktir. Fakat bu çalışmalarda ad-hoc ağlarda düğümlerin hareketli ve enerjilerinin sınırlı olması göz önüne alınmamıştır. Zeki bir yönlendirme protokolü

mesajı hedefe hızlı ve eksiksiz göndermenin yanında limitli kaynaklarını da etkili kullanır [39].

### 2.3.2.2. AD HOC isteğe bağlı uzaklık vektörü yönlendirme protokolü (AODV)

AODV (Ad Hoc On–Demand Distance Vector Routing) yönlendirme protokolü C. Perkins (Nokia Araştırma Merkezi), E. Belding-Royer (Kaliforniya Üniversitesi, Santa Barbara) ve C. S. Das (Cincinnati Üniversitesi) tarafından geliştirildi [65]. AODV yönlendirme algoritması dinamik, kendi kendine başlayan (self starting), çok atlamalı gezgin düğümler arası Ad Hoc ağların yönetimi için kullanılmaktadır. AODV mobil düğümlerin yeni hedefler için hızlı yol kurulmasını sağlar ve hedef düğümle rotanın yönetimi için aktif bir iletişim altyapısına sahip olmak zorunda değildir. AODV zamanla ağ topolojisindeki oluşan değişikliklere ve bağlantı kopmalarına düğümlerin cevap vermesine imkân sağlar. AODV kısır döngü (loop – free) ve Ad Hoc ağ topolojisinde değişiklik olduğu zaman oluşabilecek Bellmand Ford sonsuza sayma (counting to infinity) problemlerinin üstesinden gelebilir.

AODV'nin tasarlanma sebepleri:

- a. AODV yönlendirme protokolü küçük veya büyük ölçekli gezgin Ad Hoc ağlar için tasarlanmıştır.
- b. AODV veri trafiğindeki düşük orta ve yüksek hareketliliği desteklemektedir.
- c. AODV düğümlerin birbirine güvendiği ağlarda kullanmak için tasarlanmıştır.
- d. AODV ölçeklenebilirlik ve başarımla kontrol trafiğinin azaltılması ve veri trafiğindeki paketlerin fazlalıkların elimine edilmesi için tasarlanmıştır.

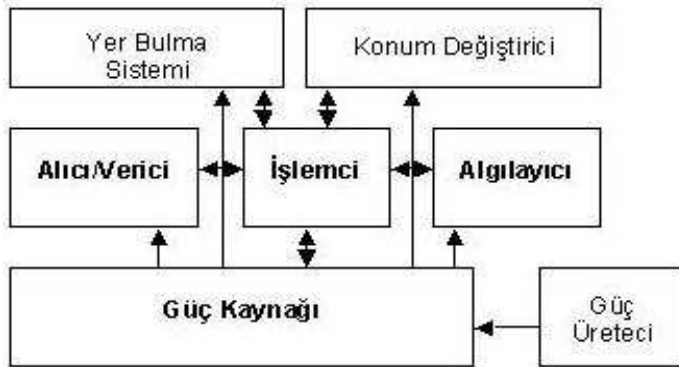
AODV'nin ayırt edici özelliklerinden biri her bir yol için hedef sıra numarası kullanmasıdır. Hedef sıra numarası hedef tarafından isteği gönderen düğüm için üretilir. Hedef sıra numarasının kullanılması ile sonsuz döngü engellenmiş olur. Bir düğüm istekte bulunacağı zaman elinde bulunan en büyük hedef sıra numarasını kullanır [42][45].

### 2.3.3. Kablosuz algılayıcı ağlar ve yönlendirme

#### 2.3.3.1. Kablosuz algılayıcılar

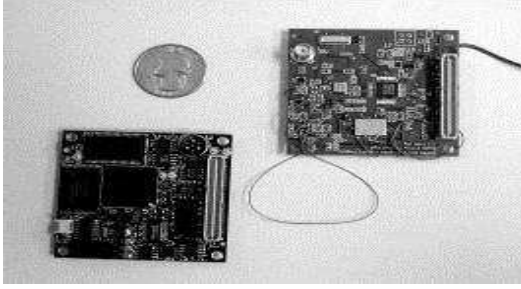
Günümüze kadar farklı tiplerde ve büyüklüklerdeki algılayıcılar, tetikleyici rolüyle elektronik sistemlerin bir parçası olarak kullanılmaktaydı. Mikro elektro-mekanik sistem (MEMS) ve telsiz iletişimi alanlarındaki teknolojik gelişmeler sonucu algılayıcılar için farklı uygulama alanları doğdu; algılayıcı ağlar. Algılayıcı ağlar değişik ortam ve sistemlerde yaygın olarak kullanılmaya başlandı.

Algılayıcı ağlarda görev yapan bir algılayıcının; algılayıcı, işlemci, alıcı/verici ve güç birimleri olmak üzere dört ana elemanı vardır. Bunlara ilave olarak kullanım amacına göre bir algılayıcı, yer bulma sistemi, güç üretim birimi, konum değiştirici bulundurulabilir [82].



Şekil 2.5. Algılayıcı mimarisi

Ana birimler başta olmak üzere tüm bu birimler bir kibrit kutusu büyüklüğünden, bozuk para boyutlarına düşürülmüş olup, bilgi sistemlerin boyutları da donanım teknolojisindeki ilerlemelere paralel olarak daha da küçülmüştür.



Şekil 2.6. Algılayıcı görünümü

### 2.3.3.2. Kablosuz algılayıcı ağlar

Kablosuz algılayıcı ağlara klasik bir ağ protokolü uygulanmamaktadır. Ölçeklenebilirlik, uyum yeteneği, beka, batarya ömrü gibi etkenler KAA' ları diğer ağ türlerinden farklı kılmaktadır. Bu nedenlerden dolayı yapılmış olan ağ protokol yapılarının hiçbiri kablosuz algılayıcı ağlara uymamakta ve bu alan için KAA' a özgü gerekli kriterleri dikkate alan yeni ağ protokolleri geliştirilmiştir.

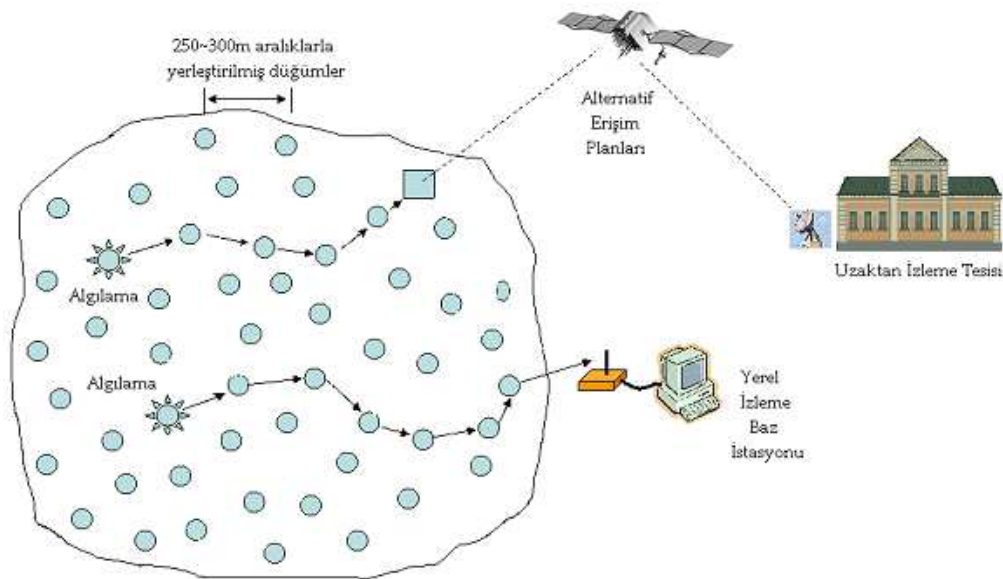


Şekil 2.7. Kablosuz algılayıcı ağ protokol yapısı [81]

Kablosuz algılayıcı ağlar temel işlevleri algılama, veri işleme ve haberleşme özelliğine sahip algılayıcı düğümlerden oluşur. Bilindiği gibi algılayıcı düğümler, herhangi bir kablo olmaksızın, izleyecekleri ortama rastgele saçılmış halde bulunurlar. Şekil 2.5' de bir kablosuz algılayıcı ağ mimarisini karakterize etmektedir. İzlemenin yapıldığı ortamda toplanan veri genelde 3 seviyede işlenir[83].

1. İzlenilecek ortamdaki olaylar, algılayıcı düğümler tarafından algılanır. Her bir algılayıcı düğüm elde ettiği veriyi ayrı ayrı işlemektedir.
2. İkinci seviye de her düğüm algılayıp, işledikleri veriyi komşularına yollamaktadır.
3. Algılayıcı ağ haberleşmesinde ki en üst katman, işlenmiş verinin baz (base) olarak adlandırılan merkeze yollanmasıdır.

Baza gönderilen veri eğer başka kıstaslar eşliğinde tekrar analiz edilecekse ya da başka amaçlar için kullanılacaksa bu işlemlerin yapılacağı sistemlere ya da merkezlere iletimi sağlar.



Şekil 2.8. Kablosuz algılayıcı ağ topolojisi

## 2.4. Yönlendirme Protokolleri

Kablosuz algılayıcı düğümler belli bir kapsama alanı ile sınırlıdır. Bir düğüm sadece kapsama alanındaki komşuları ile iletişim kurabilmektedir. Bu yüzden ağ içinde iletimin sağlanması için yönlendirmeye ihtiyaç vardır.

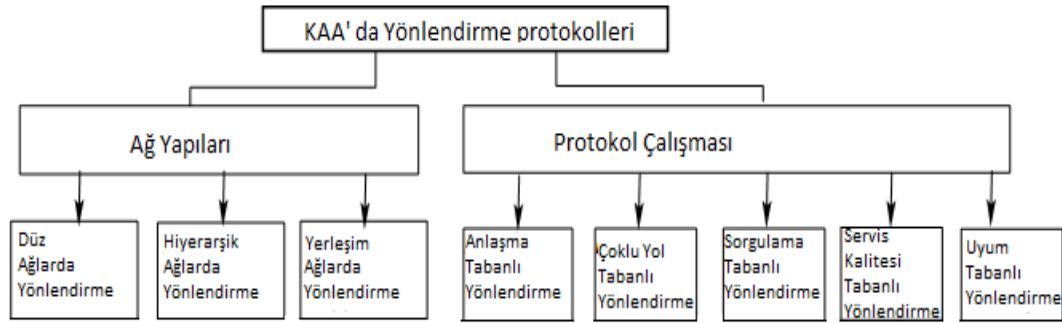


Kablosuz algılayıcı ağlarda normal şartlarda klasik ağların aksine her hangi bir iletişim söz konusu değildir. Düğümler kendi aralarında haberleşmezler. Algılayıcı düğümlerin esas görevi almış oldukları verileri belirlenen baz düğümüne ulaştırmaktır. Bu yüzden algılayıcı düğümlerdeki yönlendirme biçimi doğrultulmuş N' den 1' e yönlendirme olarak adlandırılmaktadır. Burada N adet algılayıcı düğümden 1 tane baz düğümüne yönlendirme yapıldığını ifade etmektedir. Bu farklı haberleşme biçimi günümüzün klasik yönlendirme protokollerini bu ağlara uygulanmasını zorlaştırmaktadır. Klasik ağ protokolleri herkesin birbiriyle haberleştiği varsayılarak inşa edilmiştir [84]. Bu ise literatürde bu alanda yapılmış olan birçok çalışmanın KAA yapılarına uyarlanamamasına neden olmakta ve KAA yapılarına özgü kriterleri dikkate alan ağ protokollerinin geliştirilmesini zorunlu kılmaktadır.

Bir algılayıcı elemandan merkeze (baz istasyonuna) bilginin transfer edilmesinde kullanılan en temel teknik “akış (flooding)” olarak isimlendirilmektedir. Bu teknikte, bilgi merkez nokta dâhil olmak üzere bütün algılayıcı noktalara yayınlanmaktadır. Bütün ağa yayınlama, enerji ve bant genişliği gibi sistem kaynaklarından önemli ölçüde harcama yapmaktadır. Bu harcamayı bir miktar olsun azaltmak için “dedikodu” isminde olasılık tabanlı “akış” metodu önerilmiştir [86]. Heinzelman ve arkadaşları SPIN [85] ailesi protokollerini önermişlerdir. SPIN bütün algılayıcı noktaları potansiyel baz istasyonu gibi görerek verileri yayınlamaktadır. SPIN işlevi veri teslimatı hakkında (verinin istenen yere hatasız bir şekilde ulaştığı konusunda) bir güvence sağlamamaktadır. Bu yüzden çok yönlü yönlendirme protokolleri bu noktada bize avantaj sağlamaktadır. Baz istasyonunun veri iletiminde çok sayıda yolun kullanılması KAA' da güvenilirliği artırmaktadır. “Yönlendirilmiş Yayılma” çok yönlü yönlendirmeye aday bir metottur [87]. Algılayıcı elemanlara farklı roller tahsis ederek ağ ömrünü artırmak için LEACH protokolü önerilmiştir [88]. Bu protokol üzerinde de bazı yetersizlikler PEGASIS gibi önerilen diğer algoritmalarla giderilmeye çalışılmıştır [89].

Literatürdeki protokol çalışmaları günümüze kadar devam etmiştir. Bu sebeple ortaya bu alanda birçok çalışma çıkmıştır. Genel olarak ağ yapılarına göre protokoller Düz Tabanlı yönlendirme, Hiyerarşik Tabanlı yönlendirme ve Yerel

Tabanlı yönlendirme olmak üzere üç sınıfa ayrılmıştır. Düz Tabanlı yönlendirme, tüm düğümlerin eşit rol ve fonksiyonlara sahip olduğu yönlendirme protokol sınıfıdır. Hiyerarşik Tabanlı yönlendirme, düğümlerin farklı roller üstlendiği yönlendirme protokol sınıfıdır. Yerleşim Tabanlı yönlendirme, veri akışının düğümlerin pozisyonlarına göre belirlendiği yönlendirme protokol sınıfıdır. Protokol çalışmasına göre yönlendirme protokolleri beş guruba ayrılır [82].



Şekil 2.9. Yönlendirme protokol sınıfları

## **BÖLÜM 3. OĞUL ZEKÂSI**

### **3.1. Giriş**

Oğul zekâsı (swarm intelligence) grup halinde yaşayan böceklerin sosyal davranışlarından esinlenen algoritmaların yeni sınıfını oluşturur. Zeki ve ölçeklenebilir sistemlerin tasarlanmasında yeni örnekler / yaklaşımlar, grup halinde yaşayan biyolojik canlıların doğasındaki tasarım prensiplerinin anlaşılması ve genişletilmesiyle meydana getirilebilir. Oğul zekâsı, bireysel olarak zeki olmamasına rağmen kolektif olarak zeki davranış gösteren ve sınırlı bireysel yeteneklere sahip varlıkların bir özelliğidir [25].

### **3.2. Oğul Zekâsı Tabanlı Yönlendirme Algoritmaları**

İletişim ağlarının yönetimi, artan ağ boyutu, hızla değişen topoloji, karmaşıklık, çeşitlilik, vb. nedenlerden dolayı tasarımı ve modellenmesi zor bir konudur. Oğul zekâsı tabanlı yeni bir algoritma sınıfı, ağların çeşitli problemlerine çözüm getirebilmektedir. Bu algoritmalar aynı anda birbirleriyle etkileşim yapan birçok görevlinin / varlığın kolektif uyumuna dayanır. Bu kısımda bu algoritmaların ilk örneklerinden bahsedilecektir.

Doğada biyolojik grup halinde yaşayan canlılar tarafından meydana getirilen oğul zekâsı, iletişim ağları gibi birçok mühendislik sistemlerinde istenen sayısız özellikler barındırır. Oğul zekâsı çözümleri dağıtık sistemlere ve ağ problemlerine uygulandıkları zaman bir takım üstünlükler sunarlar. Bu üstünlükler;

- a. *Ölçeklenebilirlik:* Birbirinden bağımsız varlıklar, çoğalma ve göç yoluyla sistemin boyutuna uyarlanabilen tam olarak merkezi olmayan bir çözümü

ortaya koydukları için merkezi uygulamalara göre herhangi bir ölçeklenebilirlik problemine maruz kalmamaktadır.

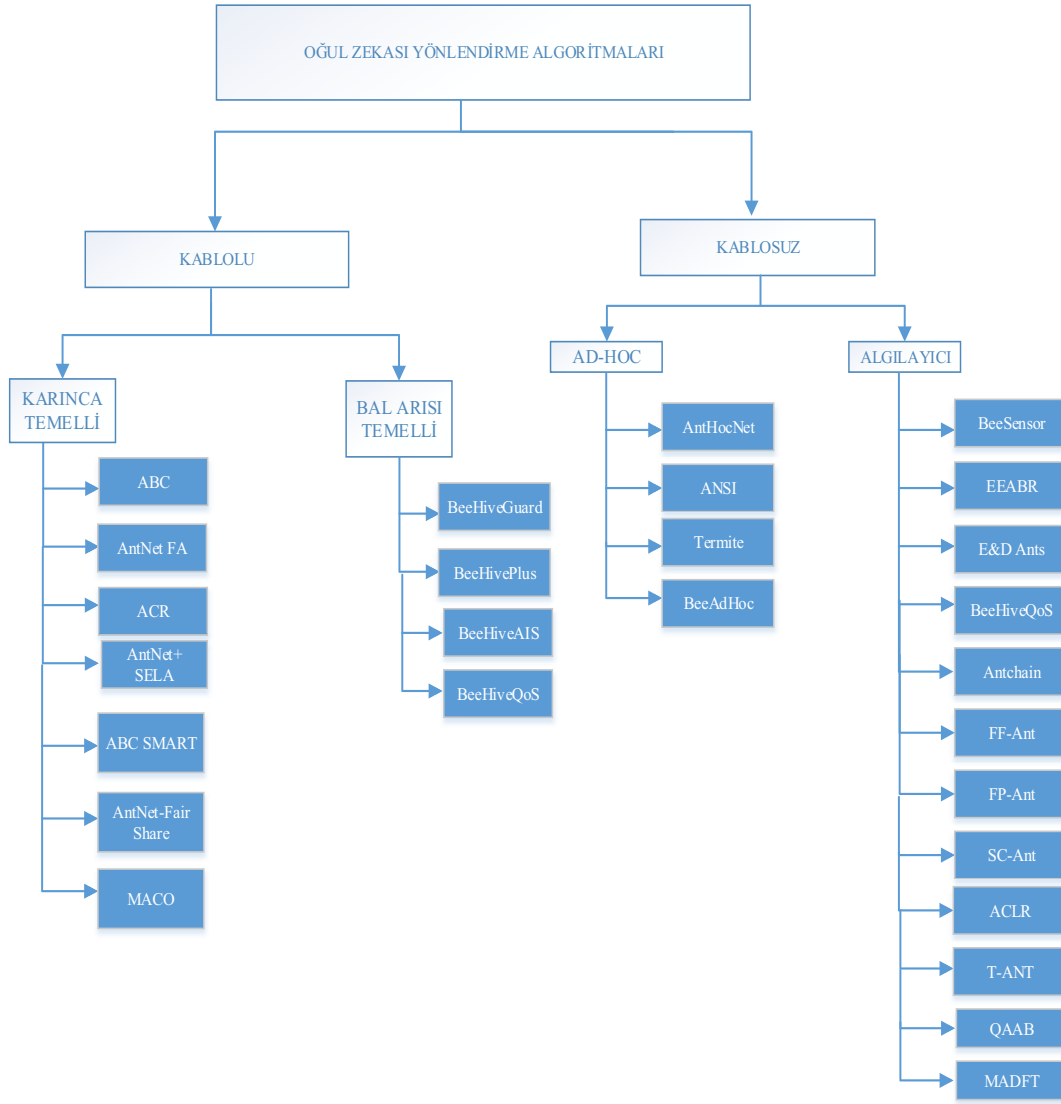
- b. *Hata Toleransı*: Sistemi oluşturan bireyler / varlıklar bağımsız olarak hareket ettiklerinden dolayı (diğer varlıklara bağlı olmadan çalışabildikleri için), sistem sağlam ve hatalara karşı toleranslıdır. Merkezi yaklaşımlarda merkezi birim arıza yaptığında bütün sistem çökerken, bir grup varlığın ortadan kalkması / ölmesi sistemin tamamen çökmesine neden olmamakta, sadece sistemin performansında bir miktar düşüşe neden olmaktadır.
- c. *Uyarlanabilirlik*: Sistemi oluşturan varlıkların yaşam döngüsü (doğum, ölüm, göç, vb.) ve yetenekleri, değişen sistem şartlarına uyarlanabilen bir sistem meydana getirir.
- d. *Hız*: Sistemdeki değişikliklere yerel etkileşimler yoluyla hızlı cevap verilir.
- e. *Modülerlik*: Bireysel ve sadece kendinden sorumlu varlıklara dayalı problem çözüm yöntemi, yüksek seviyeli, modüler ve açık yapıli sistemlerin ortaya çıkmasına neden olur ve böylece sürekliliği ve güncelliği artırır.
- f. *Otonomi*: Bu sistemlerde yönetim son derece dağıtık ve dinamik olduğu için herhangi bir yönetici birim gerekli değildir.
- g. *Paralellik*: Varlıkların işlemleri ve etkileşimleri doğal olarak paraleldir.
- h. Oğul zekâsı, bu nedenlerden dolayı özellikle geniş ve yüksek derecede dinamik sistemler için oldukça uygundur.

İletişim ağlarında kontrol için kullanılabilen gezgin yazılım görevlileri (mobile software agents), ilk kez 1994 yılında Appleby ve Steward tarafından telefon ağları için yapılmış ve gerçek uygulamayla ilgili olarak açık ancak belirsiz duran problemleri ortaya çıkaran bir makale halinde yayınlanmıştır [7]. Daha sonra, 1996 yılında Schoonderwoerd, basit görevlilerin ağdaki düğümlerin yönlendirme tablolarını güncellediği Appleby ve Steward'ın çalışmasının ilginç bir sürümünü sunmuştur [4]. 1997 yılına gelindiğinde, karıncaların optimizasyon sistemleri üzerinde araştırmalarda bulunan Di Caro ve Dorigo, bu alanda en çok ilgi gören çalışmaları olan 'AntNet' sistemini geliştirmişlerdir [13]. *AntNet* adaptif görevli tabanlı bir algoritmadır ve ağ üzerinde keşfedilen yollar üzerinde ileri ve geri hareket edebilen karınca türü görevlilerin etkileşimlerine dayanır. Aynı yıl, Bonabeau, karınca tabanlı görevli sistemini biraz daha geliştirerek 'akıllı' yönlendirme

algoritması geliştirdi [12]. 1998 yılında, Heusse et al. dinamik programlamaya dayalı bir başka ilginç yönlendirme tekniğini sunmuştur [6]. Yine aynı yıl, White et al. tarafından geliştirilen algoritma karınca tabanlı yönlendirmenin ilginç örneklerinden biridir [26]. Daha yakına gelindikçe, Lipperts ve Kreller, yük dengeleme problemine farklı bir gezgin görevli yaklaşımı sundular [9]. Roth ve Wicker tarafından sunulan Termit algoritması [27], Kassabalidis tarafından sunulan Adaptif-SDR [28] biraz daha gelişmiş özellikler taşıyan oğul zekâsı algoritmalarıdır.

### **3.3. Oğul Zekâsı Tabanlı Yönlendirme Protokolleri**

Oğul zekâsı tabanlı yönlendirme algoritmaları karınca kolonisi tabanlı, bal arıları tabanlı olmak üzere iki farklı sınıfa ayrılır. Bu çalışmada Şekil 3.1’de görüldüğü gibi oğul zekâsı tabanlı algoritmaları kablolu ve kablosuz olarak sınıflandırıp incelenmiştir.



Şekil 3.1. Oğul zekâ yönlendirme algoritmaları

### 3.3.1. Kablolu ağ yönlendirme protokolleri

#### 3.3.1.1. Karınca kolonisi tabanlı yönlendirme algoritmaları

*AntNet*: AntNet'in yazarları algoritmalarını çok sayıda simülasyon deneyi temelli özel bir ağ simülatöründe değerlendirmesini yapmışlardır. Algoritma farklı coğrafi ve nesil özellikleri ile UDP trafiği örnek alınarak az sayıdaki düğümlerle 150 düğüm arasında değişen farklı topoloji temelli çeşitli senaryolarla test edilmiştir.

Paket Teslim Oranı, Yüzdeler Paket Gecikmesi ve Yönlendirme Şişmesi performans metrikleri olarak seçilmiştir. Yapılan deneylerin sonuçları gösteriyor ki AntNet bilinen yönlendirme algoritmalarına göre(Q-Routing, PQ Routing, SPF, Dynamic

Bellman-Ford ve OSPF) paket teslim oranında ve gecikme açısından daha iyi sonuçlar elde etmiştir.

Performanstaki artış yönlendirme şişmesinin artmamasının başarılmasıyla gerçekleşmiştir.

*AntNet FA*: AntNet-FA [24, 32] (AntNet-CO olarak bilinir) daha önemsiz görünür fakat AntNet algoritmasına göre daha etkin bir gelişimi vardır. Öncü karıncalar yüksek öncelikli sıraların oluşturulmasını sağlarlar. Bu yolla öncü karıncalar hedefi daha hızlı bulurlar ve yolculuk zamanı taşımalarına ihtiyaçları yoktur. Geri dönüş yolunda ki karıncalar adım adım yolculuk zamanını hesaplamaktadırlar. Ayrıca AntNet-FA ağ boyutunun daha genişlediği ortamlarda AntNet algoritmasından daha iyi sonuçlar elde etmiştir.

*ABC*: Karıncalar bireysel davranış gösteren çok sade davranışlara ve kısıtlı hafızaya sahip böceklerdir. Ancak kolektif bir şekilde çalışarak karmaşık görevleri güvenli ve tutarlı bir şekilde başarıyla yerine getirirler [46].

Karıncaların ortak davranışlarından bazıları şunlardır:

- a. 1 °C civarında yuva sıcaklığını ayarlamak;
- b. Köprüler oluşturmak;
- c. Belirlenmiş alanlara yiyecek için yönelmek;
- d. Yuvaları korumak ve yuva inşa etmek;
- e. Büyük öğeleri işbirliği ile taşımak;
- f. Koloni göçü;
- g. Yumurta ve yavru bakımı;
- h. Yuva ile besin kaynağı arasında en kısa yolu bulma
- i. Tercihen en iyi yiyecek kaynaklarını kullanmak.

Bu davranışlar bireysel karınca grupları ile çevre arasındaki etkileşimini ortaya çıkarır.

Bu algoritmada karıncalar geçtikleri yerlere ait yol ve yiyecek ile ilgili bilgileri (pheromone) bırakarak arkadan gelen karıncaya yiyecek alanları ve yiyecek ile ilgili bilgileri bırakmış olur. Böylece ağdaki düğümlerin yönlendirme tabloları güncellenmiş olur [46].

Schoonderwoerd et al. (1996) [47, 48] ilk kez Karınca Kolonisi Optimizasyon fikrini ağlarda yönlendirme ve yük dengeleme problemlerinde kullanan kişidir. Açıkçası gönderici ve alıcının arasındaki telefon ağını bir sanal devreyi rezerv ederek kurmayı düşünmüştür. Onların ağ modelinde her bir düğüm çaprazlama anahtarı ve yalnızca sınırlı sayıda eş zamanlı aramalar yapabiliyordu. Bağlantı linkleri sonsuz kapasiteli tam çift yönlü kanallar olarak görünmekteydi. Bu nedenle ağın dar boğazı düğümlerin kapasiteleriydi. Bunun anlamı uçtan uca yoldaki sıkışıklık durumu düğümde ne kadar boş bağlantı kapasitesi varsa ona bağlıdır. Önerilen ABC(Karınca Temelli Kontrol) yönlendirme algoritmasında aramalara yük dağılımı uygulayarak farklı yönlendiricilere dağıtıp sıkışıklıktan dolayı yönlendirilemeyen aramaların sayısını azaltmak amaçlanmıştır.

ABC algoritması İngiliz Telekom telefon ağının gerçek omurga topolojisi ve farklı arama şablonlarının düşünülerek oluşturulan simülasyonda performans testi yapılmıştır. Ortaya çıkan sonuçların gösterdiğine göre ABC Appleby ve Steward tarafından BT için geliştirilen ajan tabanlı algoritmaya [49] göre daha üstündür ve trafikteki değişikliklere daha iyi tepki göstermektedir.

*Adaptive-SDR*: Bu algoritma üç parçaya ayrılır.

Bunlar;

- a. Koloni içerisindeki düğümlerin toplanılması
- b. Özel gezgin görevlileri (karınca) kullanarak ağ yönlendirmelerinin bulunması
- c. Karıncaların bulmuş olduğu yönlendirme tabloları kullanılarak trafiğin başlatılması

Birinci aşama sıklıkla yerine getirilmez. Sadece algoritmanın başında ve topolojide herhangi bir değişiklik meydana geldiğinde meydana gelir. İkinci ve üçüncü aşama ise düzenli ağ işlemlerinin bir parçası olarak sürekli gerçekleştirirler.



ABC ve AntNet'te ölçeklenebilirlik problemi mevcuttur. Bu problem eğer bütün düğümlerden diğer düğümlere karıncalar gönderilecek olursa ağda aşırı bir karınca yoğunluğu olacağından bu ağı aşırı meşgul eder buna ilave olarak zaman aşımından dolayı karıncaların kaybolması, gelecek olan bilginin zaman aşımına uğraması problemini meydana getirir. Bu problemin çözümü için bir fikir şudur; ağı eşit düğüm sayılarına sahip kolonilere bölmek. Böylece ağdaki karınca sayısı azaltılmış olur.

Ağ kolonileri oluşturulduktan sonra iki tür karınca oluşturulur; bunlardan birincisi bulunduğu kolonilerin yönlendirme tablolarını oluşturur, ikincisi ise içerisinde bulunduğu bölgenin yönlendirme tablolarını günceller.

Bir düğümden diğer düğüme bir paket gönderilecekse şu aşamalar takip edilir;

- a. Kaynaktan paket oluşturulduğunda bu paket hedef düğümü ve koloniye bilmektedir.
- b. Eğer hedef düğüm kaynak düğümlerle aynı kolonide değilse paket koloni yönlendirme tablosunda bulunan yüksek ihtimal değerli bir sonraki adımı (next-hop) kullanır.
- c. Eğer hedef düğümlerle kaynak düğümü aynı kolonide ise paket yerel yönlendirme tablosundaki en yüksek ihtimalli bir sonraki adımı (next-hop) kullanır.

Bu algorithmada; işlenen paket sayısı artmıştır (throughput) ve gecikme (end to end delay) noktalarında AntNet algoritmasıyla karşılaştırıldığında daha iyi sonuçlar vermektedir [50].

Yazarlar Adaptive-SDR ile özelleştirilmiş, standartı olmayan AntNet uygulaması ve OSPF ve RIP ile karşılaştırma yapmışlardır. Simülasyon sonuçlarına göre Adaptive-SDR paket iletim oranı ve ortalama gecikme bakımından en iyi sonuçları vermiştir. Bu deney NS-2 simülöründe 16 ve 48 düğümlü bir ağ topolojisi kullanılarak yapılmıştır [51].

*QColony*: QColony algoritması kısıtlı ağlardaki Servis Kalitesi yönlendirmesi için AntNet algoritmasından uyarlanmış ve genişletilerek tasarlanmıştır. QColony çoğunlukla IntServ Servis Kalitesi modelini adresleme yapar ancak DiffServ ve MLPS gibi diğer modellerde yapısını uygun hale getirilerek kullanılabilir. QColony kullanıcının akışında talep ettiği farklı Servis Kalitesi aralıklarının olduğu durumlarda bitişik küme aralıklarında ki ağ kaynaklarını (bant genişliği) sınıflandırır. Her düğümün öğrenmesi ve doğru yolu kullanması her aralığın feromon değişkenlerinin benzersiz bir vektörle ilişkilendirmesi yoluyla gerçekleştirilir. Uygulamada bu vektör genelde servis kalitesi trafiğinin farklı olmadığı özel durumlarda görülen Servis Kalitesi en iyi performans trafik durumlarıyla başa çıkmak için AntNet benzeri algoritmaların kullandığı feromon tablosuna karşılık gelmektedir. Bu nedenle QColony Multi Swarm gibi çoklu feromon tablosu tutmaktadır.

Yazarlar tarafından özel bir simülatörde QColony'nin Ajan Tabanlı Yönlendirme Sistemine ve QoS alanında referans algoritma olan QOSPF'ye göre performansını bir çok simülasyon deneyi yaparak test etmişlerdir [74]. Küçük ağ yapılarında ve düşük ağ trafiği yükü altında dört algoritmanın performansı karşılaştırılabilir ancak QColony performansı büyük ağlar ve ağır trafik yükleri altında önemli ölçüde daha iyidir.

### 3.3.1.2. Arı koloni tabanlı yönlendirme algoritmaları

*BeeHive algoritması*: BeeHive Algoritması [78, 75, 76, 77] meta yönlendirme çerçevesi tabanlıdır bu yönüyle ACO yönlendirme algoritmasına benzerdir: yeni rotalar keşfetmek için yollar sürekli denenir, ağ koşullarının değişmesine uyum sağlar ve kaynak kullanımı ve ağ performansını optimize etmek için veri birçok yoldan dağıtılır. Bunlar arıların yiyecek arama davranış stratejileri ile elde edilir. BeeHive iki tip ajan etrafında kurulmuştur, bunlar düğümde proaktif olarak oluşturulan ve yiyecek ararlarken bulduklarında dans eden kısa mesafe ve uzun mesafe arı ajanlarıdır. Ağı keşfederken ve düğüm yönlendirme tablosunu daha iyi yollara geçiş yaparak değiştiren her iki tür ajanlar aynı sorumluluğu üstlenirler. Buna rağmen kısa mesafeli arı ajanları sınırlandırılmış atlama sayısı kadar hareket

edebilirler. Diğer taraftan ise uzun mesafe arıları bütün ağın yönlendirme bilgisini toplar ve yayar. Bu iki seviyeli ajan modelinde amaçlanan işlem ve bant genişliği aşımalarının en aza indirmektir.

BeeHive farklı arama aralıklarındaki farklı iki tip ajanların kullanımıyla hiyerarşik bir ağ organizasyonunu benimser. Ağ yiyecek arama bölgelerinde ve alanlarında alt bölümlere ayrılmıştır. Yiyecek arama bölgesini kısa mesafe arı ajanlarının ulaşabileceği düğümler kümesi olarak tanımlayabiliriz. Aynı düğüm birden çok yiyecek arama bölgesi içerisinde olabilir.

BeeHive operasyonel senaryoları büyük bir set üzerinde genel oğul zekâsı tabanlı yönlendirme algoritmaları sağlam bir değerlendirme sağlamak için tasarlanmış bir test çerçevesinde değerlendirilmiştir [78, 79].

Yazarlar bu çerçeve yardımıyla, yönlendirme algoritmalarında bazı önceden bilinmeyen davranışı keşfetmenin mümkün olduğunu göstermiştir.

Çerçeve yardımcı bir dizi parametre kabul ederek yönlendirme protokollerinin performans ve maliyet avantajlarına değerli bir bakış sunmaktadır.

Yazarlar BeeHive, AntNet, AntNet-FA, DGA [80] ve OSPF algoritmalarını karşılaştırmışlardır. Alınan simülasyon sonuçları göstermiştir ki BeeHive en az AntNet kadar performanslı dağıtımı başarmıştır ve ağır ağ trafik yükünde açıkça OSPF ve DGA'dan daha iyi performans göstermiş düşük yüklerde ise OSPF ile aynı performansı sergilemiştir.

BeeHive algoritmasının bir diğer olumlu yanı olarak rakiplerinden daha küçük yönlendirme tabloları ve daha az işlem kaynakları gerektirir olmasıdır.

### 3.3.2. Kablosuz mobil Ad Hoc ağ algoritmaları

#### 3.3.2.1. Karınca kolonisi tabanlı yönlendirme algoritmaları

*AntHocNet*: AntHocNet ACO algoritmasının yol bulma davranışını örneklemesinden oluşturulmuştur. Feromon tablolarını öğrenmek için Bellman Ford algoritmasındaki benzer önyükleme mekanizması kullanılır. Bu tasarım nispeten düşük bir yönlendirme yükü meydana getirerek üstün performans ile sonuçlanır. AntHocNet algıda hassas hibrid algoritmadır. Bir düğüm yol bilgisi olmadığına ve hedefle iletişime geçmesi gerektiğinde hedef için yol bilgisi toplar.

Algoritma proaktiftir çünkü iletişim başlar başlamaz ve tüm iletişim süreci boyunca, düğümler proaktif olarak topoloji ve trafik değişimleri ile ilgili yön bilgisini tutar [53,54,55,56,57].

AntHocNet 'in performansı gerçek şartlarda ve açık alanlarda yapılan farklı sayıda MANET[58, 53, 54, 59, 55, 60, 61] senaryolarında mevcut algoritmasına karşı benzetim içinde değerlendirilmiştir. Hareketli düğümler, veri trafiği, değişim oranı, bağlanabilirlik ve ağ büyüklüğü yönünden algoritma değerlendirilmiştir. Algoritma performansı QualNet benzetim ortamı kullanılarak AODV ve OLSR algoritmaları ile karşılaştırılmıştır. Deneysel sonuçlara göre, AntHocNet ölçeklenebilirlik, uyarlanabilirlik, verimlilik ve sağlamlık açısından diğer iki algoritmadan daha iyi performans vermiştir.

*ANSI*: Bu çalışma Shen tarafından temellendirilmiştir [62,63,64]. ANSI bir tepki algoritmasıdır. İleri karıncalar bir bağlantıda arıza olduktan sonra yön tamiri veya yeni bir yol bulmak için üretilir. Bunlar hedefe doğru yönelirler. Hedefe varan ilk karınca geri karıncaya dönüşür ve yolu oluşturur [65,66].

Hello mesajlarının periyodik gönderimi komşu düğüm bilgisini güncellemek için tutulur. Hello bilgi kombinasyonu ve karınca feromon güncellemeleri bir hedefin çoklu yolları ile desteklenir. Tüm feromon girişleri için feromon kayboluşu kullanılmayan ve kötü yolların destekleyen her güncellemeden sonra tetiklenir.

*Termite:* Termit algoritması gerçekte karınca kolonilerine çok benzeyen termit kolonilerinin davranışlarında ilham alır [67,68]. Termit genel ACO' nun feromon tablosu, olasılıksal karar ve feromon buharlaşması gibi genel özelliklerini içinde barındırır. Termitde ileri karıncalar tekyönlü ve rasgele hareket ederler. Geri karıncaların takibine gerek yoktur. Fakat geri karıncalar olasılıksal olarak yönlendirilir. Her veri paketi kaynak düğümüne göre bir yol gösteren feromonların ve feromon değerleri ile temellendirilen olasılıksal kararlara göre hedefe giden yolu takip eder. Üssel feromon buharlaşması yönlendirme tablosunda kalan eski yolları önlemek için negatif geri besleme vasıtasıyla başlatılır. Termit melez bir algoritmadır. Yollar karınca talepleriyle keşfedilir. Fakat onların kalitesi veri paketlerinden anlaşılır. Algoritma davranış ve özellikler AODV den daha iyi performans ortaya koyduğunu göstermiştir.

### **3.3.2.2. Arı kolonisi tabanlı yönlendirme algoritmaları**

*Kablosuz mobil AdHoc ağlar için BeeAdHoc algoritması:* Wedde, Farooq ve arkadaşları tarafından diğer algoritmalarla Tarafından state-of-the-art performans karşılaştırmalarını sağlamak ve aynı zamanda enerji etkili bir MANET yönlendirme algoritması tanımlamak amacıyla BeeAdHoc tasarlanmıştır [69,70,71,72]. Sistemde farklı ajan tipleri tasarlanması konusunda, bal arılarından ilham alınmıştır. Her düğüm arı ajanlarının hareket ettiği etkileştiği ve yaşadığı kovan olarak düşünülmüştür. BeeAdHoc paketleri hedefe yönlendirmeden arı ajanları için bir tepki stratejisi başlatmak için kullanılan ağ katmanında basit bir algoritmadır.

Arılar, genellikle yiyecek bulmak amacıyla uzak mesafelere gitmek zorunda kalırlar. Yiyecek arama alanlarında besin kaynağı bulan arı kolonisinin diğer üyelerine haber vermek için kovana geri döner ve bir süre sonra diğer arıların etrafında uçmaya başlarlar.

Bal arıları sağırdırlar ve bu nedenle birbirleri ile sesli iletişim kuramazlar. Birbiri ile iletişimlerini değişik şekilleri yerine getirerek kurarlar. Bu şekillere sallanma dansı denir. Bu dansa besin kaynağının kovana uzaklığı, yönü, besinin kalitesi ve miktarı hakkında bilgiler mevcuttur. Suyun kısıtlı olduğu zamanlarda ise bu dans su kaynağının yerini göstermek içinde kullanılır [52].

Beadhoc modeli iki tip arıya sahiptir. Bunlar *kaşif ve işçi arılardan* oluşmaktadır. *Kâşif arıları*, ilk çıkış düğümünden hedef düğümüne kadarki yolları keşfeder; bu işlem tüm komşularına belli bir zaman içinde gitmekle olur. Kâşif arı hedefine ulaştığı zaman hedefine ulaşırken ki takip ettiği yoldan geri döner. Kaynak düğümüne geri geldiğinde ise özel danslar vasıtası ile işçi arıları toplar.

İşçi arıları, bu model de temel çalışan statüsündedir. Taşıma katmanından aldıkları paketi hedefe teslim ederler. İşçi arıları gecikme ve yaşam süresi olmak üzere iki türdür. Gecikme arıları ağdaki gecikme bilgilerini, yaşam süresi arıları da düğüm bataryalarının kapasite bilgilerini ziyaret ettikleri düğümlerden toplarlar. Gecikme arıları minimum gecikme ile paketleri belirtilen yollardan sevk ederken yaşam süresi arıları aynı zamanda paket güzergâhlarını belirleyerek ağın yaşam süresini arttırmaktadır. İşçi arılar PPM (point-to-point mode) ile hatta kalarak hedefe kadar hat ile ilgili türüne göre bilgileri toplarlar.

Hedefe ulaştığı zamanda o hedeften kaynağa kadar ağ trafiğinde kalır. Bu da kontrol paketlerinin genel giderini azaltır ve böylece batarya konusunda tasarruf edilmiş olur. TCP gibi güvenli protokol alınan paketleri tasdik eder.

Onaylama arıları, eğer uygulama güvensiz UDP protokolü kullanıyorsa işçi arıların kaynağa geri dönüşünde kullanılır. UDP protokolünde paketlerin hedefe ulaşıp ulaşmadığı hakkında geri dönüş onaylaması yoktur.

### **3.3.3. Kablosuz algılayıcı ağ yönlendirme protokolleri**

#### **3.3.3.1. Karınca kolonisi tabanlı (ACO) yönlendirme protokolleri**

Karınca kolonisi tabanlı (ACO) yönlendirme algoritmaları karıncaların yiyecek ararken ortaya koyduğu davranışları [27], bir karınca kolonisinin yuva inşası ve yiyecek hedefine ulaşma gibi durumlarda izlediği yolları dikkate alır [28].

*Enerji etkili karınca temelli yönlendirme (EEABR)*: Camilo tarafından 2006 yılında karınca kolonisi tabanlı optimizasyon olarak kablosuz algılayıcı ağlar için

geliştirilmiştir [29]. Bu algoritmada önceki düğüm, sonraki düğüm, karınca kimliği ve zaman aşımı değerini tutan kayıt alanları oluşturulur. İleri yönde hareket eden karınca alındığında, düğüm yönlendirme tablosunda o karıncaya ait bilgilerin olup olmadığına bakar. Eğer yoksa bilgiler tabloya kaydedilir. Zamanlayıcı yeniden başlatılır ve karınca bir sonraki düğüme gönderilir. Eğer bilgiler tabloda varsa karınca paketi düşürülür. Geri yönde hareket eden karınca alındığında, karıncayı hedefine göndermek için yönlendirme tablosunda bir sonraki düğüm araştırılır. Eğer hedefine ulaşamazsa zamanlayıcı yeniden kurulur ve karınca paketinin kayıtları silinir.

Protokolün karşılaştırma deneyleri Temel Karınca Kolonisi Yönlendirme (BABR) [20] ve Geliştirilmiş Karınca Kolonisi Yönlendirmesi (IABR) [20] algoritmaları ile Ns-2 [49] benzetim ortamında gerçekleştirilmiştir[9].

*Algılayıcı-güdümlü ve maliyet-farkındalıklı yönlendirme (SC-ANT):* Bu yaklaşım ileri yönde hareket eden karıncaların ilk gidecekleri en iyi yönü tahmin etmelerini sağlar. Ek olarak olasılık dağılımını güçlendirir [10]. Geliştirilen bu yaklaşımla birlikte FF ve FP olmak üzere iki farklı algoritma daha gerçekleştirilmiştir. SC yaklaşımı enerji tüketimini kriter olarak belirlemiştir.

*Akıcı ileri karınca yönlendirme (FF-ANT):* Bu yaklaşım yol bulma kontrol paketlerinin hedefi bulmak maksadıyla ağda dolaşmalarını ve böylece tüm düğümlere ulaşmalarını sağlar. Hedef bilinmediğinde veya maliyet tahmin edilemediğinde karıncalar tüm alanı dolaşırlar [10]. FF yaklaşımında sistemin bekası dikkate alınır. SC yaklaşımına ek yetenekler getirmiştir.

*Akıcı taşıma karınca yönlendirme (FP-ANT):* Kablosuz algılayıcı ağlardaki tüm düğümlere ulaşmak karmaşık, dinamik ve büyük oranda dağıtık bir yetenek gerektirir. Bu yaklaşım, ileri listelerini taşıyan veri karıncaları ismiyle yeni bir karınca türü ortaya koymuştur. Veri karıncalarının yönlendirme kontrolü FF'deki ileri karıncalara benzer şekilde halledilir [10].

*Karınca kolonisi yer farkındalıklı yönlendirme (ACLR):* Bu yaklaşım Wang tarafından 2008’de geliştirilmiştir [11]. Döngüden kaçınmak için hedef düğüme doğru veri paketlerinin teslimini garanti eden komşular yerine, karınca paketi düğümün komşularının bir altkümesini bir sonraki atlama düğümü olarak seçer. Algoritma karıncaların seçtiği bir sonraki atlama düğümlerinden formül yardımıyla tahminde bulunur. Bir karınca tarafından salgılanacak feromon miktarına karar vermek amacıyla, kalan enerjiye göre bazı yolların feromonlarını ve düğümlerin yerel bilgilerini ortadan kaldıracak bir algoritma kullanır.

Karşılaştırmalar BAR [50], FPAR [50], SCAR [51] ve IAR [20] ile OPNET [52] benzetim ortamında yapılmıştır.

*T-ANT kablosuz algılayıcı ağ protokolü:* Bu yaklaşım Selvakennedy tarafından 2006 yılında geliştirilmiştir [12]. İki metod kullanır: değişim tahmini ve kümeleme metodu. Kümeleme metodu, kümebaşı seçilen karınca yerleştirilir. Düğüm kurulumu boyunca hedefe karınca (kontrol mesajları) gönderir. Karıncalardan elde edilen bilgiler ile komşu tabloları oluşturulur. Karınca gezintileri maksimum adım sayısı (time to live - TTL) ile sınırlandırılmıştır. Küme kurulumu CS zamanlayıcı ile kontrol edilir. Bu zamanlayıcı sonlandığında düğüm bir karıncaya sahip olup olmadığını kontrol eder. Eğer bir karıncaya sahipse kendisinin küme başı olduğunu bir reklam (advertisement – ADV) mesajı ile yayımlar. Veri toplama işleminde bir düğümün katılımına karar vermek amacıyla verisinin verimli olup olmadığına karar verme sürecine değişim tahmini adı verilir.

Karşılaştırmalar TCCA [53] ve m-LEACH [54] ile kendine özel bir benzetici ortamında yapılmıştır.

*Ant-chain kablosuz algılayıcı ağ protokolü:* Ding ve Liu tarafından 2005’te geliştirilmiştir [13]. Enerji tüketimi, veri bütünlüğü ve düğüm ömrü konularına odaklanmıştır. Bu yöntemde karınca kolonisi bir zincir formundadır. Zincir bilgisi algılayıcı düğümler için yönlendirme bilgisi olarak yayımlanır. Üç farklı zincir şeması ile KAA’ların farklı durumlarında veri toplama işlemi gerçekleştirirler. İki yönlü Ant-chain küçük topoloji değişimlerine karşı kendi kendine uyum sağlayabilir. Tek yönlü Ant-chain veri toplama dolaşımını sınırlandırmak için tasarlanmıştır. Sorğu



zincir ilgilenilen algılayıcı düğümlerinden veri toplamak için kullanılır. Zincir tipi ve bilgisi alındıktan sonra düğüm veri toplama işlemi bağımsız olarak çalışır.

Karşılaştırmalar PEGASIS [55] ve LEACH [54] protokolleri ile, deneyler ise Ns-2 benzetim ortamında gerçekleştirilmiştir.

*Kraliçe karınca tabanlı yönlendirme (QAAB):* Sun tarafından 2006 yılında geliştirilmiştir [14]. Coğrafi yönlendirme protokolü olan GAF protokolünü temel alarak İnternet üzerinden düğümlere erişim sağlamayı hedeflemiştir. Bu modelde GPS tarafından sıklıkla düğümlerin pozisyonları güncellenerek sanal ızgaralar çizilir. Ağın manevra kabiliyetini ve İnternet arayüzünü sağlamak amacıyla protokol düğümleri beş türde sınıflandırılır; Kaynak düğüm (olay başlangıcı), hedef düğüm (alıcı), Kraliçe karınca düğümü (internet arayüzü), ana düğüm (izleyiciler) ve normal düğümler.

Karşılaştırmalar SPIN [56] protokolü ile GloMoSim [57] ağ benzetim ortamında gerçekleştirilmiştir.

*Karınca tabanlı minimum veri birleştirme ağacı (MADFT):* Juan tarafından 2007 yılında geliştirilmiştir [15]. Karınca kolonisi yaklaşımı ile yönlendirme problemine çözüm getirecek sezgisel bir hedef seçim algoritması geliştirilmiştir. Öncelikle kaynak düğüm için karıncalar belirlenir. Karıncalar yolları belirler. Dönüş yolunda keşfedilen yollara en yakın noktadan karıncalar tarafından yeni yollar belirlenir. Bu yollar arasında geliştirilen olasılık hesabı formülü ile en kaliteli yol seçilir. Olasılık fonksiyonu en az maliyetli yolu bulabilmek amacıyla maliyet ve feromon değerlerini kullanır.

Testler C++ da hazırlanmış bir benzetim ortamında gerçekleştirilmiştir.

*Ant-0, Ant-1 ve Ant-2 kablosuz algılayıcı ağ protokolleri:* Liao tarafından 2007 yılında geliştirilmiştir [16]. Veri toplama problemine çözüm getirmek amacıyla karınca kolonisi yaklaşımı kullanılmıştır. Karıncalar aracılığıyla kaynak ile hedef düğümler arasında en kısa yollar kurulur. Oluşturulmuş olan ağaç yolun alt

dallarından benzer veriler geliyorsa birleştirilip tek bir mesajla gönderilir. Daha sonra birikmiş feromonlar tarafından veri yolları ağacı kurulur.

DD [58] yönlendirme protokolü ile karşılaştırılmıştır.

*E&D ANTS kablosuz algılayıcı ağ protokolü:* Wen tarafından 2008 yılında geliştirilmiştir [17]. Karınca kolonisi yaklaşımı kullanılarak enerji tüketimi ve gecikmeyi minimum seviyeye indirmektedir. Anahtar fikir olarak düğümlerin feromonlarını güncellemek amacıyla kablosuz iletişimdeki enerji ve gecikme değerlerini kullanır. Güçlendirilmiş Öğrenme (Reinforced Learning-RL) algoritmasının yeni bir çeşidini kullanarak maksimum seviyede ağ ömrü ve minimum yayılma gecikmesi sağlamayı hedeflemiştir.

Karşılaştırmalar AntNet [13] ve Antchain [13] yönlendirme protokolleri ile OPNET benzetim ortamında gerçekleştirilmiştir.

*Kendi kendine uyum sağlayan çoklu-yol yönlendirme:* Saleem tarafından 2009 yılında geliştirilmiştir [18]. Enerji, gecikme ve hız konularına çözüm getirmeyi hedeflemiştir. KAA'larda tıkanma problemini giderebilmek için çoklu yol (multihop) yaklaşımını kullanmıştır. Yönlendirmeye karar vermek için paket alma oranı, enerji ve gecikme olmak üzere üç parametre kullanılır. Enerji tüketimini azaltmak için algoritmada çapraz-katman yöntemi kullanılır. Çoklu-yol (multi-hop) özelliği ise iki veya daha fazla yol üzerinde yönlendirmeyi dağıtıp trafik yükünü azaltmaktır. Böylece veri çıkış oranını yükseltip veri tıkanıklığını önlemektedir.

Testler Ns-2 [49] benzetim ortamında gerçekleştirilmiştir.

*Ant Colony kablosuz algılayıcı ağ protokolü:* Chao tarafından 2008 yılında geliştirilmiştir [19]. Enerji tüketimi, uçtan uca gecikme ve ağ ömrü ile ilgili çözümler getirmektedir. Bu yaklaşım ağ ömrü, enerji tüketimi ve uçtan uca gecikme problemlerine DD yönlendirme protokolünün getirdiği iyileştirmeleri iletirmektedir.

Karşılaştırmalar DD [58] yönlendirme protokolü ile JiST/SWANS [59] benzetim ortamında gerçekleştirilmiştir.

*AR, IAR kablosuz algılayıcı ağ protokolleri:* Aghaeil tarafından 2007 yılında geliştirilmiştir [20]. Enerji tüketimi, başarı oranı ve gecikme problemlerine çözüm getirmeyi hedeflemiştir. ADR algoritmasına Güçlendirilmiş Öğrenme (RL) algoritması ekleyerek geliştirilmiştir. AR algoritmasında istenen sonuçlar elde edilemediğinden IAR algoritmasında önerilmiştir. Her düğüm için olasılık dağılımını kullanır.

Karşılaştırmalar SC-Ant [10], FF-Ant [10], FP-Ant [10], AntNet [13] yönlendirme protokolleri ile Java tabanlı geliştirilen bir benzetim ortamında gerçekleştirilmiştir.

*Kablosuz algılayıcı ağlar için karınca kolonisi temelli bir yönlendirme:* Ökdem ve Karaboğa tarafından 2009 yılında geliştirilmiştir [21]. Çözüm önerilerini dört aşamada ele almıştır. İlk olarak, bir düğüm farklı yollar kullanabilmek için göndereceği veriyi parçalara ayırır. Gönderdiği verinin ulaştığını garanti edebilmek için de onay mesajı kullanır.

Eğer onay mesajı gelmezse farklı yol kullanılarak paket yeniden gönderilir. İkinci olarak, yolun uzunluğu kadar düğümlerin enerji seviyeleride göz önüne alınır. Bu işlem fazla enerji seviyesine sahip düğümler tarafından gerçekleştirilir. Böylece ortalama ağ ömrü artar. Üçüncü olarak, karınca ajanları tekniği kullanılarak yeni bir iletişim tekniği geliştirilmiştir. Dördüncü olarak, düğümlerin yer değişimleri göz önünde bulundurulmamasına rağmen değişimler ağ güvenliğini etkilemez. Yolları organize etmek için bölüm kurulur ve veri iletimi bu bölümlerden gerçekleştirilir.

Karşılaştırmalar EEABR [9] yönlendirme protokolü ile MATLAB'da paralel ayrık olaylı benzetim aracında gerçekleştirilmiştir.

### **3.3.3.2. Bal arısı kolonisi tabanlı yönlendirme protokolleri**

Bal arılarının yiyecek bulma davranışlarını temel alarak geliştirilmiş protokollerdir. Bal arıları bir çok alanda ilham kaynağı olduğu gibi yönlendirme protokollerine de ilham kaynağı olmuştur. Arıların iş bölümü yapmaları ve kendi kendilerine organize olabilmeleri nedeniyle KAA'lara benzemektedirler. Bu benzerlik KAA alanına da uygulanmalarına neden olmuştur.

*Beesensor kablosuz algılayıcı ağ protokolü:* Saleem ve Farooq 2007 yılında daha önce kablolu ağlar için geliştirilmiş olan BeeHive [22] yönlendirme protokolünü KAA'lara uyarlamışlardır [23].

BeeSensor dört farklı ajan kullanır: paketleyici, izci, toplayıcı ve oğul. Paketleyici durağan ajanlar olarak çalışır. Çünkü algılayıcı düğüm içinde çalışırlar. İzci ağda yol bulmak için dolaşırlar. İzci ikiye ayrılır; ileri izciler ve geri izciler. İzci kaynak düğüm tarafından etiketlenir. Önce ileri izciler yayınlanır ve bunlar hedefe giden yolları araştırır.

Hedefe ulaşan izci yol bilgilerini geri izcilere teslim eder ve kaynağa geri döner. Toplayıcılar alınan bu yol bilgisini kullanarak paketleyiciler tarafından hazırlanan paketleri taşırlar. Oğullar, toplayıcılara benzerler. Toplayıcılar yükleri fazla olduğunda oğullar birden fazla toplayıcı taşıyabilir.

Karşılaştırmalar FP-Ant [10], EEABR [9] ve AODV [60] yönlendirme protokolleri ile Ns-2 benzetim ortamında gerçekleştirilmiştir.

### **3.3.3.3. Küf mantarı tabanlı yönlendirme protokolleri**

Küf mantarı tek-hücreli bir türdür. Tek hücreliler ile kablosuz algılayıcı ağlar arasında kıyas olarak güçlü bir bağlantı vardır. Bir algılayıcı ağ basit bir koloni gibi ele alınır. Sınırlı kaynaklı düğümler, özerklik, sadece basit işlemleri yapabilme gibi özellikleri KAA ile benzerlik taşır. Fakat koloni çok karmaşık problemlere çözüm getirmek zorundadır [24]. Bu anlamda benzerlikler ele alınarak küf mantarı davranışları KAA'lara uygulanmıştır.

*Kablosuz algılayıcı ağlarda çoklu-hedef için oğul zekâsı tabanlı yönlendirme:* Protokol Paone tarafından 2009 yılında gerçekleştirilmiştir [24]. Küf mantarı davranışlarından ilham alınmıştır. Çoklu-hedefe ulaşırken hata toleransını azaltmayı hedefler. Yönlendirme işlemini iki farklı süreç olarak ele almıştır. İlk olarak sinyal işleme, veri paketlerinin hedefe doğru yönlendirme sürecinde yönlendirme tabloları oluşturma ve güncelleme sürecidir.

Sinyal işleme dört işlemde oluşur. Birinci süreç ileri davranış tahmini; düğüm iç durumunu kontrol edip çevreyi algılayarak ileri yönde davranışını tahmin eder. Feromon çıkarma, düğüm sinyali işleme paketlerini kullanarak ileri davranışını yayınlar. Feromon algılama, düğüm komşusuyla ilgili olan ileri davranış yönlendirme tablosuna kaydeder. Feromon kaldırma, düğüm komşusunun ileri davranışını azaltır.

İkinci süreç yönlendirme işlemi; her düğüm yönlendirme tablosundaki feromon seviyelerine bakarak komşuları arasından bir sonraki atlamayı seçer. Her düğüm ileri veri paketlerini en yüksek feromon atlamasına göre gönderir. Veri akış feromonu izleyerek hedefe ulaşır ve parametreleri ayarlar.

Testler OMNET++ [61] benzetim ortamında gerçekleştirilmiştir.

## **BÖLÜM 4. PROTOKOLLERİN KARŞILAŞTIRILMASI**

Bu çalışmada oldukça karmaşık, dinamik, büyük ve ayrı tür olarak tanımlanan mevcut ve yeni nesil iletişim ağlarının yönlendirme problemleri ele alınmıştır. Oğul zekâsı, mevcut ağların yaşattığı zorlukların aşılması için gereken özelliklere sahip olarak tasarlanmıştır. Bu bölümde sosyal böcekler olan arı kolonisi ve karıncaların kolektif davranışlarından ilham alınarak oluşturulan önemli yönlendirme algoritmalarını inceledik. Bu özel sınıf oğul zekâ tabanlı algoritmalar adaptif ağ yönlendirme problemlerinin çözümünde en önemli ve umut verici uygulamaları kapsamaktadır.

Sosyal böcek davranışları, özellikle karınca kolonileri, son on yılda istikrarlı bir sayıda yönlendirme protokol ve algoritmalarına tasarımı ve uygulaması yapılmıştır. Bu çalışmada bu alandaki bütün çalışmalar incelenmemiştir ancak başlıca oğul zekâ tabanlı algoritmalarının temel tasarım ilkeleri ve genel özellikleri kapsamlı bir şekilde değerlendirilmiştir. Özellikle yiyecek arayışı odaklı en kısa yol davranışı gösteren karınca kolonisinden esinlenerek hazırlanan karınca koloni optimizasyonu iskeleti ile büyük ağların yönlendirme algoritmaları tasarlanmıştır.

Benzer bir şekilde yiyecek arayan arıların temel çalışma mekanizmasındaki dans etmesi özgün yönlendirme algoritmasının temelini oluşturmuştur. Farklı iletişim ve iletim teknolojilerine ve hizmetlerine göre sınıflandırılmış ağ sınıfları ele alınmış ve her bir sınıf için literatürde bulunan başlıca karınca ve arı kolonisi temelli algoritmaların nitelikleri anlatılmıştır. Bölüm 3 de verilen sınıflandırmalarına göre ayırt edici özelliklerinin eksik ve güçlü oldukları yönleri dikkat çekilmiştir.

Aşağıda ki tablolarda incelenen oğul zekâ tabanlı algoritmalar ile klasik yönlendirme algoritmalarının en önde gelen birkaç temel özellikleri karşılaştırılarak özetlenmiştir. Tablolarda görüldüğü üzere genelde Oğul Zekâ Tabanlı algoritmalar klasik yönlendirme algoritmalarının bütün özelliklerine sahiptir. Diğer taraftan incelenen algoritmaların kapsamlı karşılaştırılmalı performans araştırmalarında oğul zekâ

algoritmalarının tabloda ki klasik yönlendirme algoritmalarından önemli ölçüde daha iyi sonuçlar verdiği görülmektedir. Bu sonuçlar ışığında oğul zekâ algoritmalarının modern ağların zorluklarıyla başa çıkabileceğini söyleyebiliriz.

İncelenen KAA' lar için oğul zekası kullanan yönlendirme algoritmalarının yönlendirme kriterleri açısından karşılaştırmaları, temel aldıkları oğul zekası teknikleri ve algoritmaların test edildiği benzetim ortamları Tablo 4.1' de verilmiştir. Tabloya bakıldığında oğul zekâsı tekniklerinin karınca kolonisi üzerine yoğunlaştığı görülmektedir. Enerji tüketimi tüm algoritmalarda başlıca problem olarak ele alınmıştır. Algoritmaların bir kısmı birkaç kriter üzerinde dururken, bazı algoritmalar tek bir kriter üzerinde yoğunlaşmıştır. Tabloda kriterler zayıf, güçlü ve çok güçlü olmak üzere üç aşamada seviyelendirilmiştir.

Tablo 4.1. Kablosuz algılayıcı ağ yönlendirme algoritmalarının karşılaştırılması

Yönlendirme Protokolleri	Enerji Tüketimi	Ölçeklenebilirlik	Veri Toplama	Ağ Ömrü	Hata Toleransı	Paket Teslim Gecikmesi	Veri Teslim Başarım Oranı	Benzetim Ortamı	Oğul Zekâ Tabanı
T-ANT	Güçlü	Güçlü	Çok Güçlü	Güçlü	Zayıf	Zayıf	Zayıf	Ayrık olaylı benzetici	ACO
AntChain	Güçlü	Zayıf	Güçlü	Çok Güçlü	Zayıf	Zayıf	Zayıf	NS2	ACO
QAAB	Çok Güçlü	Zayıf	Zayıf	Güçlü	Zayıf	Zayıf	Zayıf	Glomosim 2.0	ACO
Paone et al.	Güçlü	Zayıf	Zayıf	Zayıf	Çok Güçlü	Zayıf	Zayıf	Omnet++	Küf mantarı
ACLR	Çok Güçlü	Zayıf	Zayıf	Zayıf	Zayıf	Güçlü	Zayıf	Opnet	ACO
MADFT	Güçlü	Zayıf	Zayıf	Zayıf	Zayıf	Zayıf	Zayıf	C++	ACO
Ant-0, Ant-1, Ant-2	Çok Güçlü	Zayıf	Çok Güçlü	Zayıf	Zayıf	Zayıf	Zayıf		ACO
E&D ANTS	Güçlü	Zayıf	Zayıf	Zayıf	Zayıf	Güçlü	Zayıf	Opnet	ACO
K. Saleem et al.	Güçlü	Zayıf	Zayıf	Zayıf	Zayıf	Güçlü	Zayıf	NS2	ACO
SC-Ant	Çok Güçlü	Zayıf	Zayıf	Zayıf	Zayıf	Zayıf	Zayıf	Farklı yol takibi oyunu	ACO
Yönlendirme Protokolleri	Enerji Tüketimi	Ölçeklenebilirlik	Veri Toplama	Ağ Ömrü	Hata Toleransı	Paket Teslim Gecikmesi	Veri Teslim Başarım Oranı	Benzetim Ortamı	Oğul Zekâ Tabanı
FF-Ant	Zayıf	Zayıf	Zayıf	Zayıf	Zayıf	Çok Güçlü	Zayıf	Farklı yol takibi oyunu	ACO
FP-Ant	Zayıf	Zayıf	Zayıf	Zayıf	Zayıf	Zayıf	Çok Güçlü	Farklı yol takibi oyunu	ACO
Ant Colony	Güçlü	Zayıf	Zayıf	Zayıf	Zayıf	Güçlü	Zayıf	Jist/SWANS	ACO

Tablo 4.1. Kablosuz algılayıcı ağ yönlendirme algoritmalarının karşılaştırılması (Devamı).

Yönlendirme Protokolleri	Enerji Tüketimi	Ölçeklenebilirlik	Veri Toplama	Ağ Ömrü	Hata Toleransı	Paket Teslim Gecikmesi	Veri Teslim Başarım Oranı	Benzetim Ortamı	Oğul Zekâ Tabanı
Okdem et al.	Güçlü	Zayıf	Zayıf	Zayıf	Zayıf	Zayıf	Zayıf	Matlab	ACO
AR, IAR	Güçlü	Zayıf	Zayıf	Zayıf	Zayıf	Çok Güçlü	Zayıf	Java-Based Simulation	ACO
EEABR	Çok Güçlü	Zayıf	Zayıf	Zayıf	Zayıf	Zayıf	Zayıf	NS2	ACO
Beesensor	Çok Güçlü	Zayıf	Zayıf	Zayıf	Zayıf	Çok Güçlü	Zayıf	NS2	Arı kolonisi

Tablo 4.2’ de belirtilen özellikler Bölüm 3’de anlatılmıştır. “e” ve “h” anlamı özellikleri taşıyorsa sırasıyla “evet” ve taşıyorsa “hayır” bir kısmına sahip ise “ks” kısmen sahiplik durumunu yansıtmaktadır.

Tablo 4.2. Kablolı ağlarda yönlendirme algoritmalarının genel özellikleri

Metrikler	AntNet	Adaptive-SDR	BeeHive	OSPF	MDVA	QColony	QOSPF
Topoloji Uyumu	ks	e	e	e	e	ks	e
Trafik Uyumu	e	e	e	h	ks	e	e
Akıllı Yönlendirme	e	e	e	e	e	e	h
Çoklu Yol	e	e	e	h	e	h	h
Yerel Gösterim	e	e	e	h	h	e	h
Hiyerarşik	h	e	e	e	h	e	e
Yapısal	h	h	e	e	h	h	e
Çevrim Özgürlüğü	h	h	ks	e	e	h	e
Proaktif Davranış	e	e	e	e	e	e	e
Reaktif Davranış	h	h	h	h	h	e	h
Stokastik Arama	e	e	h	h	h	ks	h
Stokastik Veri Yönlendirme	e	e	e	h	h	h	h
Biçimsel Özellikler	h	h	e	e	e	h	ks
Fiziksel Uygulama	e	h	e	e	h	h	e
Servis Kalitesi	h	h	h	h	h	e	e



Tablo 4.3’ de belirtilen özellikler Bölüm 3’de anlatılmıştır. “e” ve “h” anlamı özellikleri taşıyorsa sırasıyla “evet” ve taşıyorsa “hayır” bir kısmına sahip ise “hs” kısmen sahiplik durumunu yansıtmaktadır.

Tablo 4.3. MANET ağlarda yönlendirme algoritmalarının genel özellikleri

	AntHocNet	ANSI	Termite	BeeAdHoc	DSR	AODV	OLSR
Topoloji Uyumu	e	e	e	e	e	e	e
Trafik Uyumu	e	e	e	e	ks	ks	ks
Akıllı Yönlendirme	e	e	e	h	h	e	e
Çoklu Yol	e	ks	e	e	h	h	h
Yerel Gösterim	e	e	e	e	e	e	h
Hiyerarşik	h	h	h	h	h	h	h
Yapısal	e	e	e	e	e	e	h
Çevrim Özgürlüğü	h	h	h	e	e	h	h
Proaktif Davranış	e	ks	e	h	h	h	e
Reaktif Davranış	e	e	e	e	e	e	h
Stokastik Arama	e	h	e	h	h	h	h
Stokastik Veri Yönlendirme	e	h	e	e	h	h	h
Biçimsel Özellikler	h	h	ks	ks	ks	ks	ks
Fiziksel Uygulama	ks	h	h	e	e	e	e
Enerji Korunumu	h	h	h	e	h	h	h

Genel anlamda, oğul zekâ paradigmasının temel bir yönü, aslında protokol tanımını da içeren ağ yönlendirme sonuçları için özel bir aşağıdan-yukarıya tasarım yaklaşımını vurgular, diğerleri ise: Etkileşimlerin çevresi ve kendi kendini düzenleyen davranışlar, yönlendirme ve aksama yedeklemesi için çoklu yol kullanılabilirliği, topolojik ve trafik değişimleri ve bileşen hatalarına hızlı ve sağlam bir şekilde uyum yeteneği, ölçeklendirilebilir başarımlar, hata direnci ve protokol iç kayıpları, ayar ve tasarım kolaylığıdır.

Bu durumda, ayrıca tablolardaki veri tarafından doğrulanmış, incelenen algoritmaların birçoğu özellikle günümüz ve gelecekteki ağ iletişimi için cezbedici bu önemli özelliklerin kayda değer alt kümelerine sahiptir.

Aslında, internetin etkileyici yükseliş, kablolu ve kablosuz ağ iletişiminin her tarafa yayılması, bunlar bizim karmaşıklık seviyeleri, heterojenlik ve günümüz ve gelecekteki ağ iletişiminin dinamizmi ile baş edebilmek için ağ protokol yığınının tüm modern protokollerini tanımlaması gereken esas özelliklerdir.

Trafik mühendisliği ve otonom iletişimin nispeten yeni alanları hem ağ kaynaklarının etkili kullanımını hem de bütün ya da tek bileşen düzeyinde kendi kendine kontrol etme ve fazla çalışmaya uyum sağlama yeteneğinin üzerinde durur.

Klasik algoritmalar, günümüz ağlarında karşılaşılan her yönde ve boyutta karmaşık bir şekilde yayılmayı hesaba katmadan, ağ yönetimi ve kontrolü için yukarıdan aşağıya doğru tasarlanmıştır.

Üstelik bu aynı zamanda tablolara bakarak da anlaşılabilir. Açıktır ki yerleşik klasik algoritmalar dinamik davranış, sağlamlık ve yerellik açısından bazı önemli özellikleri kaçıır.

## **BÖLÜM 5. SONUÇLAR ve DEĞERLENDİRME**

Yönlendirme algoritmaları böceklerin sosyal davranışlarından ve daha genel olarak oğul zekâ paradigmasından ilham almıştır. Bu algoritmalar, ağ katmanında ölçülebilir kontrol sistemli, optimize edilmiş, uyarlanmış ve güçlü gelecek ağlarının mümkün olmasında önemli bir rol oynayabilir.

Bu yeni yaklaşımların dezavantajı, geniş uygulamaların olmaması, fiziksel ağlarda test edilmemesi, bir şekilde içsel tamamen dağıtılmış ve güvenilirlik açısından resmi garanti sağlama çalışmalarının sürmesidir.

Bu iki görüşteki yoğun çalışmalar, yine de ağ iletişimi camiasının daha geniş bir kabulünü ve bu algoritmaların özellikleri ve davranışlarının derin ve sağlam bir idrakini gerektirir. Eğer bu yakın gelecekte yapılacak olursa, gelecek ağların kontrol sistemlerinde oğul zekâsı tabanlı algoritmaların hızlı bir şekilde yayılmasını bekleyebiliriz.

Ağ kaynaklarının verimli kullanımı ağ trafik mühendisliğinde önemli bir konu haline gelmektedir. Bu sorunların çözümü için verimli, merkezi olmayan, hatadan etkilenmeyen ve genel topoloji bilgisine erişim olmadığında bile yönlendirme işlemini tamamlaması için çoklu yol yönlendirme algoritmalarının tasarlanması gerekmektedir.

Bu çalışmada literatürdeki mevcut yönlendirme algoritmaları ve oğul zekâ tabanlı farklı tasarım doktrinleri kullanılarak geliştirilen yönlendirme algoritmaları karşılaştırılarak kapsamlı bir şekilde incelenmiştir. Tez çalışmasında, oğul zekâsının yönlendirme gelişiminde kullanıldığında verimli sonuçlar alındığı görülmüştür. Oğul zekâsı tabanlı algoritmalarının büyük ölçekli ve ağ trafiğinin dinamik olduğu ağlarda yapılan testlerde başarılı sonuçlar elde edilmiştir. Yönlendirme algoritmalarında ki çoğu eksikliğin oğul zekâ tabanlı algoritmalarla giderildiği görülmüştür.

Bu tez çalışması mevcut ve oğul zekâ tabanlı yönlendirme algoritmalarının birbirlerine göre eksik ve güçlü yanlarının gösterilerek bundan sonra yapılacak iletişim ağları yönlendirme tasarım çalışmalarına öneyak olacaktır.

## KAYNAKLAR

- [1] TANENBAUM A.S., Computer Networks, Prentice-Hall Inc., 1996.
- [2] ZEIGLER B.P., MITTAL S., Modeling and Simulation of Ultra-large Networks: A Framework for New Research Directions, supported by NSF Grant ANI- 0135530, ULN Workshop, July 2002 (addendum to the ULN Workshop2001)  
[http://www.acims.arizona.edu/EVENTS/ULN/ULN\\_doc2.pdf](http://www.acims.arizona.edu/EVENTS/ULN/ULN_doc2.pdf).
- [3] BONABEAU E., HENAUX F., GUERIN S., SNYERS D., KUNTZ P., THERAULAZ G., Routing in telecommunication networks with “Smart” ant-like agents, in: Proceedings of IATA’98, Second International Workshop on Intelligent Agents for Telecommunication Applications, Lectures Notes in Artificial Intelligence, Vol. 1437, Springer, Berlin, 1998.
- [4] SCHOONDERWOERD R., HOLLAND O., BRUTEN J., ROTHKRANTZ L., Ant-based load balancing in telecommunication networks. Adaptive Behavior, 5(2), 169-207, 1996.
- [5] ZEIGLER B.P., Discrete event Abstraction: an emerging paradigm for modeling complex adaptive systems, Festschrift in honor of John H. Holland, L Brooker, 2001.
- [6] HEUSSE M., GUERIN S., SNYERS D., KUNTZ P., Adaptive agent-driven routing and load balancing in communication networks. Advances in Complex Systems, 1, pp. 234-257, 1998.
- [7] APPLEBY S., STEWARD S. Mobile software agents for control in telecommunications Networks. BT Technology Journal, Vol 12, No. 2. 1994.
- [8] BIESZCZAD A., WHITE T., PAGUREK B., Mobile Agents for Network Management. In IEEE Communication Surveys, September 1998.
- [9] LIPPERTS S., KRELLER B., Mobile agents in telecommunications networks - a simulative approach to load balancing, Proc. 5th Intl. Conf. on Information Systems, Analysis and Synthesis, 1999.

- [10] LUCIC P., TEODOROVIC D., Transportation Modeling: An Artificial Life Approach Proceedings of the 14th IEEE International Conference on Tools with Artificial Intelligence (ICTAI'02) 1082-3409/02, 2002.
- [11] WANG M., SUDA T., The Bio-Networking Architecture: A Biologically Inspired Approach to the Design of Scalable, Adaptive, and Survivable/Available Network Applications, Proc. of the 1st IEEE SAINT, January 2001.
- [12] BONABEAU E., HENAUX F., GUERIN S., SNYERS D., KUNTZ P., THERAULAZ G., Routing in telecommunications networks with "smart" antlike agents, Proc. Intelligent Agents for Telecommunications Applications, 1998.
- [13] DI CARO G., DORIGO M., AntNet: a mobile agents approach to adaptive routing, Tech. Rep. IRIDIA/97-12, Universite Libre de Bruxelles, Belgium, 1997.
- [14] SEELEY T.D., The wisdom of the hive: the social physiology of honey bee colonies. Harvard University Press, Cambridge, 1995.
- [15] STEENSTRAP M.E. (ED.), Routing in Communications Network, Prentice-Hall, 1995.
- [16] History of ARPANET, <http://www.dei.isep.ipp.pt/docs/arpa.html>, Erişim Tarihi: 03.12.2012.
- [17] BERTSEKAS D., GALLAGER R., Data Networks, Prentice-Hall, 1992.
- [18] O'HARE G., JENNINGS N., EDS., Foundations of Distributed Artificial Intelligence, John Wiley and Sons, 1996.
- [19] LESSER V.R., Multiagent Systems: An Emerging Subdiscipline of AI, ACM Computing Surveys, vol. 27, no. 3, ACM Press, pp. 340-342, Sept. 1995.
- [20] DECKER K. S., Distributed Problem Solving: A Survey, IEEE Trans, on Systems, Man, and Cybernetics, vol. 17, no. 5, pp. 729-740, Sept. 1987.
- [21] GEORGEFF M., LANSKY A., Reactive reasoning and planning. In Proceedings of the Sixth National Conf. on Artificial Intelligence (AAAI-87), pp. 677-682, Seattle, WA, 1987.
- [22] DIJKSTRA E.W. A Note on Two Problems in Connexion with Graphs In Numerische Mathematik vol 1, 1959.
- [23] LYNCH C., Packet Radio Networks, New York: Pergamon Press, 1987.

- [24] AKYILDIZ I. F., SU W., SANKARASUBRAMANIAM Y., CAYIRCI E., Wireless Sensor Networks: A Survey, Elsevier Computer Networks, 38, pp. 393–422, USA, 2002.
- [25] BENI G., WANG J., Swarm intelligence in cellular robotics systems. Proc. NATO Adv. Workshop on Robotics and Biological Systems, 1989.
- [26] WHITE T., PAGUREK B., OPPACHER F., Connection Management using Adaptive Agents. In Proceedings of the International Conference on Parallel and Distributed Processing Techniques and Applications (PDPTA '98), pp. 802-809, July 12th-16th, 1998.
- [27] ROTH M., WICKER S., Termite: Emergent Ad-Hoc Networking, The Second Mediterranean Workshop on Ad-Hoc Networks, Medhia, Tunisia, 2003.
- [28] KASSABALIDIS I, EL-SHARKAWI M.A., MARKS II R.J., ARABSHAHI P., GRAY A.A., Swarm intelligence for routing in communication networks, IEEE Globecom, San Antonio, Texas, Nov 25-29, 2001.
- [29] CAMILO T., CARRETO C., An Energy-Efficient Ant-Based Routing Algorithm for Wireless Sensor Networks, 5th International Workshop on Ant Colony Optimization and Swarm Intelligence, vol. 4150, pp. 49-59, Belgium, 2006.
- [30] C.HEDRICK, Routing Information Protocol, <http://tools.ietf.org/html/rfc1058>, June 1988, Erişim Tarihi: 05.12.2012.
- [31] <http://cobanoglu.wikispaces.com/Ospf>, Erişim Tarihi: 15.11.2012.
- [32] CORSON S., MACKER J., Mobile Ad hoc Networking (MANET), Network Working Group, <http://tools.ietf.org/html/rfc2501>, 2009.
- [33] ILYAS M., The Handbook Of Ad Hoc Wireless Networks, CRC Press LLC, USA, 2003.
- [34] MALTZ D.A., CMU CS-01130; School of Computer Science; Carnegie Mellon University, OnDemand Routing in Multi-hop Wireless Mobile Ad Hoc Networks:12–13, Pittsburgh, PA 15213, March 2001.
- [35] JAYAKUMAR G., GOPINATH G., Ad Hoc Mobile Wireless Networks Routing Protocols – A Review, Journal of Computer Science, 3, 8, pp. 574582, 2007.
- [36] TAVLI B., HEINZELMAN W., Mobile Ad Hoc Networks Energy-Efficient Real-Time Data Communications, Springer, Netherlands, 2006.
- [37] ROYER, E.M., A Review of Current Routing Protokols for Ad Hoc Mobile Wireless Networks, IEEE Personel Communications, pp. 46-55, April 1999.

- [38] ABOLHASAN M., WYSOCKI T., DUTKIEWICZ E., A Review of Routing Protocols For Mobile Ad Hoc Networks, ELSEVIER, Ad Hoc Networks, 2, pp. 1-22, 2003.
- [39] XIAOHAI W., GUOLIANG C., YINGYU W., FRED M., Optimized priority based energy efficient routing algorithm for mobile ad hoc networks, Ad Hoc Networks, Ad Hoc Networks 2, pp. 231-239, 2004.
- [40] BOUKERCHE A., Performance Evaluation of Routing Protocols for Ad Hoc Wireless Networks, Mobile Networks and Applications, 9, pp. 333–342, 2004.
- [41] CAPKUN S., BUTTYAN L., HUBAUX J.P., Self organized public key management for mobile ad hoc networks, Mobile Computing, IEEE Transactions on Vol. 2, Issue 1, January-May, pp. 52-64, 2003.
- [42] CAMPOS G., ELIAS G., Performance Issues of Ad Hoc Routing Protocols in a Network Scenario Used for Videophone Applications, System Sciences, 2005. HICSS '05. Proceedings of the 38th Annual Hawaii International Conference, pp. 321a- 321a, 03-06 Jan. 2005.
- [43] INTANAGONWIWAT C., GOVINDAN R., ESTRIN D., Directed Diffusion: A Scalable and Robust Communication Paradigm for Sensor Networks, Proc. Of the ACM MobiCom'00, Boston, USA, pp. 56-57, 2000.
- [45] PERKINS C., BELDING-ROYER E., DAS S., Ad hoc On-Demand Distance Vector (AODV) Routing, <http://tools.ietf.org/html/rfc3561>, Erişim Tarihi: 12.12.2012.
- [46] SCHOONDERWOERD R., HOLLAND O., BRUTEN J., ROTHKRANTZ L., Ant-based load balancing in telecommunications networks, 1997.
- [47] SCHOONDERWOERD R., HOLLAND O., Minimal agents for communications network routing: The social insect paradigm. Software Agents for Future Communication Systems, 1(1):1–2, 1999.
- [48] SCHOONDERWOERD R., HOLLAND O., BRUTEN J., ROTHKRANTZ L., Ant-based load balancing in telecommunications networks. Adaptive Behavior, 5(2):169–207, 1996.
- [49] APPLEBY S., STEWARD S., Mobile software agents for control in telecommunications networks. BT Technology Journal, 18(1):68–70, 2000.
- [50] KASSABALIDIS I., EI-SHARKAWI M.A., MARKS R.J., ARABSHAHI P., GRAY A.A., Swarm Intelligence for Routing in Communication Networks, University of Washington, 2001.



- [51] The NS-2 network simulator. <http://nslam.isi.edu/nslam/>. Erişim Tarihi: 17.11.2012.
- [52] FRISCH K., Arıların hayatı, s.135-136, 1991.
- [53] DI CARO G.A., DUCATELLE F., GAMBARDELLA L.M., AntHocNet: an antbased hybrid routing algorithm for mobile ad hoc networks. In Proceedings of PPSN-VIII, vol. 3242 of LNCS, pp. 461–470. Springer, 2004.
- [54] DI CARO G.A., DUCATELLE F., GAMBARDELLA L.M., AntHocNet: an adaptive nature-inspired algorithm for routing in mobile ad hoc networks. European Transactions on Telecommunications, Vol. 16(5): pp. 443–455, 2005.
- [55] DI CARO G.A., DUCATELLE F., GAMBARDELLA L.M., Swarm intelligence for routing in mobile ad hoc networks. In Proceedings of the IEEE Swarm Intelligence Symposium, IEEE Press, pp. 76–83, Pasadena, USA, June 2005.
- [56] DI CARO G.A., DUCATELLE F., GAMBARDELLA L.M., Studies of routing performance in a city-like testbed for mobile ad hoc networks. Technical Report 07-06, IDSIA, Lugano, Switzerland, March 2006.
- [57] DUCATELLE F., DI CARO G.A., GAMBARDELLA L.M., Using ant agents to combine reactive and proactive strategies for routing in mobile ad hoc networks. International Journal of Computational Intelligence and Applications, Special Issue on Nature-Inspired Approaches to Networks and Telecommunications, Vol. 5(2): pp. 169–184, 2005.
- [58] BABA OGLU O., CANRIGHT G., DEUTSCH A., DI CARO G.A., DUCATELLE F., GAMBARDELLA L.M., GANGULY N., JELASITY M., MONTEMANNI R., MONTRESOR A., URNES T., Design patterns from biology for distributed computing. ACM Transactions on Autonomous and Adaptive Systems, Vol. 1(1): pp.26–66, 2006.
- [59] DUCATELLE F., DI CARO G.A., GAMBARDELLA L.M., An analysis of the different components of the AntHocNet routing algorithm. In Proceedings of the 5<sup>th</sup> International Workshop on Ant Colony Optimization and Swarm Intelligence (ANTS'06), Vol. 4150 of LNCS, pp. 37–48. Springer, 2006.
- [60] DUCATELLE F., DI CARO G.A., GAMBARDELLA L.M., Ant agents for hybrid multipath routing in mobile ad hoc networks. In Proceedings of WONS, IEEE Press, Switzerland, January 18–19, 2005.

- [61] DUCATELLE F., DI CARO G.A., GAMBARDELLA L.M., Using ant agents to combine reactive and proactive strategies for routing in mobile ad hoc networks. *International Journal of Computational Intelligence and Applications, Special Issue on Nature-Inspired Approaches to Networks and Telecommunications*, Vol. 5(2): pp.169–184, 2005.
- [62] SHEN C.C., JAIKAE O C., Ad hoc multicast routing algorithm with swarm intelligence. *MONET*, Vol. 10(1-2): pp.47–59, 2005.
- [63] SHEN C.C., JAIKAE O C., SRISATHAPORNPHAT C., HUANG Z., RAJAGOPALAN S., Ad hoc networking with swarm intelligence. In M. Dorigo, M. Birattari, C. Blum, L. M. Gambardella, F. Mondada, and T. Stützle, editors, *Proceedings of ANTS*, vol. 3172 of *Lecture Notes in Computer Science*, pp. 262–269. Springer-Verlag, 2004.
- [64] SHEN C.C., RAJAGOPALAN S., BORKAR G., JAIKAE O C., A flexible routing architecture for ad hoc space networks. *Computer Networks*, Vol. 46(3), pp.389–410, 2004.
- [65] RAJAGOPALAN S., SHEN C.C., ANSI: A unicast routing protocol for mobile ad hoc networks using swarm intelligence. In *Proceedings of the International Conference on Artificial Intelligence (ICAI)*, pp. 24–27, 2005.
- [66] RAJAGOPALAN S., SHEN C.C., ANSI: a swarm intelligence-based unicast routing protocol for hybrid ad hoc networks. *Journal of System Architecture*, vol. 52(8-9) pp. 485–504, 2006.
- [67] ROTH M., WICKER S., Termite: Ad-hoc networking with stigmergy. In *Proceedings of IEEE GLOBECOM*, pp. 2937–2941, 2003.
- [68] ROTH M., WICKER S., Termite: Emergent ad-hoc networking. In *Proceedings of the 2nd Mediterranean Workshop on Ad-Hoc Networks (Med-Hoc-Net)*, 2003.
- [69] WEDDE H.F., FAROOQ ET AL M., BeeAdHoc—An Energy-Aware Scheduling and Routing Framework. Technical Report pg439, LSIII, School of Computer Science, University of Dortmund, 2004.
- [70] WEDDE H.F., FAROOQ M., The wisdom of the hive applied to mobile ad-hoc networks. In *Proceedings of the IEEE Swarm Intelligence Symposium*, pp. 341–348, 2005.
- [71] WEDDE H.F., FAROOQ M., PANNENBAECKER, T., VOGEL B., MUELLER C., METH J., JERUSCHKAT R., BeeAdHoc: an energy efficient routing algorithm for mobile ad-hoc networks inspired by bee behavior. In *Proceedings of GECCO*, pp. 153–161, 2005.

- [72] WEDDE H.F., FAROOQ M., TIMM C., FISCHER J., KOWALSKI M., LANGHANS M., RANGE N., SCHLETTER C., TARAK R., TCHATCHEU M., VOLMERING F., WERNER S., WANG K., BeeAdHoc—An Efficient, Secure, Scalable Routing Framework for Mobile AdHoc Networks. Technical Report pp.460, LSIII, School of Computer Science, University of Dortmund, 2005.
- [73] ÇELİK F., ZENGİN A., TUNCEL S., A survey on swarm intelligence based routing protocols in wireless sensor networks, *International Journal of the Physical Sciences*, Vol. 5, pp. 2118-2126, November, 2010.
- [74] CHEN S., NAHRSTEDT K., An overview of quality-of-service routing for the next generation high-speed networks: Problems and solutions. *IEEE Network Magazine*, Special issue on Transmission and Distribution of Digital Video, Vol. 12(6) pp. 64–79, 1998.
- [75] WEDDE H.F., FAROOQ M., Beehive: New ideas for developing routing algorithms inspired by honey bee behavior. *Handbook of Bioinspired Algorithms and Applications*, chapter 21, pages 321–339. Chapman & Hall/CRC Computer and Information Science, 2005.
- [76] WEDDE H.F., FAROOQ M., BeeHive: Routing algorithms inspired by honey bee behavior. *Künstliche Intelligenz*, Special Issue on Swarm Intelligence, 4:18–24, November 2005.
- [77] WEDDE H.F., FAROOQ M., ZHANG Y., BeeHive: An efficient fault-tolerant routing algorithm inspired by honey bee behavior. In *Ant Colony Optimization and Swarm Intelligence*, volume 3172 of *Lecture Notes in Computer Science*, pages 83–94. Springer Verlag, Sept 2004.
- [78] M FAROOQ M., *Bee-inspired Protocol Engineering: From Nature to Networks*. Natural Computing Series. Springer.
- [79] WEDDE H.F., FAROOQ M., A performance evaluation framework for nature inspired routing algorithms. In *Applications of Evolutionary Computing*, vol. 3449 of *LNCS*, pp. 136–146. Springer, 2005.
- [80] LIANG S., ZINCİR-HEYWOOD A.N., HEYWOOD M. I., The effect of routing under local information using a social insect metaphor. In *Proceedings of the IEEE Congress on Evolutionary Computation (CEC)*, May 2002.
- [81] ÇAKIROĞLU M., <http://www.muratc.sakarya.edu.tr/Dersler/KAA/Bolum1-KablosuzAlgilyayiciAglaraGiris.pdf>. Erişim Tarihi: 10.12.2012.
- [82] AL-KARAKI J.N., KAMAL A.E., *Routing Techniques in Wireless Sensor Networks*, 2003.

- [83] SARISARAY P., [www.cs.itu.edu.tr/orencik/DuyargaAglarindaGuvenlik.doc](http://www.cs.itu.edu.tr/orencik/DuyargaAglarindaGuvenlik.doc)  
Erişim Tarihi: 08.09.2012.
- [84] TEKİN U., Kablosuz Algılayıcı Ağlarda Etkili Yönlendirme ve Enerji Problemleri, 2006.
- [85] HEINZELMAN W., KULIK J., BALAKRISHNAN H., Adaptive protocols for information dissemination in wireless sensor Networks, Proc. 5th ACM/IEEE Mobicom Conf. (MobiCom'99), pp. 174-185, August 1999.
- [86] HEDETNIEMI S., LIESTMAN A., A Survey of Gossiping and Broadcasting in Communication Networks, Networks 18, 1988.
- [87] SAVVIDES A., HAN C., SRIVASTAVA, M., Dynamic Fine-Grained Localization in Ad-Hoc Networks of Sensors, 2001.
- [88] HEINZELMAN W., CHANDRAKASAN A., BALAKRISHNAN H., Energy-Efficient Communication Protocol for Wireless Microsensor Networks, 2000.
- [89] LINDSEY S., RAGHAVENDRA, C.S., PEGASIS: Power-efficient gathering in sensor information systems, 2002.

## ÖZGEÇMİŞ

Uğur ÖZBEK, 20.03.1982 de Ankara' da doğdu. İlk ve orta öğrenimini Ankara'da tamamladı. 2000 yılında Maltepe Askeri Lisesi'nden mezun oldu. Aynı yıl başladığı Hava Harp Okulu Bilgisayar Mühendisliği Bölümü' nü 2006 yılında bitirdi. 2010 yılında Sakarya Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü'nde yüksek lisans öğrenimine başladı. 2009 yılından bu yana da Sakarya Üniversitesi Uzaktan Eğitim Merkezi'nde uzman olarak çalışmaktadır.